

УДК 656.073.7

О.П. Калініченко, О.В. Павленко, В.М. Нефьодов

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Запропоновано використання нового комплексного підходу до вирішення завдань оперативного планування вантажних перевезень на автомобільному транспорті. Розглянута схема взаємопов'язаного вирішення завдань нижнього рівня з вибору і завантаження раціональних марок транспортних засобів, маршрутизації перевезень та узгодження роботи учасників транспортного процесу.

Ключові слова: планування, перевезення, маршрутизація, автомобіль, ефективність, узгодження, вантаж, транспорт, схема, комплекс.

Постановка проблеми

Для прийняття найбільш ефективного рішення на стадії оперативного планування і управління вантажними перевезеннями на автомобільному транспорті, необхідно обробити значний обсяг даних про стан транспортної системи і перевізного процесу при дотриманні жорстких часових обмежень. В цих умовах завдання вибору оптимального варіанту оперативного впливу на керовану систему стає особливо складним та висуває високі вимоги до технічної, інформаційної та математичної основи системи оперативного управління. На сучасному етапі, підвищення конкурентоздатності підприємств, що спеціалізуються на виконанні послуг по доставці вантажів, можливе за умови швидкого та ефективного вирішення комплексу задач, що пов'язані з організацією транспортного процесу.

Під задачами оперативного планування й керування вантажними автомобільними перевезеннями традиційна транспортна термінологія має на увазі задачі, які вирішуються на завершальному етапі автотранспортного виробництва. Звичайно цим етапом у часовому просторі є доба, рідше - зміна. Рішення цих задач спрямовано на досягнення однієї мети - економічно ефективно використати наявні транспортні ресурси для виконання замовлень на перевезення.

Рішення вибору раціонального рухомого складу для виконання вантажних перевезень, маршрутизація, розробка графіків роботи, задачі завантаження рухомого складу, як правило, вирішуються на локальному рівні із застосуванням критеріїв, що дозволяють розв'язати проблему без урахування інших рішень оперативного планування. Такий підхід призводить до того, що оптимальне рішення на одному

локальному рівні не дає змогу отримати оптимальне рішення на других локальних рівнях.

Класичні методи вирішення задач оперативного планування та управління потребують удосконалення з точки зору розгляду всіх етапів оперативного планування в рамках комплексного підходу, із застосуванням економічно обгрунтованого критерію, що дозволить оптимізувати всі рівні планування з урахуванням їх взаємного впливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В даний час зниження якості надання транспортних послуг підприємствами автомобільного транспорту викликано рядом причин, які пов'язані як з технічними аспектами функціонування підприємств так і з нераціональною організацією планування на підприємстві та відсутністю інновацій [1]. Необхідність підвищення ефективності виконання вантажних перевезень, що призведе до зниження вартості транспортної продукції, а отже і до зниження кінцевої вартості товарів, що є актуальним в умовах економічної кризи, стикається з використанням застарілих підходів до вирішення завдань оперативного планування [2] та розрахунку ефективності виконання перевезень [3]. Велика розмірність завдань і велика кількість суттєвих для практики обмежень призводить до неможливості отримання оптимальних рішень традиційними методами. Своєчасність рішення завдань, що на практиці потребує мінімального часу, а інколи в режимі реального часу, призводить до значного спрощення постановки завдань оперативного планування [4]. Послідовне вирішення завдань не дає змоги оцінити взаємний вплив окремих рішень один на одного та на кінцевий результат планування.

Рішення задач вибору раціонального транспортного засобу (ТЗ) для виконання вантажних перевезень, маршрутизація перевезень вантажів [5,6], розробка графіків роботи [7], задачі завантаження ТЗ, як правило, вирішуються на локальному рівні із застосуванням критеріїв, що дозволяють розв'язати проблему без урахування інших рішень оперативного планування [8]. Такий підхід призводить до того, що оптимальне рішення на одному локальному рівні не дає змогу отримати оптимальне рішення на других локальних рівнях, що призводить до погіршення кінцевого результату – планового змінно-добового завдання. Проведений аналіз сучасного стану вирішення задач оперативного планування вантажних перевезень на автомобільному транспорті дозволяє зробити висновок, що однією з перспективних задач підвищення якості оперативного планування є врахування взаємного впливу рішень, що приймаються при вирішенні локальних задач та розробка методики оперативного планування з урахуванням взаємного впливу поточних рішень. Для підвищення конкурентоздатності підприємств автомобільного транспорту, рішення задач оперативного планування повинно виконуватись з використанням прикладних комп'ютерних програм, що дозволять отримувати необхідний результат за оптимальний час [9,10].

Формулювання мети статті

Існуючі недоліки сучасних підходів до вирішення задач оперативного планування обумовлюють мету дослідження - підвищення ефективності функціонування транспортного комплексу, за рахунок розробки та застосування інтегрованої інформаційної автоматизованої системи оперативного планування, що базується на використанні комплексного підходу до врахування взаємовпливу поточних рішень, що дозволить значно підвищити ефективність виконання автомобільних вантажних перевезень, та дозволить підвищити конкурентоздатність підприємств, що застосують таку систему в своїй роботі. Об'єктом дослідження виступає процес оперативного планування перевезень вантажів підприємствами вантажного автомобільного транспорту. Предмет дослідження - теоретичні та практичні питання транспортного процесу в області змінно-добового планування роботи транспортного комплексу. Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення наступних задач: теоретичні дослідження комплексного вирішення задач оперативного планування; розробка інтегрованої інформаційної автоматизованої системи рішення задач оперативного планування вантажних перевезень; проведення експериментальних досліджень; аналіз результатів дослідження та розрахунок ефективності рішень.

Виклад основного матеріалу

Підвищення ефективності функціонування транспортного комплексу можливо за рахунок розробки та застосування системи підтримки прийняття рішень з використанням комплексної економіко-математичної моделі оперативного планування. Схема застосування представлена на рис. 1.

Для розробки системи підтримки прийняття рішень пропонується використовувати системний підхід до вирішення задач оперативного планування з врахуванням комплексу критеріїв

$$y = f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_K(x)) \rightarrow opt \quad (1)$$

В якості цільової функції пропонується використовувати загальні витрати на виконання перевезень вантажів

$$B = f(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)) \rightarrow opt \quad (2)$$

де $f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)$ - цільові функції вирішення задач відповідно вибору транспортного засобу, завантаження транспортного засобу, маршрутизації, узгодження роботи,

$x = (x_1, x_2, x_3, x_4) \in X$ - вектор рішень, що задовольняє обмеженням

$$g(x) = (g_1(x), g_2(x), g_3(x), g_4(x)) \geq 0.$$

Для рішення задачі вибору транспортного засобу необхідно в кожному випадку визначити пріоритетні критерії з груп технічних, технологічних або економічних.

Для рішення цієї задачі нижнього рівня можливо визначити цільові функції як витрати на виконання перевезень, або набір технічних або технологічних критеріїв при заданій системі обмежень.

$$f_1(x) = B = f_1(Q, L, N, \dots, x | B(x)) \rightarrow \min \quad (3)$$

$$f_1(x) = \gamma \cdot T, W_Q = f_1(Q, L, N, \dots, x_1 | \gamma(x_1); x_2 | T(x_2); x_3 | W_Q(x_3)) \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} T_{\text{дост}i} \leq T_{\text{дог}i} \\ T_{3i} = T_{\text{пл}i} \end{cases} \quad (4)$$

$T_{\text{дост}i}, T_{\text{дог}i}$ - відповідно фактичний та договірний час доставки вантажу.

Обов'язковою умовою є урахування стандартних обмежень (характеристика потоку вимог на об-

слуговування, характеристика парку рухомого складу, техніко-експлуатаційних показників.)

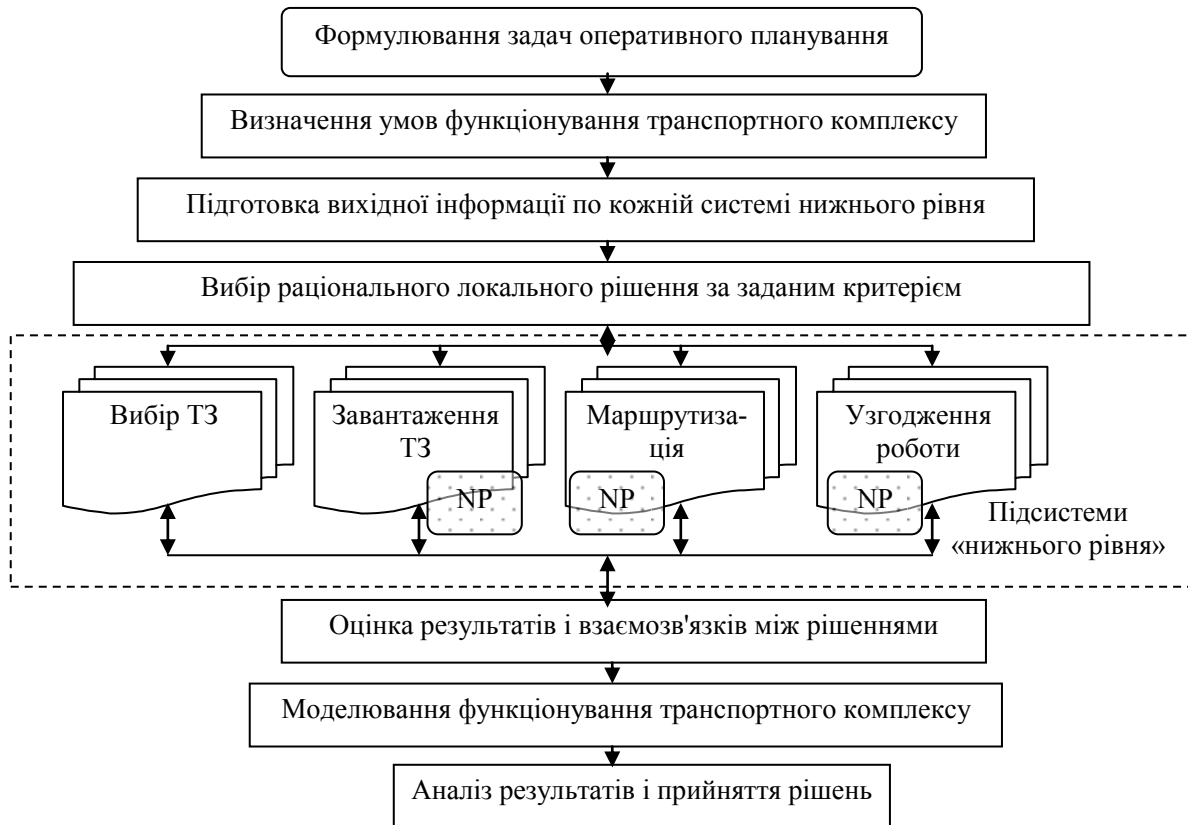


Рис. 1. Схема застосування запропонованого засобу планування

В якості наступної задачі нижнього рівня необхідно використовувати задачу раціонального завантаження транспортного засобу. В сучасних умовах на більшості підприємств розрахунок плану завантаження автомобілів виконується на основі попереднього досвіду в ручному режимі. Ефективність такого завантаження особливо при перевезеннях великої номенклатури вантажів в одному транспортному засобі складає 70%. При тому інколи зустрічаються випадки завантаження автомобіля без урахування черговості заводу в пункти розвантаження, що призводить до додаткових втрат в зв'язку з виконанням навантажувально-розвантажувальних робіт [11].

Задачу завантаження транспортного засобу необхідно вирішувати у комплексі з підбором засобів пакування, вибором раціональних навантажувально-розвантажувальних механізмів, та з можливістю визначення порядку завантаження - за списком, «антизлодій», «небезпечний вантаж».

В якості локальних цільових функцій пропонується використовувати економічні (витрати пов'язані з використанням рівня завантаження транспортного засобу, використання його корисного об'єму та лінійних розмірів) 5, або технологічні 6.

$$f_2(x) = B = f_2(q_n, V, a, b, h, \dots, x | B(x)) \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$f_2(x) = \gamma_c = f_2(q_n, V, a, b, h, \dots, x | \gamma(x)) \rightarrow \max. \quad (6)$$

де q_n, V, a, b, h - відповідно, номінальна вантажність автомобіля, об'єм кузова автомобіля, довжина, ширина та висота кузова автомобіля.

В якості системи обмежень необхідно зазначити порядок завантаження по пунктам заїзду та по видам вантажу, що планується завантажувати у транспортний засіб (7).

$$\begin{cases} \Pi = \{A: B_1, B_2, \dots, B_n\} \\ \Pi_1 = \{K: \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\} \\ T_{\text{дост}i} \leq T_{\text{дог}i} \\ T_{z_i} = T_{\text{пл}i} \end{cases}, \quad (7)$$

де $\Pi = \{A: B_1, B_2, \dots, B_n\}$, $\Pi_1 = \{K: \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\}$ - відповідно порядок завантаження по пунктам заїзду та по видам вантажу.

Після вибору виду маршруту необхідно визначити критерії оптимізації з урахуванням взаємного впливу інших задач нижнього рівня. Обмеження прийняті при визначенні інших задач оперативного планування можуть значно вплинути, а то і обмежити можливість використання деяких критеріїв.

Для визначення раціональних маршрутів перевезень вантажів пропонуються цільові функції на мінімум – пов'язані зі зниженням загального та порожнього пробігу рухомого складу, з мінімізацією часу роботи автомобілів на маршруті, виконанням транспортної роботи та витратами на виконання перевезень; та на максимум - пов'язані зі збільшенням показників використання вантажності автомобілів, максимізацією часу виконання транспортних послуг та збільшенням продуктивності рухомого складу (8,9):

$$f_3(x) = L, L_x, T, P, B = f_3(Q, L, N, \dots, x_1 | (x_1); x_2 | L_x(x_2); \dots x_n | N(x_n)) \rightarrow \min \quad (8)$$

$$f_3(x) = \gamma_c \cdot \gamma_d \cdot T \cdot WP = f_3(Q, L, N, \dots, x_1 | \gamma_c(x_1); x_2 | \gamma_d(x_2); \dots x_n | N(x_n)) \rightarrow \max \quad (9)$$

де L - загальний пробіг рухомого складу, км.;

L_x - порожній пробіг рухомого складу, км.;

T - час роботи автомобілів на маршруті, год.;

P - транспортна робота, ткм.;

Q - обсяг перевезень, т.;

N - кількість пунктів заїзду, од.;

γ_c, γ_d - відповідно статичний та динамічний коефіцієнти використання вантажності автомобіля.

Практика транспортного обслуговування на цей час показує, що успіх виконання плану перевезень у значному ступені залежить від перевірки й уточнення всіх даних у заявках і замовленнях. Робота водія на лінії й виконання ним запланованого обсягу перевезень у великій мірі пов'язані зі станом під'їзних колій до місць навантаження й вивантаження вантажів, підготовкою вантажу до перевезення й часом виробництва вантажно-розвантажувальних робіт.

Особливі вимоги замовники транспортних послуг пред'являють до чіткого дотримання графіків завозу вантажу, що пов'язано інколи зі значними витратами на виконання вантажних та складських робіт, а інколи - з неможливістю прийому вантажу поза запланованого часу. У зв'язку з цим чітка робота транспортного комплексу по заздалегідь розробленим графікам є основою раціональної взаємодії учасників транспортного процесу.

Для вирішення задачі узгодження роботи замовників транспортних послуг та перевізників пропонується розробка графіків спільної роботи.

В якості цільових функцій при рішенні задачі узгодження пропонується використовувати мінімізацію часових параметрів (10) (час простою вантажних автомобілів в очікуванні обслуговування, час очікування навантажувально-розвантажувальних пунктів прибуття автомобілів, сумарний час непродуктивних простоїв); кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів або постів навантаження-розвантаження та загальних витрат, пов'язаних з нераціональною організацією спільної роботи. Максимізацію рівня завантаження механізмів або постів навантаження-розвантаження, сумарного виконаного обсягу робіт (11).

$$f_4(x) = T_{\text{авт}}^{\text{пр}}, T_{\text{мех}}^{\text{пр}}, \Sigma T^{\text{пр}}, N_{\text{мех}}, \Sigma B = f_4(q_n, \rho, N_m, \dots, x_1 | q_n(x_1); x_2 | \rho(x_2); \dots x_n | N(x_n)) \rightarrow \min \quad (10)$$

$$f_4(x) = \rho = f_4(q_n, n_e, N_m, \dots, x_1 | q_n(x_1); x_2 | n_e(x_2); \dots x_n | N_m(x_n)) \rightarrow \max \quad (11)$$

де $T_{\text{авт}}^{\text{пр}}$ - час простою вантажних автомобілів в очікуванні обслуговування, год.;

$T_{\text{мех}}^{\text{пр}}$ - час очікування навантажувально-розвантажувальних пунктів прибуття автомобілів, год.;

$\Sigma T^{\text{пр}}$ - сумарний час непродуктивних простоїв, год.;

$N_{\text{мех}}$ - кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів, од.;

ρ - рівень завантаження навантажувально-розвантажувальних механізмів;

ΣB - загальні витрати пов'язані з нераціональною організацією спільної роботи, грн.

Результатом вирішення комплексу задач може виступати допустиме рішення, або рішення по критичним обмеженням. Доцільно використовувати для визначення раціонального рішення принципи Парето або справедливого компромісу.

Висновки

В результаті досліджень визначено недоліки існуючої системи оперативного планування на автотранспортних підприємствах. Ефективне вирішення завдань оперативного планування можливо за рахунок розробки та застосування системи підтримки

прийняття рішень з використанням комплексної економіко-математичної моделі оперативного планування.

Запропоновано підхід до вирішення таких завдань, який полягає в послідовно-паралельному вирішенні завдань «нижнього рівня» з урахуванням взаємовпливу результатів рішення задач. Визначено цільові функції і системи обмежень задач «нижнього рівня» які можливо використовувати для комплексного вирішення завдань оперативного планування. Визначено, що більшість завдань, що вирішуються на рівні оперативного планування є NP – важкими і не можуть бути вирішені при великих розмірностях за прийнятний час, тому слід використовувати наближені допустимі рішення, які можливо отримати, застосовуючи евристичні методи обмежуючи кількість варіантів перебору можливих рішень.

Література

1. Гречан, А. П. Інноваційна складова в забезпеченні конкурентних переваг транспортного підприємства [Текст] / Гречан А.П. // Конкурентоспроможність національної економіки: матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції, 5-6 жовтня 2017 р. – Київ, 2017. – с. 156-160.
2. Житков, В.А. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок [Текст] / В.А. Житков, К.В. Ким – М.: Транспорт, 1982. - 184с.
3. Эффективность логистического управления [Текст: учебник для вузов / под общ.ред. д.т.н., проф. Л. Б. Миротина. - М.: Издательство "Экзамен", 2004. - 448с.
4. Войтенков, С. С. Совершенствование оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправлениями в городах [Текст]: автореферат дис. кандидата технических наук : 05.22.10 / Сергей Сергеевич Войтенков - Иркутск, 2011. - 19 с.
5. Reis, V. (2018) A disaggregated freight transport market model based on agents and fuzzy logic. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 1-23.
6. Reis, V. (2014) Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation research part A: Policy and practice*. 61, 100-120.
7. Давідіч, Ю.О. Розробка графіка руху транспортних засобів при організації вантажних перевезень [Текст]: навч. посіб. / Ю. О. Давідіч; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 345 с.
8. McKinnon, A. (2018) Sustainable freight distribution. *Integrated Futures and Transport Choices: UK Transport Policy Beyond the 1998 White Paper and Transport Acts: UK Transport Policy Beyond the 1998 White Paper and Transport Acts*.
9. Bai, R. (2018) Optimisation of transportation service network using k-node large neighbourhood search. *Computers & Operations Research*, 89, 193-205.
10. Perboli, G. et al. (2018) Simulation–optimisation framework for City Logistics: an application on multimodal last-mile delivery. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(4), 262-269.
11. Speranza, M. G. (2018) Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, 264 (3), 830-836.
12. Kalinichenko, O.P. (2015) Solving operational problems Road planning: A manual. *Kharkiv: KhNADU Publishing House*, 143.

Reference

1. Grechan, A.P. (2017) Innovative component in providing con-competitive advantages of a transport enterprise. *The Competitiveness of the National Economy: Materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, October 5-6, 2017*, 156-160.
2. Zhitkov, V.A. & Kim, K.V. (1982) Methods of operational planning of freight road transport. *M. : Transport*, 184.
3. Myrotyna, L. B. (2004) Efficiency of logistics management: Textbook for high schools. *Moscow: Publishing house "Examination"*, 448.
4. Voytenkov, S. S. (2011) Improvement of operational planning of cargo transportation by truck mail in cities: *the dissertation diss. candidate of technical sciences: 05.22.10*, 19.
5. Reis, V. (2018) A disaggregated freight transport market model based on agents and fuzzy logic. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 1-23.
6. Reis, V. (2014) Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation research part A: Policy and practice*. 61, 100-120.
7. Davydych Yu.O. *Development of the schedule of vehicles for the organization of freight traffic: teaching. manual / Yu O. Davydych; Hark nats acad. city households-va. - Kh. : KhNAMG, 2010. - 345 p.*
8. McKinnon, A. (2018) Sustainable freight distribution. *Integrated Futures and Transport Choices: UK Transport Policy Beyond the 1998 White Paper and Transport Acts: UK Transport Policy Beyond the 1998 White Paper and Transport Acts*.
9. Bai, R. (2018) Optimisation of transportation service network using k-node large neighbourhood search. *Computers & Operations Research*, 89, 193-205.
10. Perboli, G. et al. (2018) Simulation–optimisation framework for City Logistics: an application on multimodal last-mile delivery. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(4), 262-269.
11. Speranza, M. G. (2018) Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, 264 (3), 830-836.
12. Kalinichenko, O.P. (2015) Solving operational problems Road planning: A manual. *Kharkiv: KhNADU Publishing House*, 143.

Рецензент: доктор технічних наук, професор Є. С. Альошинський, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

Автор: КАЛІНІЧЕНКО Олександр Петрович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
E-mail – kttkap@gmail.com

Автор: НЕФЬОДОВ Віктор Миколайович
кандидат технічних наук, доцент.
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
E-mail – nvicnic@gmail.com

Автор: ПАВЛЕНКО Олексій Вікторович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
E-mail – ttpov@ukr.net

OPTIMIZATION OF THE OPERATIVE PLANNING TASK FOR FREIGHT TRANSPORTATION ON MOTOR TRANSPORT

O. Kalinichenko, O. Pavlenko, V. Nefyodov

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

To solve the problems in the organization of operational planning of freight road transport with the purpose of choosing the optimal service strategy, an algorithm for developing a model for the operational planning of cargo transportation by a trucking enterprise has been compiled in the form of a structural and logical scheme for the parallel solution of operational planning tasks such as: initial data obtaining, rational vehicle selection, vehicle loading, route assignment, participants' activity coordination (vehicles' traffic schedule generation).

The parallel solution of operational planning issues allows taking into account the mutual influence of the results of solving all operational planning tasks, and to adopt a rational plan that will allow achieving the lowest costs when servicing the clients.

Increasing the efficiency of the transportation complex is possible due to the development and application of a decision support system using an integrated economic and mathematical model of operational planning. Most operational planning tasks are the NP-complete, but for no one of them has yet been able to find a polynomial decision algorithm. To solve the problems, it is suggested to use the approximate heuristic algorithms, which make it possible to obtain a rational solution within an acceptable time. To develop a decision support system, it is proposed to use a systematic approach to solving operational planning problems taking into account a set of criteria: target functions for solving problems along with the vehicle selection, vehicle loading, routing, and coordination of the transportation process participants' functioning.

The set of input data such as the nominal vehicle load capacity, volume of goods, cargo trip length, the costs associated with the idle time of the motor vehicle during the loading and unloading operations, the costs associated with the downtime of loading and unloading mechanisms in expectation of motor vehicles allow the creation of a large number of delivery schemes. To determine the rational delivery scheme, it is necessary to take into account the mutual influence of the results to solve the tasks of the operational planning for freight service by the motor transport enterprise on the use of the proposed technique for parallel solving the operational planning tasks.

Keywords: *planning, transportation, routing, motor vehicle, efficiency, coordination, cargo, transport, scheme, complex.*