

УДК 330+656.1/5

**Дацко М.В.***доцент кафедри економічної кібернетики  
Львівського національного університету імені Івана Франка***Цвир Л.Р.***магістр  
Львівського національного університету імені Івана Франка*

## ПОБУДОВА ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ У ЛОГІСТИЦІ

Застосування підприємствами логістичного підходу до організації виробництва – необхідна передумова ефективного функціонування в ринкових умовах. Одним із основних задач транспортної логістики є побудова маршрутів доставки продукції. Для вирішення проблеми побудови маршрутів можуть використовуватися різні методи, зокрема і метаевристичні. У роботі розглянуто підходи до побудови маршруту доставки продукції із застосуванням мурашиного алгоритму.

**Ключові слова:** транспортні потоки, оптимізація, оптимальний маршрут, мурашині алгоритми, логістика.

### **Дацко М.В. Цвир Л.Р. ПОСТРОЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ МАРШРУТОВ В ЛОГИСТИКЕ**

Применение предприятиями логистического подхода к организации производства – необходимое условие эффективного функционирования в рыночных условиях. Одна из основных задач транспортной логистики – построение маршрутов доставки продукции. Для решения проблемы построения маршрутов могут использоваться различные методы, в том числе и метаэвристические. В работе рассмотрены подходы к построению маршрута доставки продукции с применением муравьиного алгоритма.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, оптимизация, оптимальный маршрут, муравьиные алгоритмы, логистика.

### **Datsko M.V., Tsvir L.R. CONSTRUCTION OF TRANSPORT ROUTES IN LOGISTICS**

Application by the enterprises of logistic approach to the organization of production – a necessary condition for effective functioning in market conditions. One of the main objectives of transport logistics is creation of routes of delivery of production. For a solution of the problem of creation of routes various methods, including metaheuristic can be used. We consider approaches to building the route of delivery of products using an ant algorithm.

**Keywords:** transport flows, optimization, optimal route, ant algorithms, logistics.

**Постановка проблеми.** Транспорт відіграє ключову роль у функціонуванні економіки країни загалом та підприємства зокрема. До основних завдань транспорту можна віднести своєчасне, якісне і повне задоволення потреб у перевезеннях. Зважаючи на це, підвищення ефективності транспортних перевезень є актуальним напрямом для наукових досліджень.

Останніми роками суттєво зростає, зважаючи на кризові явища в економіці країни та посилення конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках, застосування вітчизняними підприємствами комплексного логістичного підходу до організації господарської діяльності. Логістика загалом і транспортна логістика зокрема дають можливість підвищити ефективність господарської діяльності та зменшити транспортні витрати.

Планування доставки товарів можна пояснити забезпеченням гнучкості, щодо реакції на ринковий попит, зменшенням витрат на зберігання продукції, технічною неможливістю створення значних запасів продукції, забезпеченням виконання певних маркетингових стратегій підприємства тощо.

Транспортування продукції часто пов'язано із специфікою видів транспорту необхідних для організації перевезень, сезонністю, що може мати значний вплив на стан доріг та іншими факторами. Зважаючи на вищесказане, підприємствам необхідно переглядати організацію транспортування продукції відповідно до критеріїв, що розглядаються.

**Метою роботи** є аналіз застосування алгоритмів мурашиних колоній для побудови кільцевих маршрутів руху при перевезенні продукції підприємства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вагомий внесок у розробку теоретико-методологічних засад побудови оптимальних маршрутів руху транспортних засобів зробили вчені І.А. Барбашов,

О.В. Огневий, Л.А. Гужевська, О.О. Кара, О.В. Литвин, В.Д. Данчук, О.А. Лащених, О.Ф. Кузькін та ін. Алгоритм оптимізації мурашиних колоній був запропонований Марко Доріго та постійно удосконалюється італійською школою математичного моделювання транспортної діяльності, а саме такими вченими, як Л. М. Гамбарделла, Ж.Ді Каро, А. Донаті, Р. Монтеманні та ін. [8].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У перевезеннях на невелику відстань поза конкуренцією перебуває автомобільний транспорт. Його перевагою є те, що він майже не залежить від природних умов і може доставляти вантажі за принципом від «дверей до дверей». Поширеність автомобільного транспорту в Україні обумовлена також розвинутою мережею автодоріг з твердим покриттям. Проте варто зауважити, що значна частина автомобільних доріг України не відповідає європейським стандартам за багатьма показниками, зокрема, такими як: швидкість пересування, навантаження на вісь транспортного засобу, забезпеченість дорожніми знаками, розвитком інфраструктури тощо. Зрозуміло, що вищенаведені фактори, а також критерії, за якими організують доставку продукції, впливають на побудову маршрутів доставки товарів.

Тому під оптимальним маршрутом будемо розуміти той маршрут, по якому можливо доставити продукцію в допустимі терміни з мінімальними транспортними витратами, а також із збереженням споживчих властивостей продукції.

Проблема побудови оптимальних транспортних маршрутів може вирішуватися із застосуванням низки підходів та методів, найбільша складність при цьому – врахування усіх транспортних обмежень та кількості пунктів доставки, оскільки складність та продуктивність алгоритмів розрахунку оптимального маршруту суттєво залежить від цих факторів.

Загальна назва класу задач, які охоплюють обслуговування споживачів транспортними засобами, відома як транспортна задача маршрутизації, вперше сформульована Данцигом і Рамзером у 1950 р. Суть задачі полягає в тому, щоб побудувати такі маршрути для транспортних засобів, що задовольняють заданим обмеженням і мінімізують значення цільової функції.

Проте це доволі широкий клас задач до складу якого входять [1; 2]:

- Capacitated VRP (CVRP) задача маршрутизації з обмеженою вантажопідйомністю;
- VRP with Time Windows (VRPTW) з обмеженнями у часі;
- Multiple Depot VRP (MDVRP) з кількома транспортними базами;
- VRP with Pick-Ups and Delivering (VRPPD) з поверненням товарів;
- Split Delivery VRP (SDVRP) з різними видами транспорту;
- Periodic VRP (PVRP) з періодичною маршрутизацією;
- Stochastic VRP (SVRP) з випадковими даними;
- VRP with Satellite Facilities (VRPSF) з можливістю дозавантаження по маршруту.

При перевезенні продукції, яка вимагає особливих умов транспортування, першочерговими можуть бути вимоги пріоритетності доріг. Особливості моделювання маршруту доставки також проявляються у специфіці вантажів, що транспортуються, розрахунку витрат на транспортування, а критерієм ефективності, як правило, виступає щонайменше сумарних витрат на транспортування, що вносить додаткову складність у побудову маршруту [3]. У роботі [4] виділено комплекс задач стосовно транспортування, наприклад, світлич нафтопродуктів від нафтопереробних заводів до регіональних нафтобаз та автозаправних станцій.

Очевидно, що ключовим завданням цього комплексу є розв'язок задачі маршрутизації бензовозів (рис. 1), що, на перший погляд, передбачає вирішення декількох відомих оптимізаційних задач, відомих методами. Проте це не зовсім так – існує низка особливостей, що створюють труднощі і накладають певні обмеження при моделюванні перевезень світлич нафтопродуктів автомобільним транспортом.

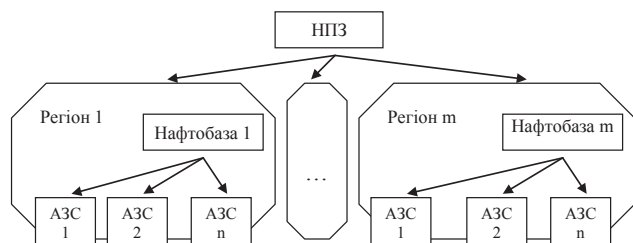


Рис. 1. Схема доставки світлич нафтопродуктів

До таких особливостей можна віднести такі [5]:

- автоцистерна розділена на декілька секцій для забезпечення можливості одночасного перевезення декількох марок світлич нафтопродуктів. Обсяги секцій при цьому не є стандартними, а залежать від замовника;
- продукція, що перевозиться, не є повністю взаємозамінною відносно секцій автоцистерни, тобто змінювати марки бензинів чи дизпалива при перевезеннях можна у строго визначеній послідовності;
- один бензовоз має можливість здійснення декількох виходів на маршрут в межах часу, що відведений для задоволення потреб споживачів;

- бензовоз не обов'язково повинен злити всю продукцію на одній заправці, а може частинами задовольняти попит декількох АЗС, тобто допускаються «кругові» маршрути, причому на деяких АЗС бензовоз може залишати причеп для автономного розвантаження, забираючи його на зворотному шляху.

Для побудови оптимального маршруту часто застосовують метод мурашиних колоній, який відносять до так званих метаевристичних методів оптимізації [6]. Метаевристичні методи дають змогу ефективно досліджувати множину допустимих рішень для знаходження рішення близького до оптимального.

Алгоритм оптимізації мурашиних колоній (ACO) є ймовірнісною технікою для розв'язування задач, які можуть бути зведені до задач знаходження маршрутів на графах. Він базується на поведінці мурах, які шукають стежки від своєї колонії до джерел харчування. Основним ймовірнісним правилом переходу від вершини до вершини є

$$P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [D_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [D_{il}]^\beta}, j \in J_{i,k} \quad (1)$$

$$P_{ij,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k}$$

Перед початком роботи алгоритму приймають низку припущень, зокрема такі [7]:

- кількість вершин графу дорівнює кількості мурах;
- кожна мураха починає свій шлях з іншої вершини;
- інтенсивність феромону, відкладеного на кожному ребрі до початку руху мурах однакова;
- вибір першої вершини для кожної мурахи визначається за правилом «мінімальної відстані до сусіда»;
- кожен наступний крок переміщення мурах визначається за ймовірнісним правилом (1).

Побудова маршруту транспортного засобу здійснюється покроково шляхом вибору наступного пункту до того часу, доки не будуть пройдені всі міста. Мураха обирає наступне місто, зі списку доступних, після чого оновлюється цільова функція, а у списку міст доступних до відвідування відбуваються зміни. Далі знову здійснюється вибір наступного доступного міста. Мураха повертається у вихідне місто, у випадку проходження всіх міст. Сумарна довжина маршруту розраховується як значення цільової функції повного маршруту, пройденого мурахою.

Інтерпретуючи задачу комівояжера до реальних обставин, можна сказати, що цільовою функцією є найкоротший знайдений маршрут.

Побудуємо маршрут доставки продукції у торговельній мережі. Так було визначено, що кількість місць призначення є величина постійна та складає 15 пунктів. Вершини графу відповідають складам, які необхідно відвідати транспортному засобу для того, щоб доставити товар.

Кількість вершин графу збігається з кількістю складів, в які необхідно розвезти товар, а ребра між цими вершинами відображають відстані між складами. Тому можна отримати матрицю відстаней визначеної розмірності (рис. 2). У такому вигляді можемо говорити про класичну задачу комівояжера, та застосувати мурашиний алгоритм для побудови кільцевого маршруту.

Отриманий кільцевий маршрут зображено на рисунку 3, а його довжина складає 562 км.

Під час розрахунку витрат палива для транспортних засобів, інколи, необхідно враховувати

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Львів	Броди	Буськ	Городок	Дрогобич	Жидачів	Жовква	Золочів	Кам'янка-Бузька	Миколаїв	Мостиська	Перемишляни	Пустомити	Радохів	Самбір
1 Львів	0	103	53	28	86	63	30	68	41	37	69	47	19	72	72
2 Броди	103	0	51	143	191	170	102	39	81	142	183	76	128	51	186
3 Буськ	53	51	0	81	142	120	53	33	32	92	134	39	79	41	136
4 Городок	28	143	81	0	56	70	53	101	68	46	40	80	29	99	50
5 Дрогобич	86	191	142	56	0	58	115	148	129	49	71	127	58	161	33
6 Жидачів	63	170	120	70	58	0	109	108	108	27	105	71	53	138	91
7 Жовква	30	102	53	53	115	109	0	83	32	83	92	76	50	61	103
8 Золочів	68	39	33	101	148	108	83	0	62	100	142	37	85	76	142
9 Кам'янка-Бузька	41	81	32	68	129	108	32	62	0	80	122	59	60	31	124
10 Миколаїв	37	142	92	46	49	27	83	100	80	0	81	79	26	112	67
11 Мостиська	69	183	134	40	71	105	92	142	122	81	0	119	72	153	39
12 Перемишляни	47	76	39	80	127	71	76	37	59	79	119	0	64	82	121
13 Пустомити	19	128	79	29	58	53	50	85	60	26	72	64	0	97	66
14 Радохів	72	51	41	99	161	138	61	76	31	112	153	82	97	0	147
15 Самбір	72	186	136	50	33	91	103	142	124	67	39	121	66	147	0

Рис. 2. Таблиця відстаней між містами

значну кількість параметрів, що залежать від пройденого шляху. Зокрема, одним із важливих факторів при побудові маршруту, є якість транспортних шляхів, що впливає на економічне та безпечне перевезення вантажів, оскільки якісні дорожні умови визначають режими роботи транспортних засобів, тобто зменшують амортизацію вузлів та агрегатів. Дорожні умови можна охарактеризувати технічною категорією дороги, видом і якістю дорожнього покриття, рельєфом, тощо. Очевидно, що при перевезенні, наприклад, світлих нафтопродуктів вимоги до транспортування можуть жорстко регламентуватися.



Рис. 3. Маршрут доставки за критерієм мінімізації відстаней

При застосуванні мурашиного алгоритму як варіант розрахунку було вирішено врахувати пріоритетність доріг. Для цього, експертно оцінивши якість

транспортних шляхів, кожній з доріг було присвоєно пріоритет  $S_{ij}$ ,  $1 \leq S_{ij} \leq 3$ ,  $S_{ij}$  – цілі числа. Для шляху між двома пунктами  $i$  та  $j$ , який технічно відповідає категорії високого рівня, пріоритет становитиме  $S_{ij}=3$ . Відповідно для доріг з низьким рівнем якості  $S_{ij}=1$ .

Вплив пріоритетності на вибір мурахами маршруту можна визначати за таким правилом:

$$\eta_{ij} = \frac{S_{ij}}{D_{ij}} \quad (2)$$

Враховуючи пріоритетність доріг, ймовірність переходу з  $i$ -го пункту в  $j$ -ий можна записати так:

$$P_{i,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot \left[\frac{S_{ij}}{D_{ij}}\right]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot \left[\frac{S_{il}}{D_{il}}\right]^\beta}, j \in J_{i,k} \quad (3)$$

$$P_{i,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k}$$

Результатом пошуку був зображений на рисунку 4 маршрут довжиною 619 км.

Маючи дані про відстані між складами підприємства, а також середні швидкості руху по цих ділянках, можна оптимізувати маршрут з урахуванням середньої швидкості руху, а також розглядати задачу побудови маршруту доставки як динамічну, з урахуванням зміни дорожніх умов [7].



Рис. 4. Маршрут доставки з урахуванням пріоритетності шляхів

Варто відзначити, що під час мінімізації маршруту за критерієм пріоритетності доріг, довжина отриманого маршруту значно більша за довжину маршруту при мінімізації за критерієм відстані. Проте застосування такого маршруту може бути доцільним при здійсненні перевезень вантажів, що є чутливими до несприятливих дорожніх умов, тобто коли при перевезенні продукції до уваги беруть критерій якості доставки, або ж такий маршрут є наслідком інших обмежень, що на нього накладаються.

**Висновки.** Логістичний підхід до організації транспортних перевезень полягає у пошуку найкращих організаційних і технічно можливих рішень, що забезпечують максимальну ефективність перевезення вантажів від місця їхнього виробництва до місця споживання та, власне, побудову оптимального маршруту транспортування продукції.

Від видів вантажів, що транспортуються, часових вимог доставки, специфіки транспорту та інших факторів суттєво залежать маршрути доставки. Метаевристичні методи, зокрема мурашині алгоритми, дають змогу ефективно вирішувати завдання побудови маршрутів транспортування, гнучко враховуючи вимоги до них. У роботі розглянуто побудову мінімального маршруту доставки з урахуванням пріоритетності шляхів.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Toth P. Vehicle Routing Problem / Toth P., Vigo D. // SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications. – Philadelphia, PA, 2002. – P. 195-224.
2. Vehicle Routing Problem's Formulation [Електронний ресурс] //

The VRP Web. – Електрон. текст. дані. – С. 2006. – Режим доступу : <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP>.

3. Дацко М.В. Аналіз ринку нафтопродуктів та особливості перевезення продукції нафтогазових компаній України / М.В. Дацко, І.Б. Романич // Современные направления теоретических и прикладных исследований. Материали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції. – Одеса, 15-25 квітня 2006 р. – С. 3-6.
4. Романич І. Формування комплексу задач підвищення ефективності процесу транспортування світлих нафтопродуктів // Філософія Івана Франка й сучасні економічні проблеми. Материали міжнародної наукової студентсько-аспірантської конференції. – Львів, 5-6 травня 2006 р. – С. 194-196.
5. Брезак О. Підходи до оптимізації перевезень світлих нафтопродуктів / О. Брезак, І. Романич // Вісник Львівського національного університету імені Івана Франка. Серія економічна. – Випуск 34. – Львів, 2005. – С. 688-693.
6. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70-75.
7. Данчук В.Д. Оптимізація пошуку шляхів по графу в динамічній задачі комівояжера методом модифікованого мурашиного алгоритму / В.Д. Данчук, В.В. Сватко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2012. – № 2. – С. 78-86.
8. Dorigo M. The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents / Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A. // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. Part B. – 1996. – № 1. – Vol. 26. – P. 29-41.

УДК 658.3977

**Скрильник І.І.**

*старший викладач кафедри економічної кібернетики  
Полтавського національного технічного університету  
імені Юрія Кондратюка*

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАКСИМІЗАЦІЇ ВАЛОВОГО ПРИБУТКУ МАЛОГО ПІДПРИЄМСТВА ДЕРЕВООБРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УКРАЇНІ

Стаття присвячена побудові оптимізаційної економіко-математичної моделі отримання максимального валового прибутку малого підприємства деревооброблюваної промисловості ПП «Румо Інтернешнл». За результатами моделювання виконано розрахунки для виготовлення кількох видів фанери без використання та з використанням додаткового альтернативного джерела теплоенергії. Визначено економічну ефективність впровадження результатів дослідження.

**Ключові слова:** модель, критерій, валовий прибуток, чистий дохід, собівартість.

### Скрильник И.И. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМИЗАЦИИ ВАЛОВОЙ ПРИБЫЛИ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УКРАИНЕ

Статья посвящена построению оптимизационной экономико-математической модели для получения максимальной валовой прибыли малого предприятия деревообрабатывающей промышленности ЧП «Румо Интернешнл». По результатам моделирования выполнены расчёты для изготовления нескольких видов фанеры без использования и с использованием дополнительного альтернативного источника теплоэнергии, определена экономическая эффективность внедрения результатов исследования.

**Ключевые слова:** модель, критерий, валовая прибыль, чистый доход, себестоимость.

### Skrylnik I.I. ECONOMICAL AND MATHEMATICAL MODELLING OF MAXIMISATION OF GROSS DOMESTIC PRODUCT FOR SMALL SCALE ENTERPRISE IN WOOD PROCESSING INDUSTRY IN UKRAINE

The article deals with the construction of the optimization of economic and mathematical models to maximize gross profit small business woodworking industry PE «Rumo International». According to the simulation results of the calculations were made for the production of several types of plywood and without using an additional alternative source of heat, the economic efficiency of the implementation of research results.

**Keywords:** model, test, gross profit, net profit, cost price.

**Постановка проблеми.** Зростання будівництва викликав підвищений попит на продукцію деревообробної промисловості, яка здійснює переробку деревини і виготовляє з неї широкий асортимент матеріалів, напівфабрикатів і готових виробів для населення та народного господарства. Дана галузь об'єднує різні за матеріаломісткістю виробництва. Одні з них відзначаються високою питомою вагою витрат сировини на виготовлення про-

дукції і дуже великими виробничими відходами, інші – використанням відходів і перетворенням їх у цінну продукцію. Основою технічного розвитку деревообробних підприємств в умовах обмеженого інвестування є здійснення їхньої реконструкції, застосування на їх базі нових технологій з метою підвищення якості виробів, ефективного використання сировини, економії енергоресурсів, зменшення трудових витрат.