Шарай С.М.

Національний транспортний університет

Рой М.П.

Національний транспортний університет

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ІЗ ЧАСОВИМИ ВІКНАМИ

У статті досліджується проблема підвищення ефективності організації вантажних автомобільних перевезень на засадах системного підходу. Розглядається потік замовлень, які потрібно виконати за критерієм максимального прибутку. Показано, що до складу витрат на виконання перевезень потрібно включити погодинні витрати, які пов'язані із часовими вікнами та вимушеними простоями автомобілів у нарядах. Запропоновано вираз для обчислення часового зв'язку послідовного виконання двох замовлень. Часовий зв'язок обчислено як тривалість виконання заданого замовлення з урахуванням попередньо виконаних завдань. Побудовано матрицю часових зв'язків для множини відомих замовлень на перевезення. Проаналізовано методіку розв'язування задачі оптимізації прибутку автомобільного перевізника. Враховано, що прибуток складається з надходжень від перевезення з відрахуванням погодинних витрат і витрат на пробіг. Показано, що відомі методи оптимізації пов'язані з нелінійним математичним програмуванням, точний гарантований розв'язок якого невідомий, а складність експоненційно зростає зі збільшенням обсягу масиву вхідних даних. У розв'язанні задачі пропонується використання системного підходу, засади якого полягають у прагненні з максимальною повнотою врахувати всі вхідні та вихідні характеристики об'єкта під час організації його дослідження. Водночас потоки замовлень пропонується розподілити за пріоритетом їх виконання. Показано, що найбільш доцільна класифікація замовлень може бути здійснена за показником сумісності їх виконання. Показник сумісності обчислюють на основі часових зв'язків між замовленнями. Як допоміжні показники пропонується ознака концентрації замовлень на транспортній мережі й рівень нерівномірності тривалості відповідних процесів. Розроблено відповідний алгоритм оптимізації плану виконання фіксованих замовлень. Наведено приклад побудови матриці коефіцієнтів сумісності. Отримано числове значення критерію – сумарного прибутку від перевезень, який вищий, ніж практично отримані результати, а також вищий, ніж результати математичного програмування нелінійної задачі.

Ключові слова: вантажні автомобільні перевезення, системний підхід, часові зв'язки, часові вікна, погодинні витрати, сумісність процесів, пріоритет замовлення.

Постановка проблеми. Під час обслуговування вхідного потоку замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні автомобільні транспортні підприємства (далі – АТП) керуються критерієм максимального прибутку. Для цього приймаються замовлення, насамперед від постійних клієнтів, а потім – випадкових. Пріоритет мають замовлення з максимальними грошовими надходженнями і ті, для виконання яких потрібно здійснити мінімальний незавантажений пробіг. Однак водночас не враховується, що потік замовлень є стохастичним, а самі вони мають випадкові взаємні часові зв'язки, характеризуються не тільки випадковою тривалістю їх виконання, але й часовими вікнами, які окреслені допустимим моментами початку і завершення. Також замов-

лення розташовані у просторі випадковим чином: місця завантаження і розвантаження нерівномірно розподілені на транспортній мережі. Отже, транспортна компанія є залежною від зовнішнього середовища, а дії її менеджерів не мають системного підходу. Якщо не враховувати характеристик постійних і випадкових замовлень, то у транспортному процесі виникають систематичні затримки, які призводять до додаткових витрат і штрафів. Через це фактичний прибуток отримується значно менший, ніж заплановано, а подекуди й межує зі збитками. Така виробнича проблема перевізників існує не тільки через неефективну організацію транспортного процесу, а й через відсутність системного методичного забезпечення для ухвалення обґрунтованих рішень. В умовах зростання обся-

гів даних і складності їх наборів, які використовуються для планування автомобільних перевезень, менеджери ретельно інтерпретують інформацію, що міститься в наявних базах. У такій реальності можливість виявлення прихованих залежностей певним автоматичним способом є фундаментальною. Відповідним завданням у дослідженні та розумінні великих наборів вхідних даних є виявлення прихованих взаємозв'язків між замовленнями і впорядкування процесу їх виконання, відповідно до визначених пріоритетів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж понад двох десятиріч науковці вирішують проблему виявлення залежностей порядку (далі – ЗП) від параметрів замовлень принципово, характеризують простір пошуку, розробляють та доводять правила вкорочення обсягів даних та довжини алгоритмів, представляють алгоритми, наприклад ORDER, який знаходить усі ЗП [1]. У всебічній оцінці алгоритм був ефективним навіть для дуже великих наборів даних. Однак ЗП є часто прихованими або такими, які важко аналізуються. Наприклад, у роботі [2] представлено новий метод виявлення залежностей між замовленнями. Дослідники використали підхід, який перевершує існуючі два найсучасніші алгоритми Лангера і Ноймана і Fastod-алгоритм. Автори довели, що коли між двома списками замовлень є залежність, то між ними існує й сумісність, тобто здатність проявляти найвищі параметри якості за заданої послідовності їх виконання. Однак розуміння сумісності стосується статичних списків замовлень у даному разі, у такому вигляді його не можна застосовувати для динамічного потоку інформації.

Процес транспортно-експедиційного обслуговування визнано складним щодо планування. Складність характеризується наявністю великої кількості альтернатив на різних стадіях ухвалення рішень [3]. Однак проблема ще більш ускладнюється тим, що громіздкі потоки вхідної інформації до АТП не відображають прихованих зв'язків між даними. Унаслідок цього оперативні завдання для парків автотранспортних засобів (далі – АТЗ) виявляються несистемними, слабо прорахованими, а окремі задачі організації набувають статусу таких, що не розв'язуються.

Відомі спроби вирішити дану проблему шляхом створення автоматизованої системи управління (далі – АСУ) транспортним процесом, наприклад, у роботі [4]. Нові якості сучасних АСУ полягають у тому, що виявлені й описані зв'язки й обмеження процесу виконання замовлень, засно-

ваного на обліку наявних матеріальних і трудових ресурсів АТП, а також застосовано методи динамічного налаштування ресурсів АТП. Проте більшість відомих АСУ, зокрема і згадана, не справляються із громіздким набором даних у потоках інформації, не обробляють їх історію.

Відомі спроби розв'язати складні нелінійні задачі організації перевезень шляхом їх декомпозиції. Зокрема, у роботі [5] представлений підхід до розв'язку багатоетапної транспортної задачі як один із напрямів цього рішення, але водночас не претендує на загальність і єдність. Як висновок, модель організації перевезень вантажу не є мережевою, має певні допущення, виходячи з обмеженості середовища його реалізації.

Задачі маршрутизації і складання розкладів АТЗ під час застосування часових допусків (часових вікон) визнані NP-складними в сильному змісті [6]. Це означає, що для успішного пошуку їх розв'язків застосовують евристичні або метаввристичні алгоритми, що не може забезпечувати гарантованого оптимуму. Складність алгоритмів зростає експоненційно зі збільшенням обсягу початкових даних. Тому одним із напрямів удосконалення розв'язування таких задач є класифікація потоку даних.

Більш прості задачі складання маршрутів і розкладів запропоновано в публікації [7]. Автори отримали гарантовані стійкі розв'язки. Однак кожна окремо розв'язана задача стосується експлуатації одного автомобіля на маршруті. Взаємодію парку АТЗ, яка є ключовою перевагою АТП, не враховано.

У складанні допустимих і оптимальних за швидкодією розкладів роботи АТЗ на маршрутах застосовано модифікований метод впорядкування змішаних графів [8]. Алгоритм є простим для застосування щодо аналогів. Однак він також базується на евристичних прийомах впорядкування.

У роботі [9] представлено методологію вдосконалення процесу складання розкладу та її впровадження в умовах вимог до їхньої якості, що зростають. Основними даними планування є набір прогнозованих замовлень. Це дало змогу авторам досягти мінімальних затримок доставки вантажів. Прогнозування дається із часовими вікнами, що є необхідним допуском через невизначеність. Однак багато зовнішніх чинників є випадковими, і вони можуть порушити ці допуски.

Аналіз усіх наведених публікацій доводить необхідність детального вивчення процесу ухвалення рішення про розподіл наявних ресурсів на транспортній мережі в умовах зростання потуж-

ності потоків замовлень, вимог до часового узгодження транспортних процесів.

Постановка завдання. Метою наукової статті є вдосконалення планування, вибору і розподілу виконання відомих замовлень на засадах системного підходу, отримання максимального прибутку. Водночас мають бути враховані витрати, пов'язані із часовими затримками процесу. Задача повинна мати розв'язок за великих обсягів вхідних даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. Замовлення на перевезення вантажів, які надходять до АТП від клієнтів та посередників, мають такі числові характеристики: t_i – середня прогнозована тривалість виконання без урахування впливу попередніх та підготовчих операцій; wb_i – найбільш ранній момент початку виконання i -го замовлення; we_i – найбільш пізній момент завершення i -го замовлення; l_i – відстань, на яку потрібно перевезти вантаж. Також перевізникові відома ціна виконання перевезень, яка є результатом зрівноваження попиту і пропозиції, тому АТП має на ціну незначний вплив. Переважно ціна на перевезення партії вантажів пропорційна відстані перевезення з урахуванням фактичної вантажопідйомності АТЗ [9]. У таблиці 1 показано фрагмент добового наряду на перевезення сипких вантажів у міжміському сполученні для парку автомобільного вантажного перевізника, який має виробничі бази, розташовані в містах Гайсин, Дніпро й Одеса.

Транспортна мережа, якою здійснюються перевезення, розташована в центральній, східній і

південній частинах України. Перевезення виконуються великовантажними автопоїздами у складі автомобіля-тягача і напівпричепа-самоскида. Як видно з таблиці, попит на перевезення перевищує пропозицію замовника, тому завдання оптимального розподілу рухомого складу є актуальною для АТП. Новий перелік замовлень для АТП формується переважно щодоби. Доба є також одиницею планування маршрутів. У зв'язку із цим зміни в потоці замовлень, які відбуваються після формування наряду, не враховуються, і це приносить чималі збитки перевізникові. Адже граничні терміни можуть спливати вже наступної доби, можуть бути недотримані, тому замовлення для підприємства буде втрачене. Натомість часові вікна дають змогу не тільки виконати вимоги замовника, але й забезпечити виконання перевезень мінімальною кількістю АТЗ. Для того, щоб використати потенціал часових вікон, а також виконати максимальну кількість випадкових замовлень, розглянемо часові зв'язки між двома їздками з вантажами i, j між пунктами b_i та e_i і b_j та e_j відповідно (рис. 1). Кожне із замовлень має часове вікно $wb_i - we_i$, яке обчислюють від моменту планування.

Якщо замовлення j виконується безпосередньо після i -го тим самим АТЗ, то з пункту e_i він повинен виконати їздку з порожнім пробігом до пункту b_j , звідки починається виконання замовлення j . Однак потрібно врахувати всі можливі співвідношення між часовими параметрами замовлень, які приводять до зміни a_{ij} – найменшої можливої три-

Таблиця 1

Фрагмент добового наряду для автомобілів-самоскидів АТП

№ замовлення	Доступна кількість АТЗ у парку рухомого складу АТП	Кількість АТЗ на завантаження, яку заявляє менеджер	Маршрут	Тривалість їздки з вантажем, хв	Вантаж	Часове вікно, год		Ціна однієї їздки, грн	Відстань, км
						від	до		
1	4	3	Нові Біляри – Миколаїв	80	Ячмінь	0	24	2 900	100
2		3	Харків – Слов'янськ	160	Комбікорм	0	48	5 100	175
3	12	1	Черкаси – Дніпро	380	Комбікорм	0	48	8 300	285
4		1	Павлоград – Миронівка	440	Соняшник	0	24	5 500	190
5		8	Черкаси – Вінниця	290	Комбікорм	0	96	9 900	342
6		5	Березанка – Одеса	80	Шрот	0	96	2 400	83
7	20	1	Дмитрівка – Южний	45	Пшениця	12	48	1 250	43
8		2	Хмельницький – Чорноморськ	430	Соняшник	12	48	16 600	571
9		5	Кропивницький – Чорноморськ	300	Соняшник	12	96	10 000	346
10		4	Гайсин – Чорноморськ	230	Соняшник	24	72	10 100	349
11		4	Вінниця – Чорноморськ	310	Соняшник	24	120	12 850	443
12		5	Голованівськ – Чорноморськ	180	Соняшник	48	96	7 630	263
–	36	42	–	–	–	–	–	–	–

Рис. 1. До розрахунку часового зв'язку a_{ij}

валості виконання j -го замовлення вслід за i -м із використанням того самого АТЗ. Для цього нами було проаналізовано всі можливі співвідношення величин wb_i , we_i , wb_j , we_j , складено узагальнений вираз для обчислення a_{ij} :

$$a_{ij} = \max((wb_i + t_i + t_{i,j}); wb_j) - (wb_i + t_i) + t_j. \quad (1)$$

Вираз (1) виконується за умови: $a_{ij} < we_j$. У протилежному випадку складається ситуація, яка означає, що $a_{ij} = +\infty$, тобто виконання j -го замовлення після i -го є неможливим. Згідно з (1), якщо $(wb_i + t_i + t_{i,j}) > wb_j$, тоді для визначення часового зв'язку a_{ij} потрібно перевірити умову:

$$(wb_i + t_i + t_{i,j}) \leq we_j, \quad (2)$$

тобто встановити, чи вкладається виконання замовлення в часовий допуск. Якщо умова (2) виконується, тоді часовий зв'язок a_{ij} обчислюється за виразом:

$$a_{ij} = t_j + t_{i,j}. \quad (3)$$

Якщо $(wb_i + t_i + t_{i,j}) < wb_j$, тоді часовий зв'язок a_{ij} обчислюємо за виразом:

$$(wb_j - wb_i) + (t_j - t_i). \quad (4)$$

Отже, часові зв'язки a_{ij} , a_{ji} можна побудувати для будь-якої пари i, j замовлень. Водночас утворюється матриця зв'язків (a_{ij}) , яку використовують для впорядкування процесу виконання множини замовлень. Зокрема, впорядкування можна провести за критерієм максимального прибутку від виконання заданої множини відомих замовлень:

$$\Pi = \sum_{i=1}^N P_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} x_{ij} C_i - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N l_{ij} x_{ij} C_i \rightarrow \max, \quad (5)$$

де $i, j = 1..N$ – номер замовлення; P_i – ціна за виконання i -го замовлення; $x_{ij} = \{0, 1\}$ – двійкова змінна, яка набуває значення 1, якщо j -е замовлення виконуватиметься одним АТЗ після i -го, і 0 – у протилежному випадку; C_i – постійні погодинні витрати, пов'язані із забезпеченням і виконанням АТП одного замовлення, які здійснюються незалежно від того, яка операція виконується в даний час (погодинна оплата праці

виконавців, орендна плата за основні засоби, оплата відряджень, штрафи, обов'язкові платежі тощо); l_{ij} – пробіг АТЗ на маршруті, пов'язаний із виконанням j -го замовлення (нульовий пробіг, їздка без вантажу, їздка з вантажем); C_i – змінні витрати, які пов'язані з рухом АТЗ на маршруті (витрати на паливо, мастильні матеріали, шини тощо). Другий член правої частини рівняння (5) назвемо часовими витратами, які в більшості відомих розподільчих задач не враховувались. Через простої АТЗ або невчасне виконання замовлення такі витрати можуть сягати понад 2/3 собівартості виконання замовлення. Тому для реалізації критерію (5) формулюють і розв'язують таку задачу. Задано множину замовлень $Z = \{z_0, z_{N+1}\}$, де замовлення z_0, z_{N+1} – фіктивні, використовуються для формалізації початку і завершення виконання добового наряду. Із множини Z потрібно вибрати підмножину $Z' \subseteq Z$, визначити елементи матриці (x_{ij}) , тобто активізувати такі зв'язки a_{ij} , щоб вираз (5) набував максимуму. Водночас мають дотримуватись умови:

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} \leq 1. \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} - \sum_{j=1}^N x_{ij} = 0. \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0,j} - \sum_{i=1}^N x_{i,0} \leq R. \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,N+1} - \sum_{j=1}^N x_{N+1,j} \geq -R, \quad (9)$$

де R – доступна кількість АТЗ у парку рухомого складу АТП.

Обмеження (6) означає, що кожне j -е замовлення може бути виконане не більше одного разу. Це також означає, що окремі замовлення, заради отримання максимального прибутку, можуть взагалі не прийматись. Обмеження (7) означає, що для виконання замовлень АТЗ проїжджають кожен запланований маршрут лише один раз (зв'язок a_{ij} лише один раз реалізовується у транспортному процесі). Обмеження (8) і (9) означають, що для виконання всього плану замовлень може бути використано не більше, ніж доступна кількість АТЗ. Задача в такому формулюванні є відомою, розв'язувалась раніше, за винятком нового сформульованого критерію. У математичному формулюванні це – задача цілочислового програмування. У зв'язку з тим, що в обмеженнях (6), (8), (9) є знаки нерівності, задача належить до нелінійних. Тому гарантовані точні розв'язки під час її вирішення не отримуються [8].

На практиці задовільними вважаються при-
близні розв'язки з оцінкою відхилень. Однак у
разі зростання кількості змінних розв'язок задачі
є неможливим. Наприклад, у разі застосування
матриці змінних x_{ij} більшим розміром, ніж 12×12 ,
і застосуванні методу градієнтного спуску розв'я-
зок задачі за допустимий час – відсутній. У зв'язку
із цим нами було застосовано ознаки, за якими
замовлення можна згрупувати в такі множини,
пошук послідовності виконання яких є тривіаль-
ним, або таким, що зводиться до лінійної задачі
математичного програмування. Зважаючи на тео-
рему, сформульовану в роботі [2], досить викорис-
тати лише одну ознаку сумісності завдань, щоб
встановити бажану послідовність їх виконання.
Такою ознакою може послуговувати коефіцієнт
сумісності, який обчислюється за виразом:

$$K_{c,ij} = \frac{a_{0,j}}{a_{ij}}, \quad (10)$$

де $a_{0,j}$ – тривалість виконання j -го замовлення
у припущенні, що підготовчі операції, очіку-
вання і простої АТЗ відсутні (чиста тривалість
виконання).

Згідно з виразом (10) замовлення вважатимемо
абсолютно сумісними, якщо $K_{c,ij} = 1$. У такому
разі виконання j -го замовлення варто призначати
в одному маршруті одному АТЗ безпосередньо
після виконання i -го замовлення. У цьому разі
витрати часу на порожній пробіг, на простої,
очікування і затримки доставки вантажу будуть
близькі до нуля. Отже, встановлюються пріори-
тети виконання замовлень. Якщо $K_{c,ij} \rightarrow 0$, то послі-
довність замовлень $i - j$ застосовувати не варто.
Розглянемо часовий зв'язок j -го замовлення з
формальним початком процесу, тобто $a_{0,j}$. Цей
зв'язок фактично означає необхідність додатко-
вого виконання нульового пробігу від бази АТП
до місця першого завантаження, завантаження і
їздки з вантажем. Простої АТЗ, пов'язані із часо-
вими рамками замовлення і нескоординованістю
рухомого складу, відсутні. Якщо $K_{c,0j} \approx 1$, то від-
повідне j -е замовлення доцільно виконати на
початку добового наряду. Водночас подачу АТЗ
організують від найближчої виробничої бази
АТП. Отже, ті замовлення, для яких:

$$K_{c,0j} = \max_{0 < i \leq N} \{K_{c,ij}\}, \quad (11)$$

віднесемо до множини замовлень першого
пріоритету, тобто таких, які треба виконати пер-
шочергово, подавши під завантаження АТЗ із
найближчої виробничої бази АТП. Якщо для
будь-якого j серед множини $K_{c,ij}$ знайдеться такий
коефіцієнт, що $K_{c,ij} = K_{c,0j}$ і водночас дотримується

умова (11), тоді j -е замовлення не має абсолютного
першого пріоритету, а тому, згідно із [2], потрібно
вибрати додаткову ознаку сумісності. Такою озна-
кою може бути запропонований нами коефіцієнт
концентрації замовлень та його видозміни, які вка-
зують на вид маршруту (маятниковий, кільцевий,
розвізний, збірний тощо), який найбільш доцільно
застосувати для заданого списку замовлень:

$$K_k = \frac{N_z}{Q_g}, \quad (12)$$

де N_z – кількість замовлень, готових до вико-
нання впродовж заданого періоду T ; Q_g – кількість
пунктів відвантаження і приймання вантажів, які
стосуються множини замовлень, яка запланована
на період T .

Якщо коефіцієнт концентрації для множини
невпорядкованих замовлень набуває мінімаль-
ного значення, то перевага віддається маятнико-
вим маршрутам і замовленню, для якого $K_{c,ij} = K_{c,0j}$,
і виконується (11) та планується першочергово.
І навпаки, якщо $K_k \rightarrow 2N_z$, то варто планувати кіль-
цеві маршрути і пріоритет j -го замовлення визна-
чається таким показником сумісності – коефіцієн-
том нерівномірності [10]:

$$\eta_i = \frac{a_{0,j,\max}^s}{a_{0,j}^s}, \quad (13)$$

де $a_{0,j,\max}^s$ – максимальні витрати часу, пов'язані
з рухом АТЗ, на виконання i -го замовлення без
урахування будь-яких попередньо виконаних
замовлень; $a_{0,j}^s$ – середні витрати часу, пов'язані з
рухом АТЗ, на виконання j -го замовлення. На від-
міну від попередніх коефіцієнтів, η_i стосується
лише «чистої» тривалості виконання замовлення,
тобто без урахування перехідних та підготовчих
операцій. Мінімальне значення коефіцієнта нерів-
номірності – $\eta_i = 1$. Чим більшою є нерівномір-
ність виконання замовлень, тим складнішою буде
задача побудови ефективного транспортного про-
цесу для однотипних АТЗ того самого АТП. Отже,
менше значення η_i означає, що на порядок вико-
нання замовлень накладаються менш суворі обме-
ження. Тому їхня послідовність не впливатиме на
витрати у транспортному процесі. Більші числові
значення нерівномірності, згідно з евристичними
принципами впорядкування [10], віддають прі-
оритет замовленням у порядку зростання їхньої
абсолютної тривалості.

Отже, упорядкування виконання замовлень
здійснюється за пріоритетами, що визначаються
почергово такими кроками:

1) найвищий пріоритет визначається за кое-
фіцієнтом сумісності; якщо в нульовому рядку

матриці $(a_{ij}) \in K_{c,0j}$ з максимальним значенням у своєму стовпці, існують такі замовлення, для яких $K_{c,ij} = K_{c,0j}$, тоді необхідно перейти до кроку 2;

2) встановити пріоритет виконання j -го замовлення за коефіцієнтом концентрації K_k ; якщо коефіцієнт концентрації наближається до свого максимуму, тоді необхідно перейти до кроку 3;

3) визначити коефіцієнт нерівномірності множини відомих замовлень і вибрати черговість виконання замовлення j ; якщо коефіцієнт нерівномірності є близьким до 1, тоді необхідно пріоритет встановити одним з евристичних принципів [9; 10].

Такий алгоритм було застосовано до потоку вхідних замовлень на перевезення вантажів, фрагмент якого подано в табл. 1. За формулою (1) було визначено часові зв'язки замовлень. Матриця часових зв'язків послужила для визначення коефіцієнтів сумісності (таблиця 2). Діагональ матриці – нулі.

Як видно з табл. 2, перший пріоритет мають замовлення 4, 5, 8, 9, 10, 12, оскільки значення $K_{c,0j}$ нульового рядка є для них максимальним. Ці замовлення мають виконуватись спочатку. Оскільки для замовлення 9 $K_{c,0,9} = K_{c,1,9}$, то за алгоритмом перевіряємо пріоритет цього замовлення. Оскільки коефіцієнт концентрації $K_k = 0,83$, то перевага віддається маятниковому маршруту, отже, першому пріоритетові замовлення 9. Після складання множини замовлень першого пріоритету складаємо другий пріоритет. Для цього в рядку j матриці $(K_{c,ij})$, який відповідає замовленню першого пріоритету, відшукуємо максимальне значення $K_{c,ij}$ і помічаємо номер відповідного стовпця. Якщо у стовпці більше немає помічених значень коефіцієнта сумісності і знайдене значення відмінне від нуля, то цей номер відповідатиме замовленню, яке матиме другий пріоритет і має виконуватись

у спільному потоці із замовленням j . Так ведеться пошук, поки не будуть проглянуті всі стовпці першого пріоритету. У результаті складаємо множину замовлень другого пріоритету. Якщо після цього якимось із замовлень першого пріоритету не має вибраного часового зв'язку з наступним, то вважається, що це замовлення виконуватиметься на маятниковому маршруті. Пошук триває доти, поки всі замовлення не отримають пріоритету виконання. Згідно з таблицею 2, замовлення виконуватимуться шістьма АТЗ на таких маршрутах: 0–4–2, 0–5–11, 0–8, 0–9, 0–10–3, 0–12. Застосувавши дані про надходження і витрати для перевезень, за формулою (5) знаходимо запланований прибуток – 54 324 грн. Практичне вирішення, яке неодноразово застосовувалось менеджерами АТП, стосовно якого наведено приклад, складається з таких маршрутів:

0–1–9–13, 0–2–6–13, 0–8–13, 0–11–4–13,
0–10–13, 0–12–7–13.

Фактично АТП отримало за таким рішенням прибуток у розмірі 43 тис. грн, що значно менше оптимального. Якщо застосувати до тих самих початкових даних методику цілочислового програмування (5) – (9), то отримаємо розв'язок у вигляді близького до оптимального переліку маршрутів: 0–1–2, 0–4, 0–6, 0–11, 0–8, 0–9, 0–10–3, 0–12. Прибуток становитиме 49 611 грн.

Висновки. Точніший розрахунок критерію планування вантажних автомобільних перевезень можна отримати, якщо взяти до уваги часові зв'язки між виконанням замовлень, які базуються на часових вікнах.

Для визначення пріоритету виконання замовлень доцільно використовувати показник сумісності замовлень в єдиному потоці їх виконання.

Таблиця 2

Коефіцієнти сумісності замовлень

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,67	0,50	0,44	0,86	0,81	0,50	0,36	0,70	0,63	1,00	0,81	0,69
1	0,00	0,25	0,58	0,65	0,52	0,62	0,31	0,48	0,63	0,46	0,47	0,50
2	0,11	0,00	0,44	0,70	0,38	0,11	0,06	0,35	0,37	0,24	0,30	0,20
3	0,17	0,50	0,00	0,70	0,51	0,19	0,10	0,40	0,55	0,34	0,37	0,30
4	0,12	0,57	0,61	0,00	0,55	0,14	0,16	0,43	0,53	0,33	0,38	0,51
5	0,20	0,21	0,57	0,42	0,00	0,14	0,12	0,68	0,53	0,74	1,00	0,53
6	0,67	0,21	0,54	0,47	0,47	0,00	0,43	0,57	0,51	0,52	0,51	0,55
7	0,80	0,22	0,51	0,49	0,44	0,67	0,00	0,48	0,55	0,46	0,50	0,46
8	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,00	0,45	0,39	0,62	0,49
9	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,00	0,39	0,62	0,49
10	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,45	0,00	0,56	0,42
11	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,45	0,39	0,00	0,49
12	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,45	0,39	0,62	0,00

Запропонована методика й алгоритм розподілу виконання замовлень дають змогу не тільки розв'язувати задачі планування перевезень із великим обсягом вхідних масивів даних, але й отримувати вищі числові значення критеріїв оптимізації.

Список літератури:

1. Langer Ph., Naumann F. Efficient order dependency detection. *The VLDB Journal*. 2016. № 25 (2). P. 223–241. DOI: 10.1007/s00778-015-0412-3.
2. Discovering order dependencies through order compatibility / C. Consonni et al. *Advances in Database Technology-EDBT. OpenProceedings. org*, 2019. Vol. 2019. P. 409–420. URL: https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/384380/EDBT19_paper_93.pdf.
3. Павленко О.В., Великодний Д.О. Формування раціональної схеми обслуговування замовлень на доставку вантажів транспортно-експедиторським підприємством. *Комунальне господарство міст*. 2020. № 154. С. 223–230. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-223-230.
4. Єфремов М.Ф., Єфремов Ю.М., Єфремов В.М. Проблеми і вимоги до АСУ автотранспортного підприємства. *Вісник Житомирського державного технічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2017. № 1 (2 (80)). С. 135–138. DOI: 10.26642/tn-2017-2(80)-135-138.
5. Застосування сучасних інформаційних технологій при розв'язуванні багатетапних транспортних задач / Г.С. Прокудін та ін. *Вісник Національного транспортного університету*. 2015. № 31. С. 450–462.
6. El-Sherbeny N. A. Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University-Science*. 2010. № 22 (3). P. 123–131. DOI: 10.1016/j.jksus.2010.03.002.
7. Mäcker A., Meyer auf der Heide F., Pukrop S. Approximating Weighted Completion Time for Order Scheduling with Setup Times. In: *SOFSEM 2020: Theory and Practice of Computer Science. SOFSEM, 2020. Lecture Notes in Computer Science / A. Chatzigeorgiou et al. (eds)*. Vol. 12011. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-38919-2_8.
8. Прокудін Г.С., Олісевич М.С. Методика оптимізації спільного розкладу парку магістральних автомобілів при наявності часових обмежень. *Технічна інженерія*. 2018. № 2 (82). С. 118–126. DOI: 10.26642/tn-2018-2(82).
9. Olskevych M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation ICCPT 2019. *Proceedings of 1st Internat. Scientific Conference "Current Problems of Transport 2019"*, Ternopil. May, 2019. Ternopil, Ukraine, 2019. P. 141–151. DOI: 10.1007/s10489-006-0033-z.
10. Рой М.П. Метод оптимізації інтегрованого транспортного процесу вантажних автомобільних перевезень. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2020. Т. 31 (70). № 5. С. 220–227. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/36>.

Sharai S.M., Roi M.P. APPLICATION OF SYSTEM APPROACH TO THE ORGANIZATION OF FREIGHT CARRIAGE WITH TIME WINDOWS

The article investigates the problem of increasing of efficiency of the organization of freight road transportations on the basis of a systematic approach. The flow of orders to be fulfilled according to the criterion of maximum profit is considered. It is shown that the cost of transportation should include hourly costs associated with time windows and forced downtime of cars in outfits. An expression is proposed for calculating the time relationship of two orders in a row. The time relationship is calculated as the duration of a given order, taking into account previously completed tasks. A time matrix has been built for many known transportation orders. The method of solving the problem of profit optimization of a road carrier is analyzed. It is taken into account that the profit consists of revenues from transportation minus hourly costs and mileage costs. It is shown that the known optimization methods are associated with nonlinear mathematical programming, the exact guaranteed solution of which is unknown, and the complexity increases exponentially with increasing volume of input data. In solving the problem, it is proposed to use a systems approach, the initial principles of which are to strive to take into account as fully as possible all the input and output characteristics of the object in the organization of its study. At the same time, it is proposed to distribute order flows according to the priority of their execution. It is shown that the most expedient classification of orders can be carried out on the basis of compatibility of their execution. The compatibility ratio is calculated based on the time relationships between orders. As auxiliary indicators the sign of concentration of orders on a transport network and a level of unevenness of duration of the corresponding processes is offered. An appropriate algorithm for optimizing the plan for the execution of fixed orders has been developed. An example of constructing a matrix of compatibility coefficients is given. The numerical value of the criterion is obtained, the total profit from transportation, which is higher than the practically obtained results, as well as higher than the results of mathematical programming of the nonlinear problem.

Key words: trucking, system approach, time connections, time windows, hourly costs, process compatibility, order priority.