

**М.С.Олісевич**

**Національний університет "Львівська політехніка"**

**ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ АВТОМОБІЛЕПОТОКІВ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ  
ЗАДАНОГО ПУНКТУ ВІДПРАВЛЕННЯ ВАНТАЖІВ**

*Розроблено детерміновану модель транспортно-технологічної схеми доставки вантажів як послідовність логістичних операцій розподілу і сполучення матеріальних потоків. Виконано оптимізацію параметрів схеми за критерієм мінімальних сумарних затримок процесу. Знайдено параметричний ряд оптимальних транспортно-технологічних схем.*

**Ключові слова:** автомобілепотоки, вантажопотоки, вантажність, затримка доставки.

**Форм. 12. Рис. 6. Літ. 15.**

**М.С.Олісевич**

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ АВТОМОБИЛЕПОТОКОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ЗАДАННОГО ПУНКТА ОТПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВ**

*Разработана детерминированная модель транспортно-технологической схемы доставки грузов как последовательность элементарных логистических операций распределения и соединения материальных потоков. Выполнена оптимизация параметров схем за критерием минимальных суммарных задержек процесса. Найден параметрический ряд оптимальных транспортно-технологических схем.*

**Ключевые слова:** автомобилепотоки, грузопотоки, грузоподъемность, задержка доставки.

**Форм. 12. Рис. 6. Лит. 15.**

**M.Oliskevych**

**OPTIMIZATION OF STRUCTURE OF TRAFFIC OF TRUCKS TO SERVE THE SET POINT  
OF DEPARTURE OF LOADS**

*The determined model of source of traffics of goods is developed in the paper. The transport-technological scheme of it's functioning is given as sequence of elementary logistic operations of separation and connection of material streams. It was grounded the necessity of using a few parallel loading posts. It makes a consumer goods demand satisfied and on another side it eliminates a total delays of luggage delivery process. There was found that the increasing of intensity of trucks using of on the delivery routes causes the increasing of stoppages of them under loading. Therefore the task of construction of scheduling of truck traffic had obtained an optimization character and nonlinear type there. Optimization of parameters of scheme was executed after the criterion of minimum of total delays of process. Variables of that problem are carrying capacity of trucks, amount of their on each route, average intensity of goods consumption and the time check of loading of luggage package unit. The restrictions were the maximum and minimum of carrying capacity of trucks, the maximum of each routes time. Parameters dependence were made on the basis of principle of flows unbreakable. This means that the average intensity of traffics of goods and trucks at neighboring logistic operation must be the same. To solve this task the non-linear programming methods of gradients has been used. The line of optimum transport-technological schemes which differ with a power of total traffic of goods, structure of depot of trucks is found. To determine the factor of proper transport scheme designing there were investigated dependences of total amount and carrying capacity of trucks from unevenness of served routes properties. There were constructed the principles of routes uniting. It was proved that the quantity of total luggage traffic is not sufficient feature to identify transport scheme as medium and to imply the proper methods to optimize it.*

**Keywords:** traffics of trucks, traffics of goods, carrying capacity, delay of delivery.

**Постановка проблеми.** Структура витрат часу на постачання товарів споживачам в сучасних економічних умовах є, приблизно, такими: до 2% – для виробництва, 50% – транспортування, решта – унерухомих товарів на складах, у чергах, сортувальних пунктах та у вигляді інших запасів [1]. Це негативно впливає на собівартість продукції. Серед вагомих причин цього: недостатність інформації, отже випадковий характер процесів виникнення і обслуговування вантажопотоків; часова і просторова непогодженість виконання транспортних операцій, що призводить до непродуктивних простоїв рухомого складу в очікуванні вантажних робіт, або вантажно-розвантажувальних засобів в очікуванні автомобілів, до несвоєчасної доставки товарів одержувачам і, як наслідок, – зниженню ефективності всього транспортного комплексу в цілому [8]. До цього часу вважається, що вантажопотоки, і автомобілепотоки, змінюючись якісно і кількісно, залишаються випадковим чинником, що вносить ще більшу незлагодженість транспортно-технологічних схем (ТТС) [10]. Невизначеність зумовлює необхідність створювати значні резерви провізних спроможностей парків автотранспортних засобів (АТЗ), які значно перевищують реальні обсяги перевезень.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

В теорії і практиці було немало спроб зменшити резервування провізних спроможностей парків АТЗ через обґрунтування їх структури. Зокрема, в роботах А. І. Воркута вказувалось, що структура парку вантажних автомобілів за вантажністю повинна бути максимально погодженою з розподілом замовлень за розміром гурту вантажів [3]. При цьому вантажопотоки вважалися заданими та некерованими: розмір кожного гурту відправлення – незмінний, продиктований замовником. Його можна було розділити на дрібніші лише тоді, коли він перевищував найбільшу вантажність автомобілів парку. Сталими розглядалися також тривалості навантажувальних операцій, параметри маршрутів, по яких виконується постачання товарів. Вагомим недоліком такого розгляду є й те, що потоки вимог на перевезення (гуртів вантажів) називають незалежними в часі й у просторі. Це привело до хибного висновку, що керувати взаємодією вантажо- і автомобілепотоків – неможливо, а їх злагодженість можна прогнозувати лише з певною ймовірністю. Крім того, не бралось до уваги, що така взаємодія відбувається у фіксовані моменти часу, тому ТТС доставки вантажів потрібно розглядати як дискретну, динамічну систему.

В працях Долі В. К., Куниці А. В., Ніколіна В. І., та інших вчених було показано, що транспортний процес має дискретний характер, тобто його основні параметри, у тому числі – тривалість перевезення вантажів, – не мають неперервної залежності від інтенсивності вантажопотоків на усьому проміжку її можливої зміни [5, 9, 12]. В роботах Калініченка О. П. удосконалення автотранспортного процесу, на етапі оперативного планування вважається можливим через зниження непродуктивних простоїв елементів ТТС (автомобілів, навантажувачів), а також через розроблення і впровадження раціональних графіків спільної роботи навантажувально-розвантажувальних пунктів і АТЗ, з використанням заздалегідь запланованого простою навантажувально-розвантажувальних механізмів (НРМ). Заплановане простоювання, як вважає дослідник, можна планувати двома способами: на кожну поїздку, і на такт – період часу за який відбувається циклічна операція навантаження АТЗ [8]. Повністю його позбутися, як вважає автор – неможливо і нецільно. Адже при цьому ТТС стає занадто „жорсткою” щодо ймовірності її змін. З іншого боку, уявити таку ТТС, де відсутні непродуктивні простоювання усіх задіяних у ній ресурсів (затримки процесу) означає створити ідеал транспортного процесу і окреслити шляхи наближення до нього.

Детальний розгляд затримок автомобілів та вантажів в пунктах навантаження, розвантаження й на маршрутах приводить до підвищення рівня раціональної організації перевізного процесу й скорочення тривалості постачання товарів [6, 7]. За оцінками декого з дослідників затримки при виконанні цих операцій становлять, приблизно, 30-35% від загального часу транспортного циклу [11]. Однак на практиці, при організації й плануванні перевезень у розрахунках приймається нормований час простою під навантаженням і розвантаженням, що залежить від способу виконання робіт, вантажності транспортних засобів, властивостей вантажу й пакування [8, 11]. З достатньою точністю можна прийняти, що тривалість навантаження АТЗ тарно-поштучними вантажами є прямо-пропорційною кількості вантажних місць – транспортних пакетів [15].

Переважає більшість авторів схильється до думки, що умовою безперебійної та синхронної роботи НРМ й автомобілів, є рівність ритму їх роботи. Тому для упорядкування ТТС потрібно скласти раціональний розклад руху, для чого необхідно скоригувати тривалість рейсу на кожному маршруті, щоб він був кратним тривалості навантаження [5, 7, 9, 10]. Вважають, що це можна зробити зміною технічної швидкості та переглядом конфігурації маршрутів [11, 13]. Але при цьому не враховується, що сучасні ТТС є такими, у яких різні логістичні ланцюги, відповідно АТЗ, які працюють на різних маршрутах, вантажі, що доставляються різним споживачам є взаємопов'язаними. За класифікацією професора Ніколіна В. І. ці ТТС відносяться до середніх [12]. Це означає, що у злагодженому транспортно-технологічному процесі такти двох суміжних логістичних операцій є об'єктивно пов'язаними детермінованими залежностями. Якщо автомобілепотоки, або вантажопотоки на якійсь стадії процесу розділяються, або об'єднуються, то рівність тактів таких двох сусідніх операцій уже не матиме впливу на злагодженість. Потрібно розглядати складніші залежності організаційних параметрів.

ТТС, у якій є декілька постів навантаження, складні вантажопотоки, автомобілепотоки, що перетинаються, а також ланцюг логістичних операцій, різних за тривалістю, можна віднести до багатостадійних детермінованих обслуговуваних систем [14]. Їх називають такими, що побудова оптимальних розкладів операцій для них за критерієм максимальної швидкодії є NP-складною задачею в сильному змісті [2]. З одного боку, немає ніяких гарантій, що оптимальний розклад у таких системах існує для будь-якої сукупності транспортних циклів, а з іншого – виникають ситуації, коли його можна побудувати з різною кількістю автомобілів. Таким чином, поняття оптимального

розкладу не завжди відповідає використанню мінімальної кількості автомобілів [2, 13]. Тому доцільно будувати неперервний, найщільніший розклад. Їх називають розкладами без затримок. Проте, їх пошук вимагає перебору дуже великої кількості варіантів, тому використовують наближені евристичні методи [14]. На практиці, складання розкладу в роботі пропонують вирішувати в укрупненому масштабі [7]. Тривалість одного такту обирають не на основі технічних характеристик навантажувальних механізмів, а виходячи з розумних меж „жорсткості” планування. Якщо абсолютне виключення простоїв АТЗ чи НРМ видається неможливим, то за один такт приймають такий інтервал часу, в межах якого простої вважаються несуттєвими. Далі визначають інші параметри: число тактів неперервної роботи, середню інтенсивність навантаження за один такт, середню тривалість одного рейсу [6]. Такий підхід не дає гарантованого оптимуму, а також не може бути застосованим для складних ТТС.

#### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.**

Розвиток ТТС – це їх пристосування до умов матеріального виробництва і споживання, які утворюють дискретні матеріальні потоки. Зі збільшенням їх інтенсивності їх структура стає складнішою. Логістичні ланцюги таких операцій є, тепер переважно, взаємопов’язаними. Різна за величиною тривалість операцій та їх випадковий характер зумовлюють наявність непродуктивних станів елементів ТТС – затримок. Отже, існують такі послідовності операцій, при яких сумарна кількість таких небажаних станів буде мінімальною. У цьому випадку мова йде про певну впорядкованість ТТС. До цього часу проводились удосконалення логістичних ланцюгів, які не перетинались. Відомі методи впорядкування базувались на основі комбінаторного цілеспрямованого перебору елементів матеріальних потоків. При цьому оптимальний розв’язок проблеми не гарантувався. Іноді, через значну складність алгоритмів дослідники відмовлялись від пошуку точного гарантованого розв’язку. Якщо ж змоделювати матеріальні потоки з допомогою детермінованих залежностей організаційних параметрів (такту, фронту, розміру гурту), які встановлюють зв’язок між першою і останньою ланкою ланцюга операцій, то від структурної оптимізації можна перейти до параметричної. У цьому випадку оптимізацію потоків можна провести успішно. У попередніх роботах нами було розроблено таку методику [4]. Її застосовано для процесів доставки вантажів, які швидко псуються. Тому було використано критерій мінімальної тривалості. Нове застосування вимагає знайти граничні стани ТТС, при яких задіяні в ній транспортні засоби використовуються максимально ефективно. При цьому більшість операцій граничного стану виконуються „саме вчасно” – без затримок. Час завершення будь-якої операції системи диктує інша, яка з нею пов’язана. Тому їх узгодження (впорядкування) – це компроміс, який передбачає виконання операцій у заздалегідь неоптимальному режимі. При застосуванні критерію „саме вчасно” досягається мінімум необхідного резерву: 1) енергетичних ресурсів; 2) об’єктів перевезення (вантажів, транспортних пакетів, контейнерів); 3) провізних спроможностей парків АТЗ; 4) часу для виконання доставки виробів та сировини. Таким чином, критерій впорядкування ТТС за критерієм „саме вчасно” дає змогу отримати заощадження енергетичних ресурсів, підвищення продуктивності АТЗ, та зниження затримок доставки поштучних пакетних відправок.

**Мета дослідження.** Виявити такі параметри ТТС, яка складається з пункту навантаження поштучних вантажів з паралельними постами відправлення АТЗ і декількох маршрутів доставки, за яких сумарні затримки вантажопотоків, автомобілепотоків і простоювання НРМ є мінімальними і прямують до нуля.

**Основні результати дослідження.** Впорядкування та оптимізація взаємодії автомобілепотоків та вантажопотоків у пункті навантаження і на заданих маршрутах для середньої ТТС розглядалось на прикладі такої задачі. Нехай транспортний пункт виконує завантаження автомобілів, які працюють на обслуговуванні  $j$  постійних замовників з доставкою поштучних вантажів по незалежних один від одного маршрутах, мінімальна гарантована тривалість руху по яких – відома –  $t_{mj}$ . Оскільки час руху на кожному маршруті є відносно нетривалм (меншим, ніж період надходження і виконання замовлень), то можна вважати, що процеси споживання вантажів – стаціонарні. Процес доставки вантажів – дискретний. Однак попит кожного споживача можна оцінити середньою інтенсивністю  $\mu_j$ , яка є змінною величиною. Оскільки вантажі – поштучні, доставляються гуртами у транспортних пакетах, то кожну з цих величин запишемо, як:

$$\mu_j = \frac{k_j}{\tau_j}, \text{ пакетів/год.}, \quad (1)$$

де  $k_j$  – розмір гурту (кількість транспортних пакетів на АТЗ), які доставляються  $j$ -му споживачеві;  
 $\tau_j$  – такт доставки вантажів, год.

Для досягнення сформульованої мети не ставилось завдання, щоб параметр  $k_j$  наближався до значення номінальної вантажності АТЗ, що задіяні у ТТС, навіть якщо це негативно впливає на вартість доставки одиниці товару. Однак, він має свої допустимі межі:  $k_{\min} \leq k_j \leq k_{\max}$ . Мінімальне значення завантаженості АТЗ приймалося  $k_{\min} = 1$ , максимальне –  $k_{\max} = 34$ , що відповідає максимальній кількості транспортних пакетів на стандартних піддонах в напівпричепі-фургоні. Номінальна вантажомісткість автотransпортних засобів – ціле число, що відповідає максимальній кількості стандартних пакетів, які можна в нього завантажити. Її вибрано з ряду  $k_{\min}^n \dots k_{\max}^n$ , де  $k_{\min}^n = 1$ . При цьому фактична вантажомісткість автомобіля  $k_j$  може бути меншою, ніж номінальна. Це дає змогу довести тривалість окремих логістичних операцій до кратної такту тривалості. Тривалість навантаження АТЗ – нормоване значення, що залежить від кількості навантажених пакетів, тобто:

$$t_n = z \cdot k, \quad (2)$$

де  $z$  – норма часу для завантаження одного пакета, год.

Приймалося, що такт доставки  $\tau_j$  також не обмежений вимогами споживачів. Головна умова ТТС – щоб середня інтенсивність постачання вантажів за деякий період не перевищувала інтенсивності їх споживання. А, оскільки такт доставки є значно меншим, ніж тривалість зміни, то його числове значення не впливає на якість обслуговування споживачів. З іншого боку, такт відправлення транспортних пакетів  $\tau_i$  повинен бути кратним такту попередньої логістичної операції – навантаження і наступної – розвантаження, для того, щоб були відсутніми затримки процесу. В окремих випадках може бути вирішено, що коли деякому  $g$ -му споживачеві, вантаж не постачається, то  $\tau_g = nu$ , де  $nu$  – достатньо велике число, таке, що, згідно з (1)  $\mu_g \rightarrow 0$ . Таким чином у цій задачі приймалося, що інтенсивність кожного вантажопотоку обмежена максимальним значенням інтенсивності його споживання, пропускну здатністю поста навантаження, через який він проходить, та потужністю автомобілепотоку, який його обслуговує.

У транспортному пункті може бути  $i = 1 \dots p$  постів, кожен з яких характеризується різним значенням обсягу фактичного навантаження  $k_i$ , яке вибирається, виходячи з раціональної вантажності АТЗ, які заїжджають саме на цей пост – з одного боку, та тривалості навантаження  $t_n$ , яка повинна бути кратною такту  $\tau_i$  – з іншого. Найкраще використання автомобілів за вантажністю і за часом є тоді, коли кількість постів  $i$  відповідає ряду номінальних вантажомісткостей парку АТЗ, що обслуговує транспортний пункт. Якщо АТЗ випускають на маршрут з тактом  $\tau_i$ , то, очевидно, що без затримок такий випуск здійснюватиметься, коли

$$\tau_i = t_{n,i} = z \cdot k_i, \quad (3)$$

де  $k_i \approx k_i^n$  – вантажомісткість  $i$ -го АТЗ, яка наближується до свого номінального значення.

З іншого боку,  $\tau_{n,i} = \tau_{m,i} = \tau_j$ , або, враховуючи вирази (1) і (2):  $\tau_{n,i} = k_i \cdot z = \tau_j$ . Після перетворень отримаємо:

$$\mu_j = \frac{1}{z}. \quad (4)$$

Вираз (4) означає, що при сталій технології вантажних робіт інтенсивність вантажопотоків, які проходять через кожен незалежний пост повинна бути величиною сталою. Якщо ж деякі параметри ТТС відрізнятимуться від тих, що відповідають виразу (4) то виникатимуть затримки процесу доставки (рис.1).

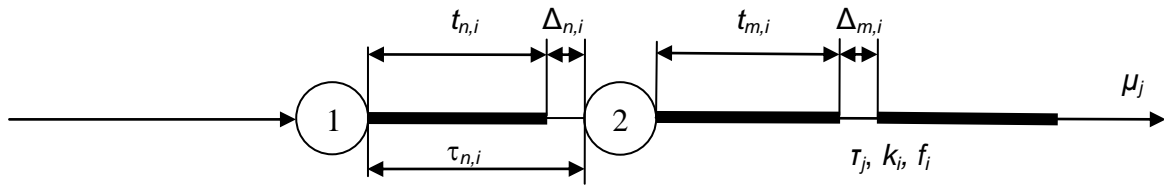


Рис. 1. Модель найпростішої малої ТТС з одним постом і одним маятниковим маршрутом авторська розробка

Як видно з моделі, на кожному етапі змін матеріального потоку можуть існувати часові затримки процесу. На етапі транспортування, оскільки тривалість цих логістичних операцій є більшою ніж їх такт, вони визначаються за виразом:

$$\Delta_{m,i} = \tau_j - \frac{t_{m,i}}{f_i}, \text{ год.}, \quad (5)$$

де  $f_i$  – фронт АТЗ на  $i$ -му маршруті – кількість автомобілів, які одночасно відправлені до  $j$ -го споживача з  $i$ -го поста. Фронт визначається як співвідношення величин:

$$f_i = \text{round} \left[ \frac{t_{m,i}}{\tau_j} \right]. \quad (6)$$

Затримка (5) фактично виникатиме тоді, коли черговий завантажений транспортний засіб не зможе бути відправленим на маршрут, оскільки ще не відправлено попереднього, або ж тоді, коли він не зможе розвантажитись через зайнятість пункту кінцевої доставки вантажу попереднім автомобілем.

На етапі навантаження, якщо  $f_i = 1$ , то затримка визначиться:

$$\Delta_{n,i}^1 = \tau_{n,1} - t_{n,i}. \quad (7)$$

Причиною затримки (7) є нерівномірність тривалості навантаження різних транспортних засобів, які з різною кількістю пакетів  $k_i$  відправляються в рейс. У цій роботі приймалося, що затримки  $\Delta_{n,i}^1$  є цілком відсутні, оскільки пости навантаження – спеціалізовані щодо обсягу навантаження на кожен автомобіль.

Якщо ж  $f_i > 1$  (існує, щонайменше один пост очікування навантаження), то затримка процесу виникає внаслідок нерівномірності прибуття автомобілів в пункт навантаження, їх простоювання в черзі, і визначається за виразом:

$$\Delta_{n,i}^2 = \tau_{1-2} \cdot (f_n - 1). \quad (8)$$

Отже, критерій побудови злагодженої ТТС – найменші сумарні затримки у ній, запишемо:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_i \Delta_{n,i}^1 + \sum_i \Delta_{n,i}^2 + \sum_j \Delta_{m,j}. \quad (9)$$

Якщо на кожен фіксований  $j$ -й маршрут відправляти лише автомобілі вантажністю  $k_i$  з одного поста без черги, то такт відправлення  $\tau_i$  лише за деяких значень  $k_i$  відповідатиме такту роботи АТЗ на маршруті  $\tau_j$  без затримок (рис. 2).

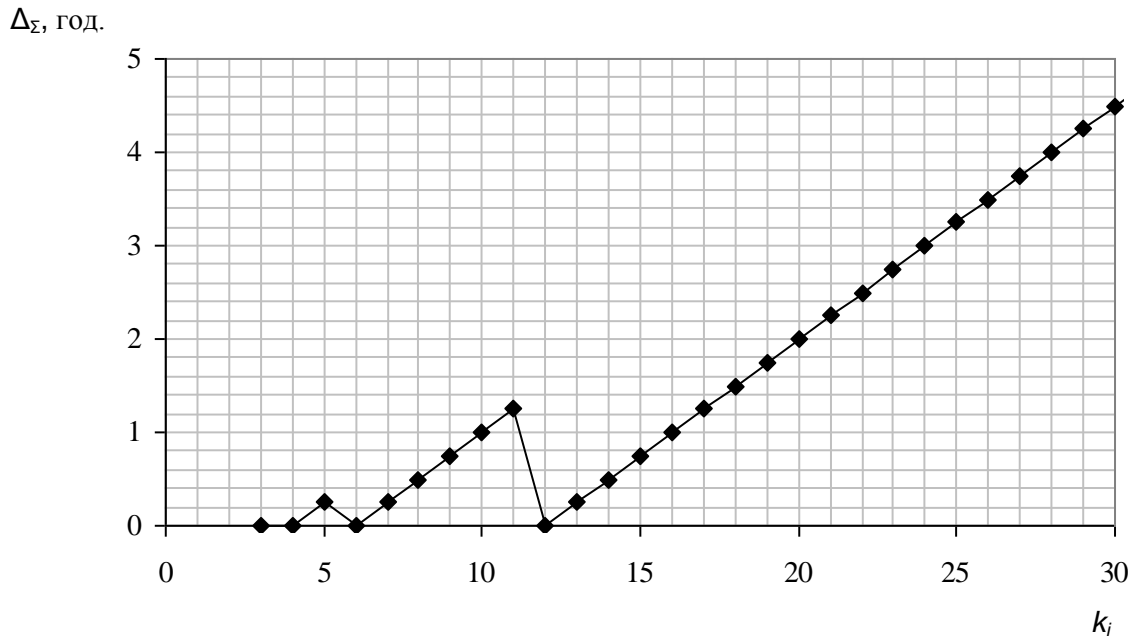
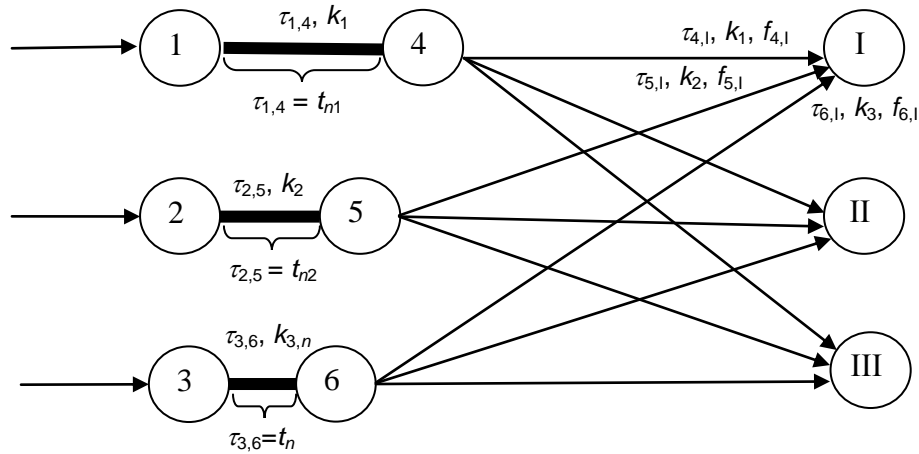


Рис. 2. Залежність сумарних затримок процесу доставки вантажів на одному маршруті через один пост навантаження за наявності АТЗ вантажомісткості  $k_i$   
авторська розробка

Саме при цих значеннях  $k_i$  витримується відношення (1) і зводяться до нуля затримки (5). Однак, це призводить до незадоволеного попиту споживачів. Адже тут висувається додаткова вимога (4). Якщо інтенсивність споживання  $\mu_j$  зміниться, то за мінімумом затримок процесу споживачам доставлятиметься стільки вантажів, скільки це може забезпечити раціонально побудована ТТС. Якщо ж зорієнтуватись на повне задоволення споживача, то від цього зростатимуть затримки вантажопотоків на маршрутах. Розв'язок такої суперечності знаходимо розділенням автомобілепотоків на декілька різних за фактичною вантажністю, використанням, відповідно, декількох паралельних постів навантаження, і комбінуванням їх, залежно від зміни споживання вантажів. Комбінування передбачає можливість злиття автомобілепотоків з різною вантажністю в одному напрямку руху з необхідною інтенсивністю. Таким чином, автомобілі на кожному маршруті є об'єднані завданням доставки, а в транспортному пункті – операціями навантаження. Тому можна говорити про синтез середньої, або великої ТТС за означенням [12]. При цьому часові параметри зайнятості і простоювання автомобілів на різних маршрутах і під навантаженням є взаємозалежними. Для того, щоб показати ці зв'язки, ми застосували принцип нерозривності матеріальних потоків (вантажопотоків, автомобілепотоків) і відобразили систему з п'яти елементарних логістичних операцій: розділення, сполучення, прискорення, сповільнення, переміщення [4]. Модель обслуговування автомобілів у транспортному пункті можна відобразити графом (рис. 3), вершинами якого є dokonані події (1, 2, 3 – прибуття однакових за фактичною вантажністю автомобілів в транспортний пункт на відповідний їх вантажності пост; 4, 5, 6 – навантаження автомобілів і відправлення їх на різні маршрути доставки вантажів; I, II, III – об'єднання автомобілепотоків, різних за вантажністю у пункті призначення вантажів і розвантаження), а дуги – матеріальні потоки автомобілів, вантажів. Оскільки процес є циклічним і неперервним, то кожен дугу його моделі можна оцінити кількісно трьома параметрами: тактом  $\tau_{i,j}$ , розміром гурту матеріальних елементів  $k_b$ , які переміщуються разом, фронтом  $f_{i,j}$ , де  $i$  – номер попередньої операції,  $j$  – номер наступної. На рис. 3 позначено параметри лише тих дуг, які заходять до вершини I. Усі інші – спрощено не показані. Також дуги мають іншу часову оцінку – дійсну тривалість елементарної логістичної операції, наприклад,  $t_{m,1} \dots t_{m,j}$  – тривалість руху для  $j$ -го маршруту, або ж  $t_n$  – тривалість навантаження. На рис.3 ці тривалості показані суцільним потовщеним відрізком. Зрозуміло, вони можуть бути випадковими величинами, однак для отримання злагодженого розкладу процесу за принципом „саме вчасно”, відповідні такти мають бути величинами сталими і дорівнювати тривалостям операцій.



**Рис. 3. Модель транспортно-технологічної схеми навантаження гурту автомобілів на трьох постах, які працюють на трьох різних маршрутах**  
авторська розробка

Наприклад, до споживача I відправляють АТЗ з трьома обсягами завантажень:  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ . Для того, щоб виконувалась умова доставки (1), потрібно, щоб виконувалась умова нерозривності потоку:

$$\mu_j = \sum_{i=1}^p \frac{k_i}{\tau_{i,j}}, \quad (10)$$

де  $i$  – номер вершини, з якої відправлені автомобілепотоки (пости навантаження і розділення автомобілепотоків  $i=1 \dots p$ ;  $j$  – номер вершини, у яку вантажопотоки скеровані.

З іншого боку поділ автомобілепотоків за напрямками відбувається з дотриманням співвідношенням параметрів:

$$\frac{1}{\tau_{x,i}} = \sum_{j=1}^M \frac{1}{\tau_{i,j}}, \quad (11)$$

де  $\tau_{x,i}$  – такт роботи  $x$ -го поста навантаження;  $\tau_{i,j}$  – такт відправлення АТЗ з  $i$ -го поста навантаження на  $j$ -й маршрут.

Описана задача відносно тестової моделі на рис. 3 має таке формулювання. Задано:  $z$  – норма часу навантаження одного пакета;  $\mu_j$  – середня інтенсивність споживання пакетів на трьох маршрутах;  $t_{mj}$  – тривалість циклу АТЗ від навантаження до  $j$ -го споживача, й у зворотному напрямку. Знайти цілі, невід'ємні значення фактичних вантажностей АТЗ –  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , фронтів АТЗ –  $f_{i,j}$ , за яких  $\Delta_\Sigma \rightarrow 0$ , при виконанні умов (1), (10), (11), а також максимуму продуктивності АТЗ, що практично можливо, коли сумарний фронт АТЗ на усіх автомобілепотоках – мінімальний:  $f_\Sigma \rightarrow \min$ . Такт руху АТЗ на кожному маршруті підбирався таким, щоб задовольнити вираз (6). Він повинен бути таким, щоб, наблизити до нуля, з одного боку, затримки часу (5), з іншого – затримки (8). Оскільки за своїм змістом вони є суперечними, то й задача носить оптимізаційний зміст. Обмеження накладаються на числові значення  $k_i$ . В такому формулюванні задача відноситься до задач цілочислового випуклого програмування. Для її розв'язання було застосовано метод градієнтів. Програмне розв'язання забезпечено прикладними пакетами електронних таблиць Excel. Проте не для усіх числових значень початкових даних було можливим знайти розв'язки. Ті з них, що були знайдені, характеризуються різною структурою парку АТЗ, який обслуговує задані маршрути. Так, наприклад, при сумарній інтенсивності  $\mu_\Sigma = 12$  пакетів/год., нормі часу для навантаження одного пакета  $z = 0,25$  год., і тривалості циклів на трьох маршрутах, відповідно,  $t_{m,1} = 1$  год.,  $t_{m,2} = 3$  год.,  $t_{m,3} = 5$  год. оптимальний розв'язок стосувався сумарного фронту автомобілів  $f = 3$ , які завантажуються до значення, відповідно, 4, 12 і 20 пакетів. При цьому працюють усі три пости навантаження. Автомобілі відправляються на усі три маршрути з однаковою середньою інтенсивністю вантажопотоків  $\mu_i = 4$  пакети/год. Відрізняється робота постів тривалістю навантаження і, відповідно, тактом. Але при цьому кожен пост обслуговує автомобілепотік на один маршрут. Тобто маємо три незалежні малі ТТС. Сумарна вантажомісткість парку АТЗ, що задіяні в цих схемах – 36 пакетів. Маршрути можна оцінити сукупним коефіцієнтом нерівномірності тривалості транспортного циклу:

$$\eta_{t_0} = \frac{t_{m,\max}}{\bar{t}_m}, \quad (12)$$

де  $t_{m,\max}$  – максимальна тривалість циклу, год.,  $\bar{t}_m$  – середня тривалість циклу, год. Коефіцієнт нерівномірності тривалості циклу для вказаного випадку становить 1,67.

Якщо задати іншу тривалість циклів, де коефіцієнт нерівномірності (12) є значно більшим, наприклад,  $t_{m,1}=1$  год.,  $t_{m,2}=2$  год.,  $t_{m,3}=9$  год. ( $\eta_{t_0}=2,25$ ), то оптимальний розв'язок – це парк АТЗ, що складається з автомобілів однакової вантажності – 8 пакетів. Автомобілі при цьому навантажуються на трьох постах, а на маршрути відправляються з однаковим тактом – 2 год. Автомобілепотоки з кожного поста розділяються на два потоки і скеровуються на різні маршрути з різним тактом. Коефіцієнт нерівномірності тривалості циклів – 2,25, а сумарна вантажомісткість парку АТЗ – 144 пакети. Сумарний фронт – 5 одиниць. Таким чином оптимальна ТТС при іншому співвідношенні тривалостей циклів і сталому сумарному вантажопотоку уже стає середньою за згаданою класифікацією [12]. Отже, розмір сумарного вантажопотоку не є доцільним показником класифікації. Змінюючи властивості маршрутів, а саме тривалість циклів їх обслуговування, ми отримали залежність показника сумарної вантажомістності парку АТЗ –  $k_\Sigma$ , які обслуговують ТТС від коефіцієнта нерівномірності (рис. 4). Як видно з діаграми, ці залежності є дискретно прямопропорційними. Це означає, що саме структура циклів є визначальною ознакою класифікації ТТС.

Для того, щоб виявити сприятливі для розв'язку задачі початкові дані, було досліджено їх вплив на оптимальний розв'язок. Так із збільшенням сумарного вантажопотоку сумарна вантажомістність автомобілів у ТТС зростає дискретно (рис. 5). При цьому кожна неперервна ділянка (інтервал між двома точковими значеннями на діаграмі) відповідає одній незмінній схемі. Зауважимо, що шляхом комбінування різних за вантажністю автомобілепотоків вдалося забезпечити майже увесь діапазон сукупних вантажопотоків. Однак структура його за трьома напрямками при зміні сумарної інтенсивності суттєво відрізняється. Так, наприклад, при заданій інтенсивності споживання  $\mu_\Sigma = 5$  пакетів/год. розподіл її по трьох різних маршрутах з тривалостями руху по них, відповідно,  $t_{m1} = 2$  год.,  $t_{m2} = 3$  год.,  $t_{m3} = 5$  год., становив:  $\mu_1=2,5$ ,  $\mu_2=1,0$ ,  $\mu_3=1,0$  пакетів/год. Тобто дійсна сумарна інтенсивність є меншою –  $\mu_{\Sigma,0} = 4,5$  пакетів/год. А вже при  $\mu_\Sigma = 12$  пакетів/год. розподіл змінився:  $\mu_1=0$ ,  $\mu_2=1,0$ ,  $\mu_3=11$  пакетів/год. Відхилення дійсного від запланованого обсягу перевезень немає. Однак бачимо, що перший, найменш тривалий маршрут не обслуговується. Це можна пояснити значною відмінністю коротких транспортних циклів, яка підсилюється, коли зростають вантажопотоки і потрібно використовувати автомобілі з більшою вантажністю. Такі дослідження показали і те, що умову максимально виконати запланований обсяг перевезення при максимальній продуктивності АТЗ (мінімальній їх кількості) і без затримок часу фактично неможливо. Так, у першому випадку при  $\mu_{\Sigma,0} = 4,5$  пакетів/год., використовується парк АТЗ з вантажностями 1 і 3 пакети у кількості, відповідно, 10 і 1 автомобілів. У другому, при  $\mu_{\Sigma,0} = 12$  пакетів/год. – з вантажностями 1, 4, 5 пакетів у кількості, відповідно, 18, 4 і 4 одиниці. Сумарна вантажомістність АТЗ у першому випадку становить 13 пакетів, у другому – 58 (див. рис. 4).

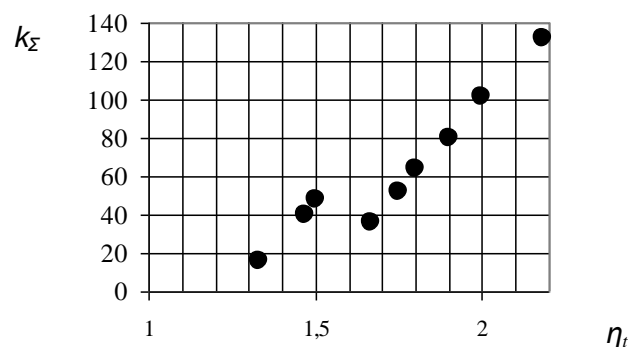


Рис. 4. Залежність сумарної вантажомістності транспортних засобів, які обслуговують задану ТТС від коефіцієнта нерівномірності циклів, що входять до неї  
авторська розробка

Якщо кількість постів навантаження, а отже – типів автомобілів за вантажністю збільшити, то обсяг незадоволеного попиту на перевезення значно скорочується. Так при трьох постах мак-



симальне відхилення заданої інтенсивності від дійсної становило 1 пакет/год. А вже при чотирьох постах – лише 0,3 пакети/год.

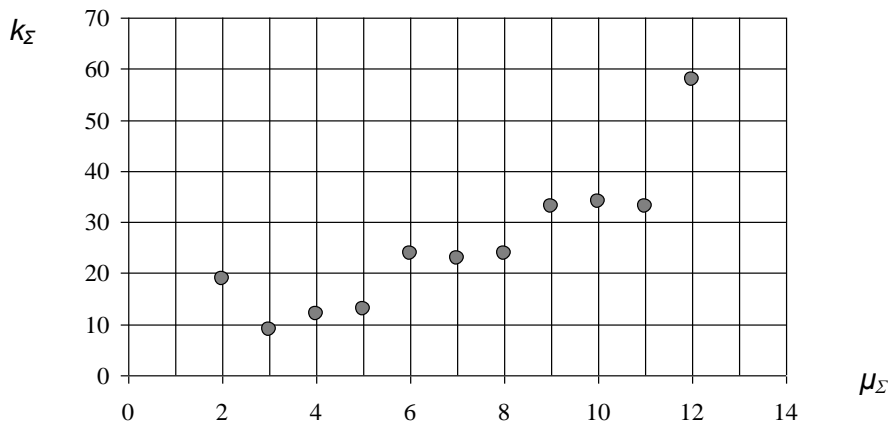


Рис.5. Залежність сумарної вантажомісткості АТЗ від сумарного вантажопотоку  
авторська розробка

Також було досліджено вплив норми часу навантаження одного пакета на дійсну сумарну інтенсивність вантажопотоків (рис. 6). Як видно з діаграми, залежність є обернено-пропорційною. При значенні  $z < 0,2$  розв'язок оптимізаційної задачі відсутній. При  $z > 0,55$  інтенсивність вантажопотоків суттєво не змінюється. Парк автомобілів, які при цьому використовуються, характеризується мінімальною кількістю, а структура його для усього діапазону області значень  $\mu_{\Sigma,0}$  залишається незмінною: використовуються три типи АТЗ з середніми фактичними вантажомісткостями, відповідно, 3, 6, 18 пакетів. Таким чином, досліджений параметричний ряд ТТС з трьома постами окреслює технологічні особливості процесу доставки вантажів у пакетах: продуктивність НРМ, вантажність АРЗ.

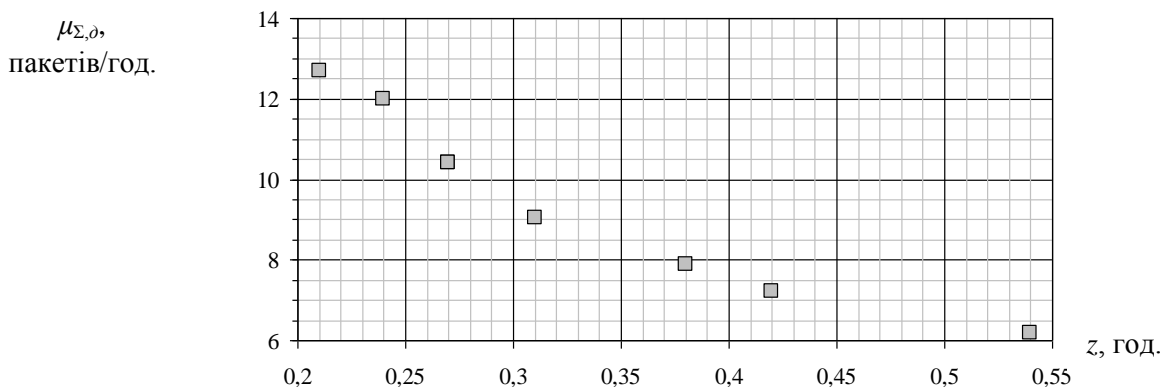


Рис. 6. Залежність дійсної сумарної середньої інтенсивності вантажопотоків від норми часу для навантаження одного пакета  
авторська розробка

#### Висновки й перспективи подальших розвідок

Відобразивши ТТС у вигляді моделі детермінованих залежностей організаційних параметрів логістичних операцій, які утворюють ланцюги постачання пакетів, вперше вдалося розв'язати задачу побудови гарантованого оптимального розкладу роботи задіяних АРЗ і НРМ за критерієм мінімальних сумарних затримок процесу, при умові максимальної продуктивності відповідних засобів.

Критерій сумарних затримок – суперечний за своїми елементами. Підвищення інтенсивності використання АТЗ на маршрутах приводить до збільшення простоїв їх під навантаженням-розвантаженням. Тому задача побудови розкладу автомобілепотоків має оптимізаційний характер і відноситься до задач нелінійного типу. Не усі оптимальні за складом автомобілепотоки можуть забезпечити заданий попит на перевезення, що оцінюють середньою інтенсивністю. Цей недолік зменшується при зростанні кількості паралельних автомобілепотоків, які взаємодіють. Технічно це уможливується застосуванням декількох паралельних постів, що спеціалізуються на певній вантажності АТЗ.

Чим більше відрізняються параметрами маршрути, які обслуговуються комбінованими автомобілепотоками, тим більша їх вантажомісткість при сталій сумарній інтенсивності вантажопотоків. Якщо деякий маршрут має значно меншу тривалість циклу, ніж інші, то його не доцільно включати в єдину ТТС. Для покращення якості і повноти доставляння вантажів споживачам і зниження непродуктивних затримок цього процесу доцільно при збільшенні інтенсивності вантажопотоків підвищувати продуктивність НРМ з обернено пропорційною залежністю.

Виконані дослідження були обмежені розглядом одного навантажувального пункту, в якому є 1...4 пости навантаження. Використана методика детермінованих ланцюгів постачань дає змогу змодельовати ширшу транспортну мережу і отримати глобальніші розв'язки на ній.

1. Алексеев В. О. Оценка состояния транспортных систем в задачах управления движением / В. О. Алексеев, С. М. Костюченко // Автомобильный транспорт. – 2002. – вып. 9. – С. 115-117.
2. Беленький А.С. Применение моделей и методов теории расписаний в задачах оптимального планирования на грузовом транспорте / А. С. Беленький, Е. В. Левнер // Автоматика и телемеханика. – 1989. – №1. – С. 3-77.
3. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки / А. И. Воркут – К.: Вища школа, 1986. – 477с.
4. Вільковський Є. К. Методика визначення необхідної кількості автотранспортних засобів на маятникових маршрутах / Є. К. Вільковський, М. С. Олісевич, В. М. Дорош // Вісник НТУ. – 2006. – № 13, Ч. 2. – С.68-72.
5. Доля В. К. К вопросу координации совместной работы грузовых автомобилей и погрузочно-разгрузочных пунктов / В. К. Доля, А. П. Калинин // Вестник ХГАДТУ. – 1999. – Вып.10. – С. 61-63.
6. Житков В.А. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок / В. А. Житков, К. В. Ким. – М.: Транспорт, 1982. – 184 с.
7. Карачун С. М. Метод определения структуры и численности парка автомобилей при доставке грузов на развозочно-сборочных маршрутах / С. М. Карачун, В. М. Беляев // Повышение эффективности перевозок грузов автомобильным транспортом. – М.: НИИАТ, 1982. – С. 34-37.
8. Калинин А. П. Повышение эффективности совместной работы грузовых автомобилей и погрузочно-разгрузочных средств: Дисс. ... к. т. н: 05.22.01 / Алексей Петрович Калинин – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 177 с.
9. Куниця А. В. Схема взаємозв'язку між складовими операціями процесу доставки вантажів у декартовій системі координат (на прикладі доставки автотранспортом тарно-штучних вантажів від виробництва до розподільного складу) / А. В. Куниця, В. Г. Обіщенко // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2010. – №2. – С.19-25.
10. Кутах О. П. Моделирование транспортных систем / О. П. Кутах. – К.: Київ. ун-т економіки і технологій транспорту, 2004. – 196 с.
11. Нефедов Н. А. Разработка методов планирования работы автомобилей на развозочных маршрутах: автореф. дисс. ... к. т. н: 05.22.10 / Н. А. Нефедов. – Харьков, 1991. – 23 с.
12. Николин В.И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов / В. И. Николин. – М.: Транспорт, 1990. – 191 с.
13. Парунакян В. Э. К вопросу формирования логистических цепей в транспортно-грузовых системах металлургических предприятий / В. Э. Парунакян, Ю. В. Гусев, Е. И. Сизова // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2006. – № 16. – С. 220. – 226.
14. Танаев В. С. Теория расписаний. Многостадийные системы / В. С. Танаев, Ю. Н. Сотсков, В. А. Струевич. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 328 с.
15. Энглезі І. П. К анализу подходов, касающихся выбора рационального типа транспортного средства и оценки его применения при перевозке пакетированных тарно-штучных грузов / И. П. Энглезі, А. В. Калинин // Вісн. Донец. акад. автомоб. трансп. – 2011. – № 2. – С. 17-21.

Стаття надійшла до редакції 19.04.2014