

УДК 65.0.12.122

## АЛГОРИТМИ ТА СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ КІЛЬЦЕВОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ

**А. О. Передерій, О. Ф. Кір'янов**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: Dulce-Alena@mail.ru

Розглянуто швидкодіючі алгоритми, що дозволяють отримати рішення з достатньою точністю. На сьогоднішній день дані алгоритми використовуються в багатьох сучасних автоматизованих системах планування. Однією з таких програм є програмний комплекс ТЛКА, призначений для автоматизованого планування оптимальних маршрутів, оптимального завантаження транспортних засобів і ефективного контролю роботи водіїв та експедиторів. Дає можливість зменшити загальний пробіг автомобілів на 36,4 % за один і той же період часу при однаковій кількості розвезеної продукції, економія 20–60 % паливно-мастильних матеріалів, підвищення продуктивної завантаженості автопарку, повний контроль за автотранспортом, отримання специфічної аналітичної інформації та звітів. Це, в свою чергу, призводить до значного зменшення транспортних витрат. Таким чином, автоматизація процесу доставки продукції є пріоритетним способом збільшення ефективності управління і контролю.

**Ключові слова:** маршрутизація, розвізний маршрут, методи, алгоритми, розвезення.

## АЛГОРИТМЫ И СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

**А. О. Передерий, О. Ф. Кирьянов**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
Первомайская, 20, 39600 Кременчуг, Украина. E-mail: Dulce-Alena@mail.ru

Рассмотрены быстродействующие алгоритмы, позволяющие получить решение с достаточной точностью. На сегодняшний день данные алгоритмы используются во многих современных автоматизированных системах планирования. Одной из таких программ является программный комплекс ТЛКА, который предназначен для автоматизированного планирования оптимальных маршрутов, оптимальной загрузки транспортных средств и эффективного контроля работы водителей и экспедиторов. Позволяет уменьшить общий пробег автомобилей на 36,4 % за один и тот же период времени при одинаковом количестве развезены продукции, экономия 20–60 % ГСМ, повышения производительной загруженности автопарка, полный контроль за автотранспортом, получения специфической аналитической информации и отчетов. Это, в свою очередь, приводит к значительному уменьшению транспортных расходов. Таким образом, автоматизация процесса доставки продукции является приоритетным способом увеличения эффективности управления и контроля.

**Ключевые слова:** маршрутизация, развозочный маршрут, методы, алгоритмы, развозка.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** На сьогоднішній день маршрутизація перевезень являється найбільш досконалим способом організації матеріалопотоків вантажів, що суттєво впливає на прискорення обігу автомобіля при раціональному і ефективному його використанні і на вартість перевезень [1]. Створення маршрутів дає змогу визначити потрібну кількість рухомого складу, котрий використовується при перевезеннях, сприяє скороченню простою автомобілів під час навантаження та розвантаження, ефективному використанню рухомого складу. Маршрутизація сприяє своєчасному і безперервному виконанню поставчань продукції споживачам і ефективній взаємодії збутових та автотранспортних організацій. Необхідність маршрутизації перевезень вантажів обґрунтовується ще й тим, що маршрути дають можливість складання проектів поточних планів та оперативних заявок на транспорт, що виходять з дійсних обсягів перевезень.

Кільцеві маршрути організуються в тих випадках, коли маятникові маршрути організувати неможливо. Правильне складання маршрутів забезпечує досягнення найвищого коефіцієнту використання пробігу, а отже, забезпечує зниження собівартості перевезень. Складання маршрутів потребує дотримання наступних вимог: максимальна продуктив-

ність транспортного засобу при мінімальній собівартості обслуговування; надання можливості слідувати до точки призначення з максимальною швидкістю, за умови виконання ПДР та врахування специфіки вантажу; забезпечення можливості просування вантажівки найкоротшим шляхом, з мінімальним завантаженням траси та максимальної якості дорожнього покриття; відповідність маршруту руху маршруту доставки вантажопотоку; виключення зустрічних та скорочення повторних перевезень; сумісність вантажу, тобто можливість послідовного доставляння вантажу без підготовки автомобіля.

Підвищення якості та зниження собівартості перевезень, надання великого спектру послуг, поліпшення обслуговування клієнтури, своєчасне реагування на зміну транспортних послуг на території країни і регіону – все вищевикладене обумовлює пошук нових підходів до роботи на транспортному ринку. Якщо створені оптимальні маршрути та дотримуються строки поставки, то виробничі запаси споживачів можуть скорочуватися в 1,5–2 рази, знижуючи тим самим витрати на складування.

Таким чином, розробка ефективних маршрутів і проектів планів перевезень сприяє своєчасному й безперебійному виконанню поставок продукції та ефективній взаємодії організацій-постачальників,

одержувачів та автотранспортних організацій. Підбиваючи підсумок вищесказаному, можна з упевненістю сказати, що задача оптимізації маршрутизації транспортних засобів стає особливо актуальною в умовах даної економічної ситуації.

Мета роботи – дослідження існуючих методів оптимізації оптимальних маршрутів при кільцевих вантажних перевезеннях і розробка оптимального алгоритму, який враховуватиме кількість вантажодержувачів, вантажопідйомність транспортного засобу, сумарний обсяг вивезення вантажу від вантажовідправника, обсяги завезеного для кожного вантажодержувача, довжини ланок транспортної мережі між пунктами.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Проблема вдосконалення методів маршрутизації дрібнопартійних перевезень у транспортній мережі міст є актуальною з огляду на наступні фактори: значне загострення конкуренції на ринку автотранспортних послуг, перехід на якісно нові стандарти виробництва, потреба у впровадженні нових технологій транспортного процесу, організація дрібнопартійних перевезень в транспортних системах міст пов'язана з аналізом великих масивів даних (число постачальників, число перевізників, число вантажодержувачів, кількість і вантажопідйомність автомобілів), при цьому планування розвізних маршрутів зв'язане з необхідністю врахування великої кількості технологічних обмежень (обмеження по швидкості, напрямку руху, за часом та ін.).

Питання організації перевезень, логістичних операцій, вантажно-розвантажувальних робіт досліджувались рядом вчених, серед яких Афанасьєв Л.Л., Бакаєв О.О., Воркут А.І., Гаджинский А.М., Гриневиц Г.П., Губенко У.К. та інші. Аналіз літературних джерел показав, що найбільше уваги приділено методикам рішення задач маршрутизації за критерієм оптимізації витрат перевізника (мінімізації пробігу, часу доставки). Проте в умовах змінного попиту мінімізація витрат не дає повної картини успішності функціонування системи.

Дослідниками розглядалось питання формування раціональних розвізних маршрутів, у результаті чого запропоновано низку методів рішення задачі маршрутизації перевезень дрібних партій вантажів, які можна згрупувати наступним чином: динамічного програмування, цілочисельне лінійне програмування, метод «гілок та меж», методи випадкового пошуку та наступної локальної оптимізації, евристичні методи та метаевристичні методи [2].

Застосування методів перших трьох груп забезпечує знаходження рішення задачі, відповідного об'єктивному оптимуму цільової функції (звичайно це – мінімум пробігу). Їх називають точними методами. Методи останніх трьох груп дають зі всіх допустимих рішень достатньо добрі, але не обов'язково кращі рішення. Тому їх називають методами отримання наближених рішень.

Найбільше розповсюдження, зважаючи на свою економічність, отримали евристичні методи.

Точні методи дають оптимальне рішення, однак на практиці маршрутизація повинна враховувати багато суб'єктивних, не кількісних факторів, що опти-

мальне рішення точних методів може стати для організації далеко не самим вигідним варіантом.

На сьогодні прикладів застосування точних методів для вирішення задач планування розвізних маршрутів невідомо, проте є приклади розробки ефективних алгоритмів, що базуються на модифікації точних та наближених методів.

Поява методів випадкового пошуку пояснюється існуванням нестабільності попиту клієнтів і різною періодичністю завезення вантажу клієнтам. У таких випадках, на підставі заявок клієнтів, може проводитися або мікрорайонування клієнтів, або виділення типових ситуацій, тобто знаходження первинного рішення, не обов'язково навіть допустимого. Використовуючи локальну оптимізацію, здійснюється спроба покращити дане рішення. Правила перетворення частіш за все прості. Відомим методом локальної оптимізації є метод інверсій.

Найбільш поширеними методами рішення «задачі розвезення» є евристичні методи, які можна розділити на три групи. До першої відносять методи, що моделюють дію досвідченого диспетчера; до другої – що реалізують евристику – формалізоване суб'єктивне поняття про «кращий» маршрут; треті – мають в основі точні методи рішення, але обчислення спрощуються і укорочуються ціною відмови від гарантії знайти точне рішення.

У метаевристичних методах акцент ставиться на ретельне вивчення найбільш перспективних складових у процесі рішення. До них належать генетичні алгоритми, алгоритми мурашиної колонії, алгоритм поведінки „натовпу”.

Останні три методи маршрутизації використовуються на практиці сьогодні, але для компаній з великими обсягами перевезень дрібних партій є малоефективними, так як не враховують всю сукупність критеріїв оптимізації, а це, в свою чергу, призводить до значного збільшення частки транспортної складової в собівартості продукції. Перш за все, це пояснюється наявністю значних перепробігів парку від нераціонального вибору маршруту руху водієм автомобіля і повною не оптимізацією маршрутів між собою. Рішенням цієї проблеми є об'єднання перелічених методів і створення на цій основі нової моделі планування.

В умовах конкуренції кількість підприємств, які стикаються із задачею планування маршрутів, стрімко збільшилася. Їх стратегічне завдання – забезпечити цільовий рівень обслуговування клієнтів з мінімальними витратами. Для таких умов доцільно розглянути задачу формування розвізних маршрутів в наступній постановці: наявність декількох складів завантаження, велика кількість клієнтів (50–800 пунктів, які необхідно обслуговувати кожного дня), доставка продукції у визначений час, широкий асортимент товару, нестабільність замовлень та їх розмірів. Це все вимагає розробки нових технологій для планування маршрутів розвезення товарів.

У сучасних умовах для пошуку оптимального рішення задач маршрутизації необхідно розробляти та застосовувати швидкодіючі алгоритми, які б дозволяли отримувати рішення з достатньою точніс-

тю. Сучасність (технічний розвиток, конкуренція, ринкові відносини) вимагає нових стандартів організації транспортного обслуговування з урахуванням інтересів як виробників транспортних послуг, так і споживачів, тобто, з одного боку, треба вирішувати логістичні задачі: оптимізувати транспортний процес, знаходячи внутрішні резерви і зменшуючи загальні затрати. З іншого – створити умови щодо задоволення вимог споживачів. У даній роботі, відштовхуючись від сучасних умов та можливостей комп'ютерної техніки, аналізуються можливості розроблених алгоритмів оптимальної маршрутизації та система автоматичної маршрутизації, їх впровадження.

З урахуванням наведених вимог створена база даних довідників та критерії роботи алгоритмів маршрутизації. Довідники створюють інформаційну вхідну групу для подальшого перебору варіантів. Довідники клієнтів системи «прив'язуються» до електронної карти. Далі формується динамічна база заявок клієнтів, розміщення яких є у довідниках, а номенклатура та обсяги заявок, надають інформацію щодо потреби у транспорті та його розподілу. Узагальнений алгоритм роботи системи формування маршрутів приведено на рис. 1.

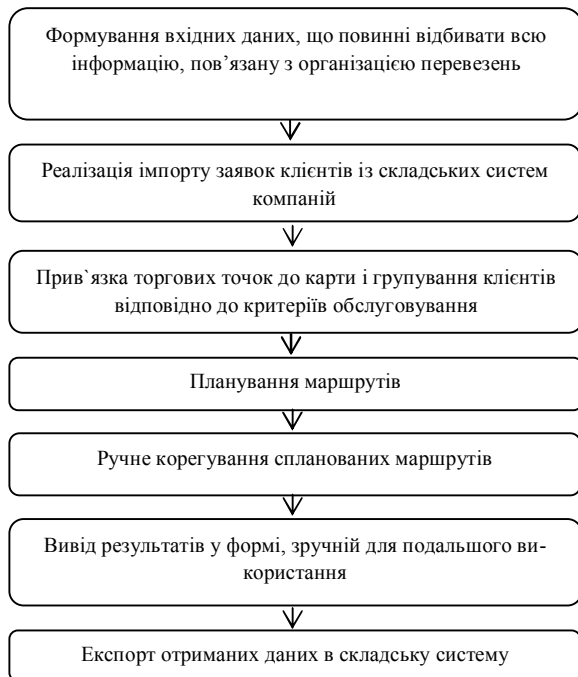


Рисунок 1 – Загальний алгоритм маршрутизації

Детальніша робота кожного з наведених блоків:

1. *Імпорт та опрацювання даних.* У цьому блоці алгоритму відбувається збір інформації про накладні (файл з розширенням docs.csv), її опрацювання в системі. На кінцевому етапі є можливість їх корегування та групування по складах і районах (рис. 2).

2. *Підготовка даних.* Для подальшої роботи алгоритму відбувається збір поточної інформації про клієнтів, транспортні засоби, торгові точки та отримані накладні, характеристики вантажів. Ця інфор-

мація завантажується в оперативну пам'ять для мікрорайонування.

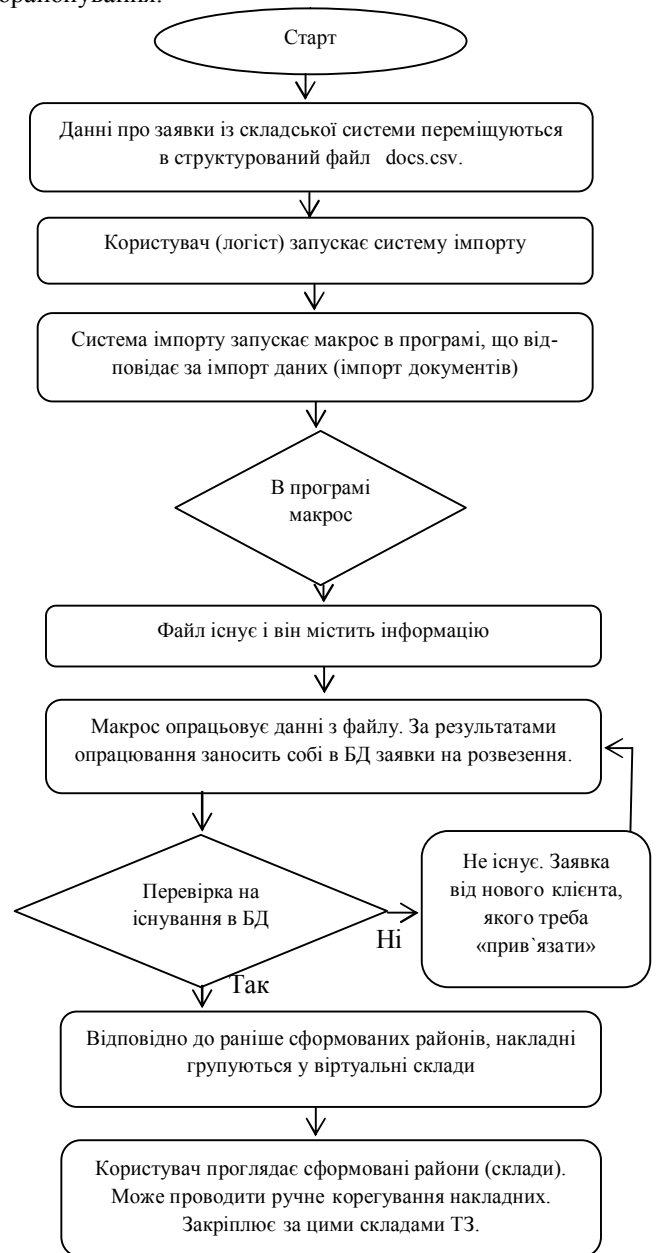


Рисунок 2 – Алгоритм імпорту та опрацювання заявок

3. *Групування клієнтів.* Для зручного планування розвезення товарів та вибору транспортних засобів групують клієнтів. Для цього використовуються геоінформаційні дані з карти міста щодо розташування кожного із клієнтів, який надав заявку на доставку товарів. У кожному мікрорайоні формується оптимальне завантаження наявного автомобіля або вибір більш відповідного з метою задовольнити заявки за один рейс. Таким чином формується кожна група заявок (рис. 3).

4. *Планування маршрутів.* Зміст роботи блоків алгоритмів приведено на рис. 4.

При роботі алгоритму ми порівнюємо отриманий результат з еталоном помилки на оптимальний

маршрут. Еталон постійно змінюється, якщо знаходяться кращі варіанти.

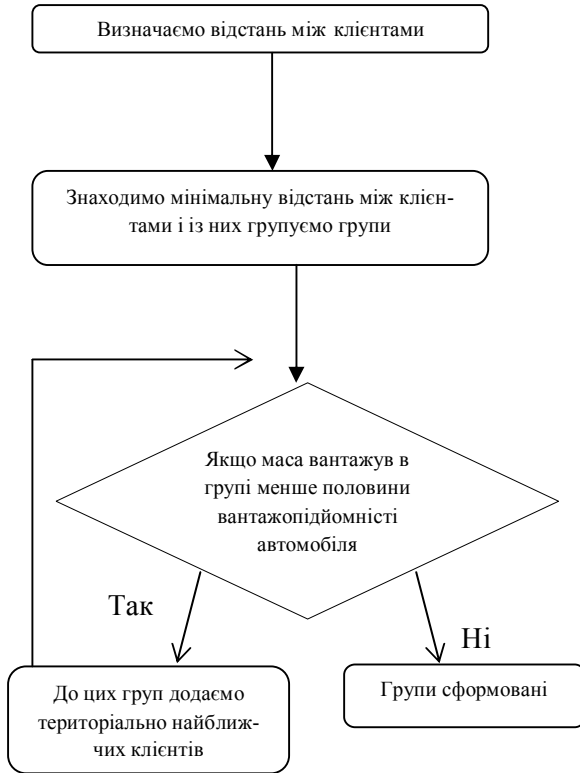


Рисунок 3 – Алгоритм групування клієнтів

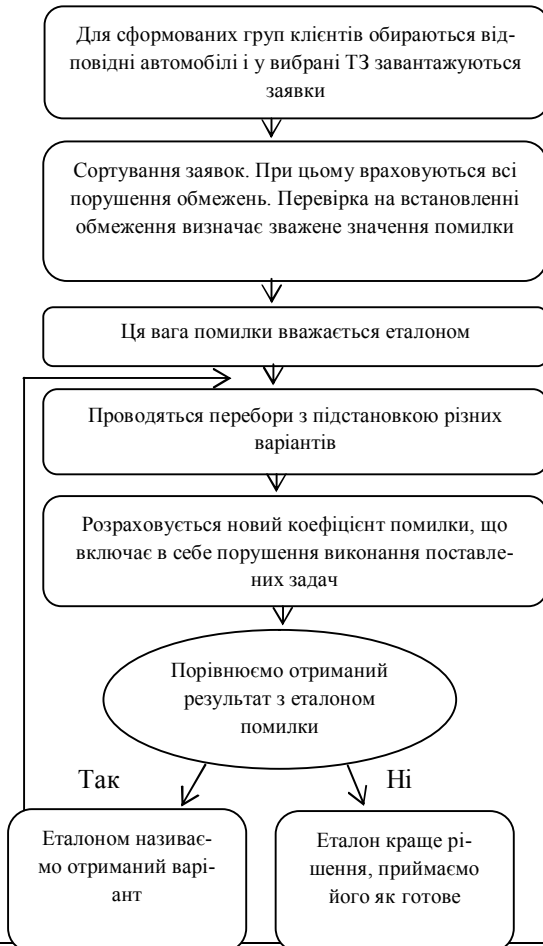


Рисунок 4 – Алгоритм планування  
5. Вибір транспортних засобів (рис. 5). Загальні критерії вибору відомі і розміщуються у довідниках програми.

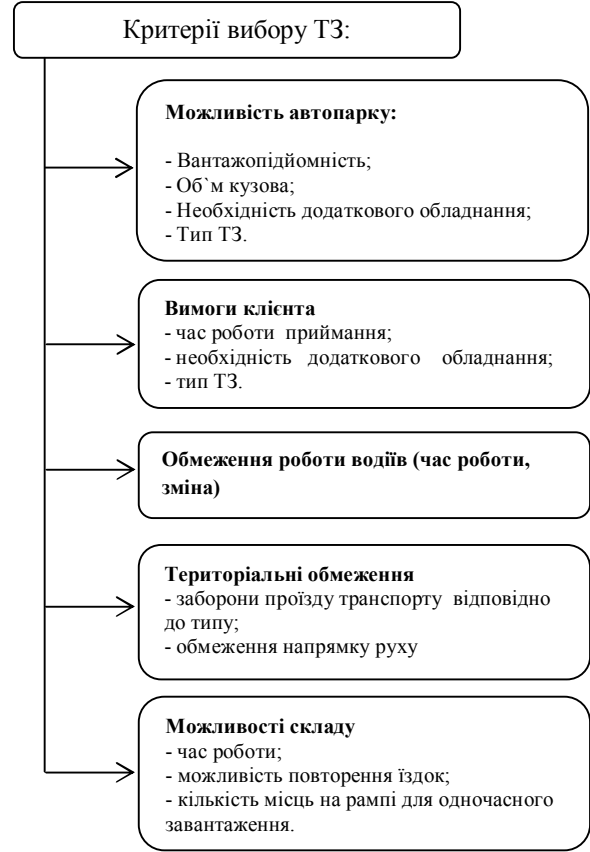


Рисунок 5 – Критерії, що визначають вибір ТЗ

Більшість міських перевізників (як власних виробників або дистрибуторів), так і сторонніх, задіяних у доставках, мають невеликі автопарки однотипних автомобілів. Тому задача їх оптимального завантаження та раціонального використання зростає. Накладні перетасовуються між автомобілями, при цьому враховуються всі порушення обмежень, як тільки порушених обмежень стає менше, результат позначається як основний і перебори тривають. Як тільки порушень обмежень не залишається, йде пошук найбільш оптимальних (пріоритет, заданий налаштуванням) маршрутів. По завершенні роботи алгоритму формуються і зберігаються (автомобілі і накладні клієнтів, які зв'язані в довіднику «Прив'язка клієнтів до машини») особливі маршрути. Відбувається розподіл доступних експедиторів по сформованих маршрутах. Записуються дані про поїздки експедиторів, дані про роботу складу (-ах) і дані про маршрути.

Подібні алгоритми на сьогоднішній день використовуються в багатьох сучасних автоматизованих системах планування в автопарках зі значною кількістю транспорту.

Тому на основі теоретичного матеріалу та практичного досвіду на кафедрі «Транспортні технології» кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського був розроблений програмний комплекс під назвою ТЛКА [3, 4], що працює на основі даних алгоритмів, призначений для автоматизованого планування кільцевих розвізних маршрутів із засобами контролю маршрутів доставки продукції.

Програма безпосередньо орієнтована на оперативне проектування розвізних кільцевих маршрутів по місту і околицям на підставі інформації про клієнтів, їх щоденних заявок на доставку продукції, інформації про доступні на сьогодні транспортні засоби, водіїв, експедиторів, дорожні умови. Модель розвезення будується з використанням карти території, що обслуговується перевізником, прив'язкою клієнтів до транспортної схеми території.

Використання автоматизованих систем управління на автомобільному транспорті розглянемо на прикладі підприємства ПАТ "Кременчуцький м'ясокомбінат" [5], що займається і доставкою власної продукції по торгових точках. Дане підприємство займається виробництвом м'ясної продукції і її розвезенням по всій території України, використовуючи власні та наймані автомобілі. Доставка по регіонам здійснюється силами підприємства. Автомобільний парк налічує більше 100 одиниць транспорту. Продукція ТМ «Фарро» доставляється у більш ніж 4000 точок продаж, для цього автомобілі компанії щодня проїжджають більше 57 600 кілометрів (на розвізних маршрутах).

Процес розвезення готової продукції відбувається зазвичай уночі фурами вантажність 20 тон по всій території України, доставка її в пункти призначення та перевантаження в автомобілі меншої вантажності, в даному випадку Газелі ( $q_n=1,7$  тон) і в кінцевому етапі розвезення по торгових точках міста.

Так як витрати на доставку однієї одиниці продукції постійно збільшуються, то впровадження системи оптимального планування і контролю стає все більше актуальним та необхідним.

Комплекс для оптимізації планування маршрутів і моніторингу автотранспорту ТЛКА від значно допоможе логістам «Кременчукм'ясо» [5] тим, що виконує більше 80 % роботи в автоматичному режимі.

Для аналізу ефективності від впровадження програмного комплексу проведено техніко-економічні розрахунки по одному із ближніх районів. За наданими даними, для обслуговування Кременчуцького району закріплено автомобільний парк з 8 автомобілів; 25 торгових точок щодня обслуговується одним автомобілем; організаційний час затримки в кожній точці 10–20 хвилин; об'єм перевезеної продукції за місяць складає 95 тон. Щоденно наведені усереднені дані суттєво різняться і при формуванні добового завдання для транспорту дані по заявках заносяться у форму «Постановка задачі» по заповненні якої запускаються розрахункові алгоритми (рис. 6).

При розрахунку обліковуються всі додаткові параметри, такі як час роботи торгових точок, заван-

таженість доріг, обмеження проїзду, допустима кількість ходок та інші.

На основі даних підприємства нами були сплановані розвізні маршрути доставки продукції по Кременчуцькому району. Отримано такі результати: пробіг кожного авто і загальний за день, витрати пального, вартість цих перевезень. Приведемо ці розрахунки до місяця і порівняємо, визначивши при цьому ефективність впровадження програмного комплексу ТЛКА.

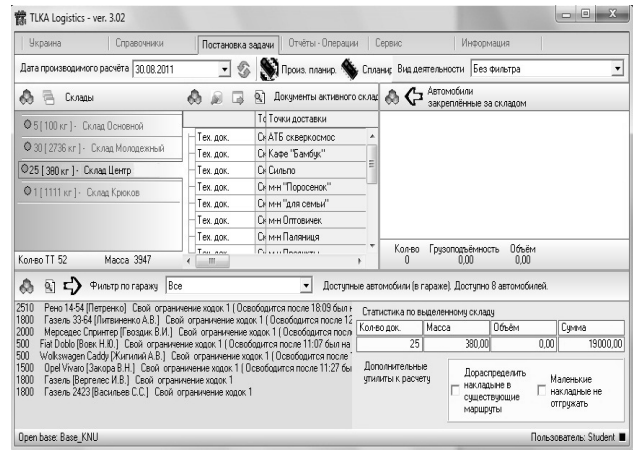


Рисунок 6 – Постановка задач

Для визначення ефективності роботи програми ТЛКА, використано показник – середній пробіг автомобілів на одну тону продукції за місяць, який одночасно враховує і пробіг автомобіля, і перевезений вантаж.

Прогнозована сума економії затрат на паливо за місяць:

Сума економії за 31 день:

$$C_e = ((P_m - P_{m1}) \cdot ЦПММ) \cdot ТОб'єм_y - GPS, \quad (1)$$

де  $P_m$  – середній пробіг автомобіля на 1 тону продукції за базовий період (місяць);  $P_{m1}$  – середній пробіг автомобіля на 1 тону продукції за розрахунковий період (місяць);  $ЦПММ$  – ціна паливно-мастильних матеріалів на 1 км пробігу;  $ТОб'єм_y$  – обсяг продажів продукції за розрахунковий період;  $GPS$  – абонплата за використання GPS обладнання (700 грн. за місяць).

Середній пробіг автомобіля на 1 тону продукції базовий:

$$P_m = L / ТОб'єм_y, \quad (2)$$

$L$  – пробіг автомобілей за базовий період склав 23 397км (за даними м'ясокомбінату);  $ТОб'єм_y$  – перевезена продукція за базовий період 91 тон (за даними м'ясокомбінату).

$$P_m = 23397 / 91 = 228,9 \text{ км} / \text{т}$$

Середній пробіг автомобіля на 1 тону продукції за розрахунковий період:

$$P_m = L / ТОб'єм_y, \quad (3)$$

$L$  – пробіг автомобілей за розрахунковий період 14 880 км;  $T_{об'єму}$  – перевезена продукція за розрахунковий період 95 тон.

$$P_m = 14880 / 95 = 156.6 \text{ км / т}$$

Сума економії за 31 день:

$$((228.9 - 156.6) \cdot 0.72) \cdot 95 - 700 = 4245 \text{ грн. (2010 рік)}$$

що становить 29 % економії на 2010 рік за місяць від транспортних затрат, які витрачались підприємством до впровадження TLKA.

Сума економії на 2012 р. (враховуючи збільшення ціни на ПММ):

$$C_e = ((P_m - P_{m1}) \cdot ЦПММ) \cdot T_{об'єму} - GPS = ((228.9 - 156.6) \cdot 1.206) \cdot 95 - 700 = 7584 \text{ грн.}$$

що становить 30 % економії за місяць.

З розрахунків бачимо, що використання автоматизованої системи планування і контролю дає значне зменшення транспортних витрат. Маючи такий ресурс підприємство знижує витрати, підвищує показники економічної ефективності та свою конкурентоспроможність на ринку.

**ВИСНОВКИ.** Отже, у сучасних умовах, для забезпечення населення товарами повсякденного попиту, при плануванні доставки товарів по сотнях торгових точок, оптимального рішення без використання автоматизованих методів маршрутизації не обійтись.

При значній номенклатурі щоденних заявок в умовах дефіциту часу для планування необхідні швидкодіючі алгоритми, на основі яких створено програмний комплекс пошуку оптимального рішення маршрутизації та задачі розподілу заявок по наявному автомобільному парку.

## ALGORITHMS AND SYSTEMS OF OPTIMUM AUTOMATIC CIRCULAR ROUTING

**A. Perederiy, O. Kiryanov**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: Dulce-Alena@mail.ru

The authors consider fast-acting algorithms providing sufficiently accurate solutions. At the moment these algorithms are commonly used in a lot of modern automated planning systems. The TLKA software complex is one of the products within the range of such software. It is designed for the optimum routes automatic planning, vehicles optimum loading, and efficient management of drivers' and forwarding agents' work. The research results have revealed that the TLKA software complex allows for decrease of automobile run by 36,4 % during the same time period and for the same amount of the goods delivered, saving of fuel and lubrication materials by 20-60%, enhancement of the load efficiency of the vehicle fleet, vehicles comprehensive control, and getting of specific analytical data and reports. This, in its turn, results in cut of transportation expenses. Thus, goods delivery automation is a priority way to increase the efficiency of control an management.

**Key words:** routing, delivery rout, methods, algorithms, delivery.

### REFERENCES

1. Zhitkov, V.A. (1976), *Planirovanie avtomobilnykh perevozok gruzov melkimi partiyami* [Planning of shot lot automobile freight transportations], Transport, Moscow, Russia.
2. Zhitkov, V.A., Kim, K.V. (1984), *Metody operativnogo planirovaniya gruzovih avtomobil'nih perevozok* [Operative planning METHODS of automobile freight transportations], Transport, Moscow, Russia.
3. «Company LOGIKA. Audit of transport logistics of the LOGIKA company», [electronic resource],

В основі комплексу лежить електронна карта транспортної сітки регіону та база даних, прив'язана до цієї карти. На основі щоденних заявок на доставку продукції та доступних до використання автомобілів формуються оптимальні маршрути об'їзду заявлених торгових точок з урахуванням численних критеріїв, що впливають на ефективність обслуговування та використання транспорту.

Як показав досвід впровадження програмного комплексу на ряді дистриб'юторських компаній, ПАТ «Кременчук'ясо», при використанні програми зможе зменшити витрати ПММ на 20–60 %, підвищити коефіцієнт використання та завантаження автопарку, забезпечити повний контроль за автотранспортом.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Житков В.А. Планирование автомобильных перевозок грузов мелкими партиями. – М: Транспорт, 1976. – 112 с.
2. Житков В.А., Ким К.В. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок: – М: Транспорт, 1984. – 218 с.
3. Компания LOGIKA Аудит процессов транспортной логистики компании LOGIKA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://logistika.org.ua/about/70newsevents/208audit.html>
4. Компания LOGIKA Автоматизация логистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://logistika.org.ua/about/news.html>.
5. Кременчук'ясо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krm.com.ua/index.php?id=36>.

Стаття надійшла 15.05.2013.