

**ВПЛИВ СТРУКТУРИ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ
ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ**

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9701-8511

Оліскевич М.С., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, myroslav@3g.ua, orcid.org/0000-0001-6237-0785

**THE INFLUENCE OF THE TRANSPORT SYSTEM STRUCTURE ON THE QUANTITIES
OF DELIVERY OF CARGOES IN INTERCITY**

Prokudin G.S., Doctor of Science., National Transport University, Kyiv, Ukraine, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9701-8511

Oliskevych M.S., Philosophy Doctor., National Transport University, Kyiv, Ukraine, myroslav@3g.ua, orcid.org/0000-0001-6237-0785

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА
ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ**

Прокудін Г.С., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9701-8511

Оліскевич М.С., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, myroslav@3g.ua, orcid.org/0000-0001-6237-0785

Постановка проблеми. В умовах зростання вантажообігу у міжміському сполученні, з одного боку, та конкуренції серед автомобільних вантажних перевізників – з іншого, важливо забезпечити високу швидкість і надійність доставки вантажів. Це досягається розробленням, впровадженням і використанням таких транспортних систем, в яких усі логістичні ланцюги (ЛЛ) функціонують синхронно і злагоджено, незважаючи на різну інтенсивність матеріальних потоків (МП) у них, можуть адаптуватись до змін зовнішнього середовища і до ймовірних внутрішніх відмов, тобто є надійними в плані гарантування рівня якості доставки. При створенні нових організаційних об'єктів в більшості випадків відбувається лише ускладнення їх структури й підвищення рівня невизначеності функціонування. В управлінні вони представляють собою складні, частково впорядковані мережі, які працюють в невизначеному середовищі, а тому схильні до різних ризиків і відмов [18]. У таких системах проблеми контролю структурних змін мають важливе теоретичне і практичне значення. У зв'язку зі зростаючою складністю систем постачання, керівні дії стосовно них, переважно, не є оптимальними тому, що різні частини ЛЛ контролюються різними суб'єктами.

Для успішного структурно-параметричного синтезу транспортної системи (ТС) також потрібно володіти аналітичними залежностями структурних ознак та показниками ефективності та надійності доставки вантажів. Тому у цій статті було розв'язано задачу пошуку зв'язку між структурними ознаками, показниками інтенсивності та ефективності ТС постачання вантажів з використанням магістральних автотранспортних засобів (АТЗ). Це вимагає узгодження інтересів багатьох сторін, автоматичного контролю виконання логістичних операцій. На даний час методологія такої діяльності перебуває на стадії розвитку.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемам синтезу ефективної ТС, яка може забезпечити виконання завдань доставки вантажів від заданого виробничого підрозділу до одного, чи мережі споживачів присвячено чимало робіт українських та закордонних вчених. Більш ранні дослідження розглядали транспортні процеси окремо від виробництва і споживання товарів, а також ізольовано один від одного [6, 11, 18]. Транспортно-складські комплекси описувались при цьому лінійними залежностями [2, 11]. Такі системи у сучасності є застарілими. Згодом, коли з'явилися дослідження середніх та великих ТС, виникла потреба аналізу складніших залежностей, що пов'язані з обмеженнями на пропускні спроможності транспортної мережі, наявністю розгалужень матеріальних потоків, використанням термінальних технологій та значним ростом ролі інформаційних технологій в керуванні процесами [2]. В роботах Нагорного Є. В., Нефьодова В. М., Горяїнова О. М., Прокудіна Г.

С., Шраменко Н. Ю., Крикавського Є. В., та інших вчених дано теоретичні основи для аналізу і синтезу процесів доставки вантажів на магістральних транспортних мережах, із застосуванням розподільчих центрів, терміналів та декомпозиції загальної складної моделі на прості [2, 3, 4, 9, 10, 14]. При цьому проблемам синтезу великих та середніх ТС у вітчизняних наукових дослідженнях приділялось все ще мало уваги. Серед закордонних потрібно відмітити роботи Кристофера М., Уотерса Д., Діснея С., Іванова Д., Чанг Ю., та інших [5, 12, 18, 17, 22].

Розглядаючи рух вантажів у системі взаємопов'язаних матеріальних потоків, можна відмітити, що в літературних джерелах здійснюють її ідентифікацію для того, щоб визначити класи задач, які потрібно розв'язати. В цьому відношенні надзвичайно корисною була класифікація ТС, запропонована В. І. Ніколіним [7]. Згідно з його твердженнями, великі ТС відрізняються потенційними можливостями, які можна використати, якщо упорядкувати їх структуру. В жодній з відомих дотепер праць такі системи детально не досліджені. А у згаданих дослідженнях Ніколіна В. І. та в роботах інших авторів основними для ТС подібного рівня пропонується метод статистичного моделювання, який не забезпечує прогресивних рішень. Вагомим недоліком згаданої класифікації було те, що послідовності операцій з доставки товарів споживачам, які об'єднані в середній, великій, чи особливо великій ТС, розглядались окремо від виробництва, складування, споживання, тобто охоплювали не повний ЛЛ. Великі ТС відносяться, як правило, до поточкових і об'єднують в єдине ціле декілька ЛЛ постачання. Вони формуються залежно від попиту на кінцеву готову продукцію і є багатопредметними [18]. Вхідна інформація про прогнозовані потоки замовлень, які мають стохастичний характер, є неповною. Дуже часто ланцюги постачання в таких системах перетинаються, розгалужуються, а у просторі – на великій географічній території [19]. Тому багатьма дослідниками наголошується, що керування такими системами постачання пов'язане з багатовимірними задачами, невизначеністю і ризиками [5].

Відомо, що найефективніші виробничі системи є інтегрованими [13, 16]. Однак, при цьому в літературі не називаються умови отримання позитивного ефекту від їх інтеграції. Адже об'єднання несумісних ланок в ЛЛ, цілком ймовірно, приведе до неприйняттого наслідку – втрати ефективності внаслідок чималого компромісу [11]. В такому разі загострюється необхідність того, щоб різномірні транспортні технології уможлилювали синергетичний ефект, заради якого вони були спроектовані [6]. В останні роки залишаються недостатньо дослідженими процеси динаміки матеріальних потоків у ЛЛ циклічних ТС.

Підсумовуючи виконаний огляд досліджень, виділимо головні ознаки, які характерні для сучасних виробничо-транспортних систем – це інтегрованість, циклічність, наявність біфуркацій та невизначеностей.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Впродовж останнього півстоліття до проблеми управління ланцюгами постачання було застосовано багато математичних інструментів: від класичного аналізу передатних функцій до високорозвинених методологій керування, таких як модель прогнозного контролю і нейродинамічне програмування. Нині з'ясовано, що жоден з відомих методів керування не є універсальним [1].

Для дослідження ТС використовують декомпозицію загального МП на часткові, наприклад, вантажопотоки і автомобіле-потоки [3]. Найбільшої ефективності вона досягне тоді, коли ці потоки будуть взаємоузгодженими. Але таку задачу відносять до NP-складних і розв'язують числовими методами, або використовуючи методи динамічного програмування. В окремих випадках отримання оптимального розв'язку не гарантується [12].

В інших галузях, наприклад технічного сервісу машин, є відомі методи структурної оптимізації технологічного процесу [20]. Він розглядається як дискретний, циклічний із замкнутою структурою. Для його оптимізації застосовано методи евристичного пошуку. Процеси доставки поштучних тарних вантажів, які є об'єктами нашого дослідження, є подібними. Згадану методику можна до них застосувати із застереженнями. По-перше, організаційний параметр, – такт для ТС є змінною величиною. По-друге, розгалуження потоку в ТС може бути зумовлене гуртовістю вантажів, розгалуженістю транспортної мережі й змінною вантажністю АТЗ.

Для аналізу й синтезу ефективної ТС застосовують методи, які можна поділити на дві групи. Перша – це прості у використанні, які, однак, недостатньо повно описують структуру і технологію ТС [6, 9, 18]. Друга група – методи, які дають добру уяву про структуру і технологію, але складні в застосуванні на практиці, потребують значного масиву первинних даних та експертних оцінок [15]. Загальним недоліком існуючих методів розрахунку є велика трудомісткість їх побудови, витрати часу і, як наслідок, – низька оперативність отримання результатів. Тому в сучасних умовах очевидна необхідність створення нових моделей. При цьому, об'єкт дослідження варто розглядати не тільки як

сукупність декількох систем масового обслуговування, але і як єдину логістичну систему, робота якої повинна задовольняти вимогам найширшого кола споживачів.

Зазначені особливості ТС дають можливість використовувати методи теорії автоматичного управління і регулювання для створення системи, яка автоматизує процес прийняття рішень. Це стало одним з перспективним напрямків у дослідженні організаційних систем [9]. Однак, для його застосування потрібна конкретизація проблеми, що вирішується на основі ідентифікації класу об'єкта дослідження – визначення структурних властивостей та динаміки ТС.

Формулювання мети і постановка завдання

Мета досліджень – розробити методіку структурного моделювання інтегрованих великих систем доставки вантажів, яка б, враховуючи нелінійний характер ТС, давала можливість оцінити показники її ефективності, користуючись кількісними ознаками структури при заданому рівні інтенсивності матеріальних потоків. Досягнення цієї мети дає змогу здійснити системний підхід до синтезу нових ТС, які створюються за потребою розвитку транспортно-технологічних систем.

У попередніх дослідженнях нами було запропоновано модель ТС у вигляді послідовності елементарних логістичних операцій (ЕЛО), які пов'язані організаційними параметрами і утворюють детерміновані ланцюги [8]. Вихідними даними тут були вимоги споживачів щодо термінів і обсягів постачання вантажів, властивості предметно-технологічного базису. ЛЛ поєднувались, як правило, одним джерелом вантажопотоків, або ж декількома, для яких відомо було розмір споживчих і/або транспортних пакетів [3]. Зміст задач такого типу полягав у виборі кількості і вантажності АТЗ, щоб обслужити заданий вантажопотік. Тому невідомими там були цілочислові змінні – чисельність вантажних одиниць, які потрібно перевезти у даній ТС на певній фазі процесу. Структурні моделі, які аналізувались при цьому, були визначеними в якісному плані, тобто набір ЕЛО, які входять до кожної моделі, був сталим. Це не давало змоги провести дослідження ТС в повному діапазоні можливої інтенсивності. Інший недолік – неможливо застосувати релейне перемикання моделі, наприклад при певних умовах заборонити вантажопотік по одному із розгалужень моделі. Адже така модель базується на принципі нерозривності потоку:

$$\mu_i = \frac{k_i}{\tau_i} = const \quad (1)$$

де k_i – розмір гурту матеріальних елементів, які переміщуються в i -й фазі ТС разом;
 μ_i – інтенсивність МП i -ї фази ТС;
 τ_i – такт ЕЛО.

Якщо вантажопотік інтенсивністю $\mu_{\text{сум.}}$ має розгалуження $\mu_{\text{сум.}} = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_m$, і при певних умовах один з його напрямків ξ потрібно ліквідувати, тобто призначити $\mu_\xi = 0$, то у сформульованій задачі такий розв'язок буде неможливим, оскільки, згідно з (1) неможливо призначити $\tau_i = \infty$ при $k_i = const$.

У цій статті **об'єктом досліджень** є розгалуження ЛЛ в одній ТС. Тому методи цілочислового програмування тут непридатні. Нелінійна модель ТС, в цілому, у цих дослідженнях має аналогічний вид. Її особливості:

- наявність декількох джерел матеріальних потоків: виробників тарно-поштучних вантажів, парків АТЗ;
- регіональний характер транспортної мережі, який відображено тим, що такт випуску АТЗ на маршрут є значно меншим, ніж тривалість руху того ж автопоїзда по маршруту;
- наявність декількох розподільчих центрів, терміналів, що вносить у модель ТС ЕЛО сполучення та розподілу вантажопотоків. Такі особливості привели до необхідності змін до відомого формулювання задачі [3].

Виклад основного матеріалу

Кожна структурна модель ТС, яка створена у цих дослідженнях, є унікальною, тобто вона характеризується лише властивими для неї залежностями, умовами і обмеженнями. Однак, усі використані нами моделі мають деякі спільні особливості.

По-перше, змінними усіх моделей є параметри інтенсивності матеріальних потоків на тих фазах ТС, які є невизначеними у зв'язку з розподілом потоків та їх злиттям: λ_i – інтенсивність вхідного потоку від i -го джерела, μ_j – інтенсивність МП в межах однієї фази ТС.

По-друге, моделі ТС такого гатунку можуть змінювати свою структуру залежно від сумарної інтенсивності МП, які через них проходять. Але залежності параметрів ЕЛО при цьому не

змінюються. Це означає, що вони містять перемикачі, які можна виразити через присвоєння інтенсивності певному напрямку матеріального потоку нульового значення. Вираз (1) і принцип нерозривності при цьому зберігається.

По-третє, всі показники ефективності обчислюються залежно від якісного складу ТС. Спільним для різних структур є тільки спосіб визначення критерію.

Головний показник даного класу задач – гарантована мінімальна тривалість доставки:

$$T = \max_j \left\{ \sum_{j=1}^N \frac{k_j}{\mu_j} f_j \right\} \rightarrow \min ,$$

де f_j – фронт матеріальних елементів в рамках одної фази ТС.
Або після перетворення виразу для фронту, отримуємо:

$$T = \max_j \left\{ \sum_{j=1}^N \frac{k_j}{\mu_j} \left\lceil \frac{\mu_j t_j}{k_j} \right\rceil \right\} \rightarrow \min \quad (2)$$

де t_j – тривалість j -ї ЕЛО, $j=1 \dots N$.

Вираз, взятий в прямокутні дужки означає заокруглення до більшого цілого. Обмеження:
- на інтенсивність вихідних потоків:

$$\sum_i \mu_{\text{вх},i,j} = \mu_j , \text{ або } \sum_i \frac{k_{i,j}}{\tau_{i,j}} = \mu_j \quad (3)$$

де $\mu_{\text{вх},i,j}$ – i -й вхідний потік до j -го кінцевого споживача;
 μ_j – інтенсивність споживання у j -го споживача;
- на вхідні потоки:

$$\sum_i \frac{k_i}{\lambda_i} = \sum_j \mu_j , \quad (4)$$

де λ_i – інтенсивність вхідних потоків від кожного i -го джерела;
- на кількість автомобілів:

$$\left\lceil \frac{t_j}{\tau_j} \right\rceil = \left\lceil \frac{\mu_j}{k_j} \cdot t_j \right\rceil \leq f_{j,\text{max}} \quad (5)$$

де j – номер ЕЛО, де задіяні АТЗ j -го типу;

$f_{j,\text{max}}$ – максимальна кількість АТЗ j -го типу, які дозволені до використання у даній задачі.

Таким чином, взявши до уваги вираз критерію (2) та обмежень (3)-(5) задачі з багатьма змінними, віднесемо її до нелінійних неопуклих задач математичного програмування. Очевидно також, що функція (2) – недиференційована. Для розв'язування таких задач застосовують, як правило, числові методи, або такі, що дають приблизний розв'язок за допустимий час і з допустимою похибкою. Нами був застосований алгоритм нелінійного програмування пакету Solver, який закладений в електронних таблицях Excel – градієнтний метод [1]. Однак, у даному випадку потрібен не один, а множина розв'язків, які стосуються змінних вхідних даних – змінного сумарного попиту на доставку вантажів до різних споживачів. Якщо початкові значення змінних λ_i та μ_j на початку пошуку оптимуму будуть дорівнювати нулю, то програма видає свою неспроможність знайти потрібний розв'язок і дотриматись умов та обмежень. Тому пошук усього діапазону результатів розпочато з граничного значення сумарного потоку, $\mu_{\text{сум.}} = \mu_{\text{сум. min}}$ – мінімального вихідного потоку, заради якого взагалі варто організувати ТС з допомогою лише одного автомобіля. Це значення обчислюється як для одиничного процесу відправлення вантажу від найближчого відправника до споживача, який має найменший попит за один цикл [22]. При цьому постачання здійснюється поза розподільчими пунктами, посередниками та терміналами. При таких умовах організаційні параметри

ТС є однозначно визначеними і їх легко можна обчислити. Збільшуючи $\mu_{\text{сум.}}$ на деякий, достатньо малий крок $\Delta\mu_{\text{сум.}}$, знаходимо оптимальні розв'язки до максимального значення $\mu_{\text{сум.мак}}$, збільшуючи яке ми не зможемо більше знайти допустимий розв'язок через накладені обмеження. У першу чергу, це стосується заданої кількості АТЗ, які можуть працювати на тому, чи іншому маршрутах. Діапазон вхідних величин $\mu_{\text{сум.мін}} \dots \mu_{\text{сум.мак}}$ є областю визначення оптимальних ТС даного типу.

Для практичного застосування методики, крім загальних ознак транспортних систем, таких як кількість елементарних логістичних операцій, відповідно: N_{Σ} – загальна, $N_{\text{ЕЛО.пр}}$ – подрібнення, $N_{\text{ЕЛО.ск}}$ – скупчення, $N_{\text{ЕЛО.сп}}$ – сполучення, $N_{\text{ЕЛО.р}}$ – розподілення МП, введено ще відносні показники, які характеризують потенціал ТС при її оптимізації. Це – рівень вертикальної концентрації ЕЛО, який визначався за виразом:

$$\eta_V = \frac{V_{\text{мак}}}{N_{\Sigma}}, \quad (6)$$

де $V_{\text{мак}}$ – максимальна кількість ЕЛО, які стосуються різних МП, але виконуються одночасно в даний момент функціонування ТС.

Рівень вертикальної концентрації характеризує ступінь розгалуженості ТС. Як відомо, розгалуження систем однорідними операціями приводить до резервування їх продуктивності й підвищення надійності [11]. Тому, чим вище його числове значення (теоретично можливе – 1,0), тим більшої продуктивності може досягнути ТС. При цьому вона буде краще пристосована до змін інтенсивності потоків. З іншого боку, наявність резервних потоків у ТС приводить до збільшення чисельності запасів товарів, які перебувають в русі, або на складах по дорозі до споживачів, чисельності задіяних АТЗ і збільшення тривалості поставок в окремих ланцюгах.

Рівень горизонтальної концентрації визначався за виразом:

$$\eta_H = \frac{H_{\text{мак}}}{N_{\Sigma}}, \quad (7)$$

де $H_{\text{мак}}$ – кількість ЕЛО, які розташовані послідовно в найдовшому ланцюгу ТС.

Цей коефіцієнт є мірою перетворення МП в системі. Для прискорення і здешевлення переміщення товарів його укрупнюють в більші гурти, застосовують великовантажні АТЗ, але оскільки кінцевому споживачеві він постачається дрібним гуртом, то в результаті отримуємо послідовність ЕЛО, які спочатку сповільнюють, а потім прискорюють МП. Чим вище значення коефіцієнта η_H , тим нерівномірніший за інтенсивністю МП в ТС. А це означає, що його тривалість при цьому збільшується й збільшуються затримки доставки вантажів.

Як приклад розглянуто три моделі циклічних процесів доставки виробів від трьох джерел до трьох споживачів, які розташовані на фіксованій мережі й характеризуються відомою інтенсивністю попиту однорідної продукції, відповідно $\mu_1 \mu_2 \mu_3$, одиниць / год. ТС відображена графом, вершинами якого є моменти завершення ЕЛО, а дуги означають перебіг цих операцій. Усі вершини, а також їх зв'язки поділяються на чотири типи, згідно із видом перетворення матеріального потоку: Ск – скупчення, П – подрібнення, Р – розподілу, Сп – сполучення [8]. Кожній дузі у графі надано індекс. Кожна дуга також має чотири кількісні оцінки: τ_i – такт; t_i – математичне сподівання випадкової величини, тривалості; k_i – розмір гурту матеріальних елементів, які переміщуються в часі і просторі разом; f_i – фронт, тобто кількість матеріальних елементів, які в одній логістичній операції переміщуються синхронно, але не разом. Взаємозалежність цих параметрів, способи їх оцінювання описано в попередніх працях [3, 8].

Згідно з першою схемою (рис. 1) готові товари виробляються на трьох підприємствах V_1, V_2, V_3 . Інтенсивність кожного виробництва, $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$ є такою, щоб забезпечити споживання товарів з інтенсивностями, відповідно, $\mu_1 \mu_2 \mu_3$, тобто за умови сталого попиту виконується рівність:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3, \text{ одиниць/год.} \quad (8)$$

Після цього товари, що випускаються виробничим гуртом, відповідно, $k_1 \dots k_3$ пакують в більші гурти $k_4 \dots k_6$ – транспортні, і складають для того, що, відправити до одного з посередників, які формують крупніші відправки до кінцевих споживачів. Розподіл вантажопотоків від складів виробників до посередників здійснюється для того, щоб покращити показники надійності й якості

доставки. Власне, розміри вантажопотоків $\mu_7 \dots \mu_{15}$ є невідомими змінними у задачі оптимізації цієї ТС. У вершинах $СП_1 \dots СП_3$ її моделі відбувається сполучення потоків для того, щоб задовольнити попит споживачів, тобто щоб виконувались умови $\mu_{16} = \mu_1$, $\mu_{17} = \mu_2$, $\mu_{18} = \mu_3$, з одного боку, і забезпечити відправлення великовантажних АТЗ, а також їх високу продуктивність при транспортуванні до пунктів розділення автомобілепотоків і вантажопотоків (розвантаження) $P_4 \dots P_6$. Кількість автомобілів є обмеженою. Розмір гуртів відправлення є фіксованим: він формується умовами рентабельного фактичного завантаження автопоїздів і для розв'язування задачі є відомим – $k_{16} \dots k_{18}$. Випуск автомобілів з вантажами відбувається за такт $\tau_{16} \dots \tau_{18}$. У цих дослідженнях не передбачається можливість вибору транспортних засобів за вантажомісткістю. Транспортування відбувається за маятниковими маршрутами, як при доставці вантажів посередникам впродовж часу $t_7 \dots t_{15}$, так і від посередників до кінцевих споживачів, тривалістю $t_{16} \dots t_{18}$. Якщо для будь-якого i -го маршруту характерно, що $t_i > \tau_i$, то на ньому буде працювати кількість автомобілів, яку можна визначити з виразу (5). Якщо $t_i < \tau_i$, то $f_i = 1$.

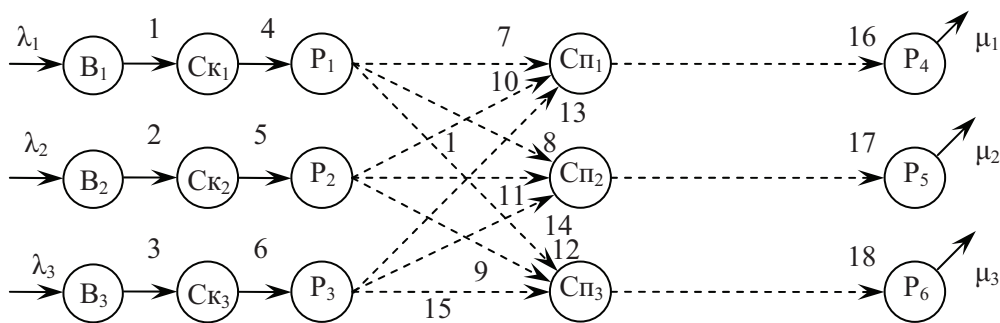


Рисунок 1 – Транспортна схема № 1: 1...18 – номери елементарних логістичних операцій; $B_1 \dots B_3$ – виробництво; $СК_1 \dots СК_3$ – пакування у транспортні пакети + складування; $СП_1 \dots СП_3$ – сполучення вантажопотоків + формування гурту відправлення; $P_4 \dots P_6$ – розвантаження у кінцевих споживачів

Figure 1 – Transport scheme № 1: 1 ... 18 – numbers of elementary logistics operations; $B_1 \dots B_3$ – productions; $СК_1 \dots СК_3$ – packing in transport packages + storage; $СП_1 \dots СП_3$ – a combination of freight flows + formation of a departure group; $P_4 \dots P_6$ – unloading at customers

На маршруті є пункти призначення вантажу (у даному прикладі – три P_4, P_5, P_6). Кожен з цих пунктів характеризується середньою інтенсивністю споживання заданих вантажів, яка є сталою впродовж деякого періоду. На схемі 1 – це μ_1, μ_2, μ_3 . Для дискретного МП, яким є вантажопотік поштучних тарних вантажів, інтенсивність можна виразити за (1). Якщо змінюється попит, то повинні змінюватись усі параметри схеми №1, які пов'язані з ним і між собою такими залежностями.

- на першій фазі ТС:

$$\tau_1 = \frac{k_1}{\lambda_1}, \tau_2 = \frac{k_2}{\lambda_2}, \tau_3 = \frac{k_3}{\lambda_3};$$

- на другій фазі:

$$\tau_4 = \frac{k_4}{k_1} \tau_1, \tau_5 = \frac{k_5}{k_2} \tau_2, \tau_6 = \frac{k_6}{k_3} \tau_3;$$

- на третій фазі, коли відбувається поділ потоків, маємо:

$$\frac{k_{16}}{\tau_{16}} = \frac{k_7}{\tau_7} + \frac{k_{10}}{\tau_{10}} + \frac{k_{13}}{\tau_{13}}, \frac{k_{17}}{\tau_{17}} = \frac{k_8}{\tau_8} + \frac{k_{11}}{\tau_{11}} + \frac{k_{14}}{\tau_{14}}, \frac{k_{18}}{\tau_{18}} = \frac{k_9}{\tau_9} + \frac{k_{12}}{\tau_{12}} + \frac{k_{15}}{\tau_{15}};$$

- на четвертій, останній фазі:

$$\tau_{16} = \frac{k_{16}}{\mu_1}, \tau_{17} = \frac{k_{17}}{\mu_2}, \tau_{18} = \frac{k_{18}}{\mu_3}.$$

Величини $k_1 \dots k_{18}$ – цілі наперед задані константи. Їх числові значення визначені такими факторами: допустимим рівнем фактичної рентабельної вантажомісткості АТЗ; стандартними

розмірами упаковки; застосованими технічними засобами пакування, навантаження. Враховуючи такі залежності, сформулюємо задачу.

Критерій, згідно з виразом (2) – мінімальна гарантована тривалість доставки – максимальний час доставки за найдовшим логістичним ланцюгом має бути найменшим (або не перевищує наперед заданого значення). В цій моделі цей критерій визначається з шести ланцюгів $T_1 \dots T_6$:

$$\max \left\{ \begin{array}{l} T_1 = \tau_1 + \tau_4 + f_7 \cdot \tau_7 + f_{16} \cdot \tau_{16} \\ \vdots \\ T_6 = \tau_3 + \tau_6 + f_{15} \cdot \tau_{15} + f_{18} \cdot \tau_{18} \end{array} \right\} \rightarrow \min, \quad (9)$$

У виразі (9) числові значення фронтів ЕЛО №№ 1...6 дорівнюють одиниці, то відповідні коефіцієнти доданків $\tau_1 \dots \tau_6$ опущено.

Другий критерій, який застосовано – мінімальні сумарні затримки доставки – які пов'язані з тим, що графік вантажопотоків є неузгодженим з ритмічністю процесу, в результаті тривалість окремих операцій є значно меншою, ніж такт – період часу для її циклічного виконання:

$$Z = \sum_{i=1}^6 T_i \cdot \mu_i - T_{\min} \cdot \mu_{\Sigma}, \quad (10)$$

де перший член виразу – це сумарні витрати часу на доставку вантажів, які запуснені в ТС за одиницю часу по усіх ЛЛ; другий член – мінімально можливі витрати часу на доставку.

Фактично, затримки доставки в цих дослідженнях – це ідеалізоване розуміння процесу переміщення матеріальних елементів, коли вони безупинно транспортуються до споживачів.

Третій критерій – сумарні запаси вантажів, які залучені в даній ТС, тобто перебувають на шляху від виробників до споживачів на складах, на АТЗ, в обробці. Його визначали з виразу:

$$F_{\text{сум.}} = \sum_i f_i \cdot k_i, \quad (11)$$

де $i=1 \dots N$ – номери усіх ЕЛО, з яких складається ТС.

Змінні першої схеми ТС – $\mu_7 \dots \mu_{15}$. Усі її інші параметри визначено з рівнянь (3)-(5). Для заданого μ_{Σ} потрібно вибрати такі значення змінних, за яких критерії є мінімальні. Знайдені залежності $T(\mu_{\Sigma})$, $Z(\mu_{\Sigma})$, $F_{\text{сум.}}(\mu_{\Sigma})$ подано на рис. 4-6. Задача має оптимізаційний характер за кожним з критеріїв. Адже якщо зменшувати тривалість доставки, скорочувати затримки товароруку, чи обсяги вантажів в обігу в системі збуту, то це приводить до зростання необхідної кількості автомобілів, що суперечить обмеженням.

Схема №2 відноситься до частково розгалужених (рис. 2). Ця видозміна ТС має аналогічне як і схеми №1 призначення. Тобто є ті самі споживачі, відстань від яких до виробників – та ж. Обсяги споживання вантажів перерозподілені аналогічно. Відмінності полягають в тому, що у схемі №2 діє один розподільчий центр (на рисунку окреслений прямокутником – $С_{П1}$ - P_1). Різниця логістичних процесів між схемою №1 і №2 полягає у тому, що цей центр приблизно рівновіддалений як від виробників, так і від споживачів. До нього вантажі відправляють зі складів виробників у сформованих сталих за розміром гуртах $k_4 \dots k_6$. В розподільчому центрі відбувається перерозподіл вантажів за напрямком і за обсягами споживання. Тому у даному випадку інтенсивності $\mu_8 \dots \mu_{10}$ – це детерміновані величини, які залежать від відповідних $\mu_1 \dots \mu_3$. А змінних у даній схемі є 3: μ_4, μ_5, μ_6 . Подібно як і в попередній схемі №1, інші організаційні параметри ЕЛО, такти та фронти є похідними. Аналогічно визначаються критерії. При моделюванні виявилось, що схема №2 має дещо більший діапазон інтенсивностей потоку, який сягає 17 одиниць/год., у той час як схема №1 – лише 15 одиниць/год. (див. рис. 4).

Транспортна система №3 – комбінована. У ній вантажі також постачаються споживачам через розподільчий центр. Але, на відміну від схеми №2, тут є можливість і прямої поставки від виробників до споживачів великовантажними АТЗ. Для цього у виробників є власні розподільчі пункти, які сортують вантажопотоки на прямі, великогуртові і через термінал, куди їх доставляють дрібними відправками.

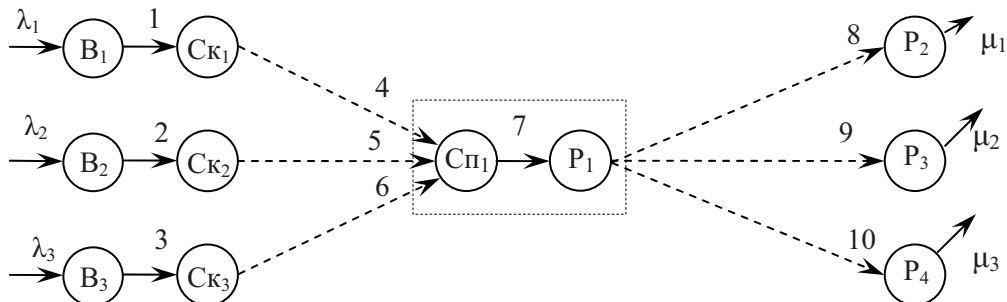


Рисунок 2 – Транспортна схема № 2: 1...10 – номери ЕЛО; $B_1...B_3$ – виробництво; $CK_1... CK_3$ – пакування у транспортні пакети + складування; $СП_1$ – сполучення вантажопотоків + формування гурту відправлення; $P_4...P_6$ – розвантаження у кінцевих споживачів

Figure 2 – Transport scheme № 2: 1 ... 10 – ELO numbers; $B_1 ... B_3$ – productions; $CK_1 ... CK_3$ – packing in transport packages + storage; C_1 – a combination of cargo flows + formation of the group of departure; $P_4...P_6$ – unloading at customers

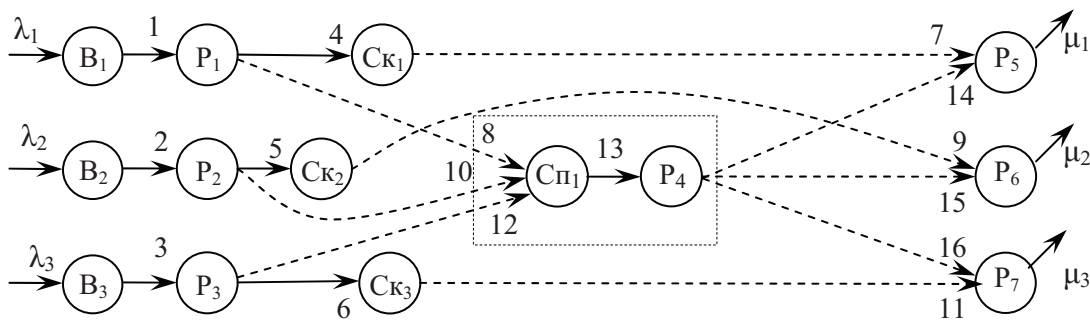


Рисунок 3 – Транспортна схема № 3: 1...10 – номери ЕЛО; $B_1...B_3$ – виробництво; $CK_1... CK_3$ – пакування у транспортні пакети + складування; $СП_1$ – сполучення вантажопотоків + формування гурту відправлення; $P_4...P_6$ – розвантаження у кінцевих споживачів

Figure 3 – Transport scheme № 3: 1...10 – ELO numbers; $B_1 ... B_3$ – production; $CK_1...CK_3$ – packing in transport packages + storage; C_1 – a combination of cargo flows + formation of the group of departure; $P_4 ... P_6$ – unloading at customers

Спосіб розв’язання задачі за схемою №3 – той самий, за тими ж критеріями. Однак, їх обчислення дещо складніше. Адже від виробників до споживачів можна утворити 9 ЛЛ. Отримано також дещо інші залежності (рис. 4-6). Схема №3 також відноситься до розгалужених. Для неї характерно, що вона може забезпечити доставку вантажів до трьох споживачів із сумарною інтенсивністю 27 одиниць/год., що на 44,5% більше, ніж схема №1. При цьому і сумарні затримки доставки вантажів за схемою №3 є найменші. Якщо співставити ці показники з показниками структури, то отримуємо таке порівняння (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Порівняння структурних ознак ТС

№ схеми	Кількість ЕЛО				Коефіцієнти концентрації ЕЛО	
	загальна	розподілу	сполучення	скупчення	вертикальної	горизонтальної
1	15	6	3	6	0,5	0,22
2	11	4	1	6	0,3	0,4
3	14	6	1	7	0,375	0,31

Таблиця 2 – Порівняння властивостей ТС

№ схеми	Діапазон інтенсивності потоку, од./год. (min ... max)	Гарантована тривалість доставки, год.		Сукупні затримки процесу, год.		Запас вантажів в обігу, одиниць	
		для $\mu=5$ од./год.	для $\mu=15$ од./год.	для $\mu=5$ од./год.	для $\mu=15$ од./год.	для $\mu=5$ од./год.	для $\mu=15$ од./год.
1	0,1...15	128,1	54,1	315,5	557,9	361	531
2	0,1...17	63,7	48,4	145,2	544	211	444
3	0,1...27	86,8	33,6	71,4	394	198	328

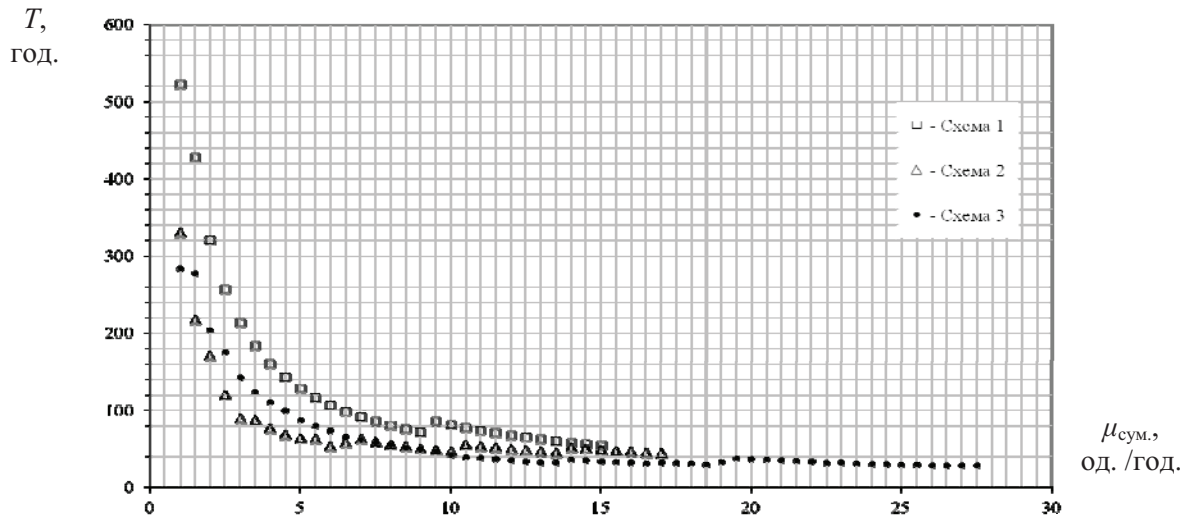


Рисунок 4 – Залежність тривалості гарантованої доставки вантажів від типу транспортно-технологічної схеми й інтенсивності сумарного вантажопотоку у ній

Figure 4 – Dependence of the duration of the guaranteed delivery of cargoes from the type of transport and technological scheme and the intensity of the total cargo flow in it

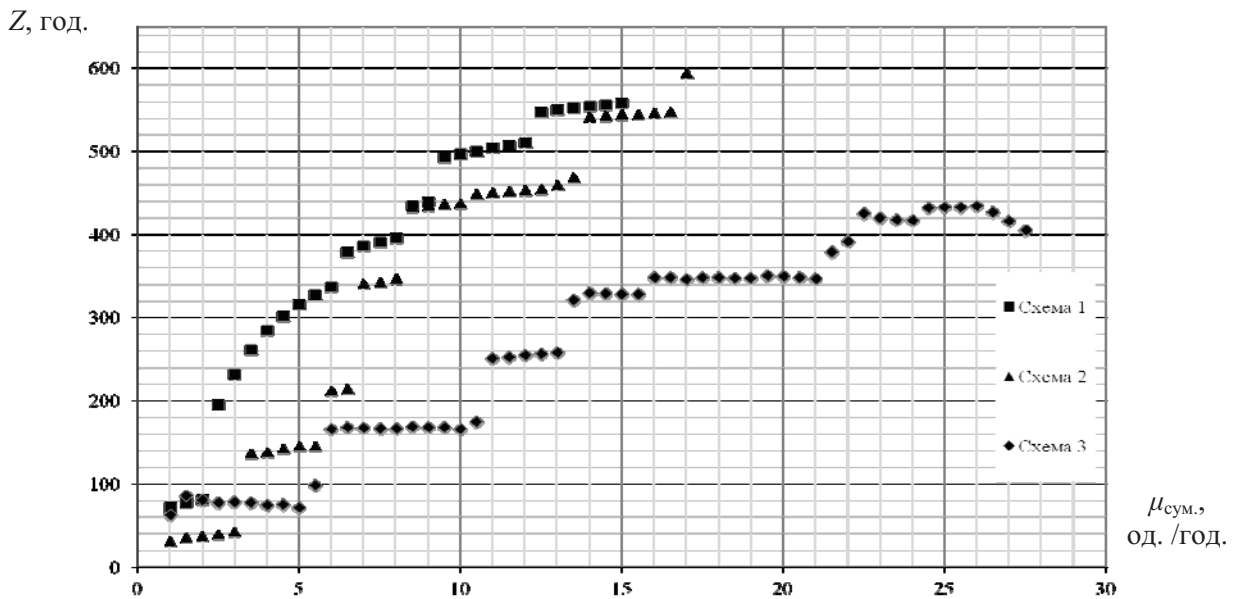


Рисунок 5 – Залежність сумарних затримок доставки вантажів від типу транспортно-технологічної схеми й інтенсивності сумарного вантажопотоку

Figure 5 – Dependence of total delays of cargo delivery from the type of transport and technological scheme and the intensity of the total cargo flow

Висновки та перспективи подальших досліджень. Середні й великі транспортні системи є інтегрованими, об'єднують декілька ЛЛ, характеризуються нелінійними співвідношеннями організаційних параметрів. Якщо ТС містить розподільчі операції, то для її оптимізації недоцільно використовувати структурну модель з цілочисловими змінними. У більшості випадків відомі методи нелінійного програмування не дають для неї необхідних розв'язків і не забезпечують дотримання обмежень.

Якщо розв'язувати задачу структурної оптимізації великої ТС за часовими критеріями, як от гарантованої тривалості доставки, сумарних часових затримок доставки, то в якості обмежень доцільно вибрати провізні спроможності наявного парку АТЗ. Розмір транспортних пакетів, вантажомісткість АТЗ, розмір транспортного гурту вантажів слід взяти сталими, в іншому випадку це приведе до додаткових невизначеностей в моделі й унеможливить гарантування оптимального розв'язку.

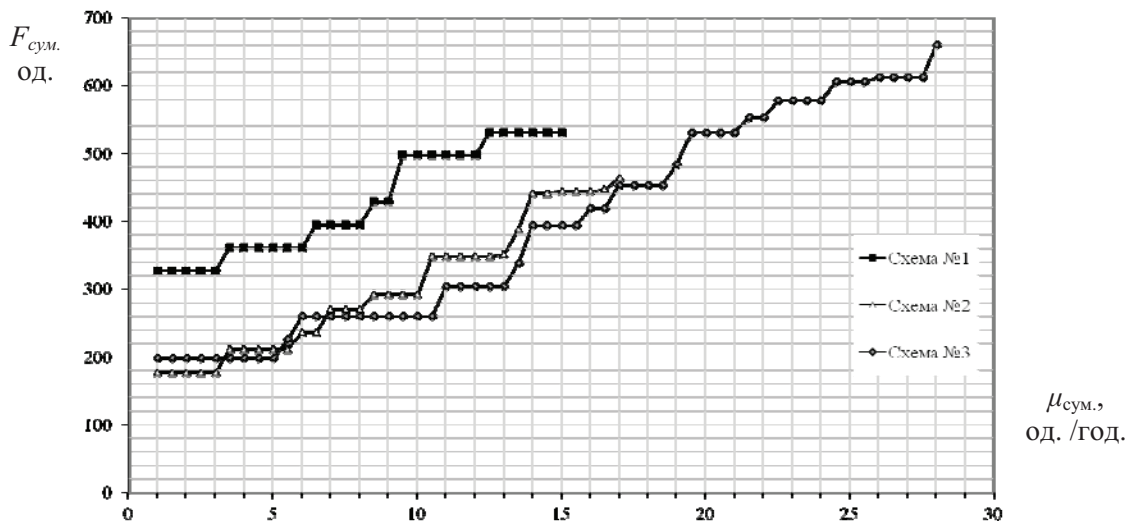


Рисунок 6 – Залежність сумарних запасів вантажів в обігу від типу транспортно-технологічної схеми й інтенсивності сумарного вантажопотоку у ній

Figure 6 – Dependence of the total inventory of goods in turnovers from the type of transport and technological scheme and the intensity of the total cargo flow in it

Залежність мінімального гарантованого терміну, затримок доставки і кількість одиниць вантажу, які вміщає ТС в обігу нелінійно змінюються зі збільшенням сумарного вантажопотоку. Термін доставки зменшується до стійкого мінімального значення дискретно і асимптотично, а затримки процесу і запаси зростають. Якщо використовувати залежності $T(\tau)$ або $Z(\tau)$, то можна побудувати параметричний ряд таких ТС, яким властиві найнижчі числові значення цих показників.

Завдяки можливості розгалуження вантажопотоків у них є можливість пристосуватись до змін вхідного потоку замовлень. Чим більші коефіцієнт горизонтальної концентрації і кількість операцій розподілу матеріальних потоків, натомість, чим менша кількість їх сполучень, тим більший діапазон інтенсивності сумарного вантажопотоку може обслужити така ТС.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Васянин, В. А. Компьютерное моделирование распределения и маршрутизации дискретных многопродуктовых потоков в коммуникационной сети / В. А. Васянин // Управляющие системы и машины. – 2016. – № 3. – С. 43-53.
2. Горяинов, А. Н. Определение экономической целесообразности работы участников логистической цепи / А. Н. Горяинов // Логистика. Проблемы и решения. – Харьков., 2006. – №3(4). – С. 31-37.
3. Дорош, В. М. Аналіз типових транспортно-технологічних систем доставки швидкопсувних харчових продуктів / В. М. Дорош // Автошляховик України. – 2011. - №6, – с.17-22.
4. Економіка логістичних систем : монографія / М. Васелевський, І. Білик, О. Дейнека та ін.; за заг. ред. Є. Крикавського та І. Кубіва. – Львів : Національний Університет «Львівська політехніка», 2008. – 596 с.
5. Кристофер, М. Логистика и управление цепочками поставок / Под общ. ред. В.С. Лукинського. – СПб. : Питер, 2004. – 316 с.
6. Кутах О. П. Моделирование транспортных систем / О.П. Кутах. – К. : Київ. ун-т економіки і технологій транспорту, 2004. – 196 с.
7. Николин В. И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов / В. И. Николин – М. : Транспорт, 1990. – 191 с.
8. Оліскевич М.С. Дослідження структури та параметрів транспортно-технологічної системи матеріального постачання за умов прогнозованої зміни попиту на продукцію / М. Оліскевич // Вісник Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля. – 2010. – № 1 (143). – С. 254–259.
9. Пасічник, І. Ю. Формування системи автоматичного управління конкурентоспроможністю продукції / І. Ю. Пасічник, О.В. Фартушняк, Д.І. Цибулько // Радіоелектроніка та інформатика. – 2013. № 1(60). С. 45–52.

10. Прокудін, Г. С. Комп'ютерне моделювання термінальних вантажних перевезень / Г. С. Прокудін, М. Т. Дехтярук // Моделювання та інформаційні технології. – 2009. – № 2 (52). – Режим доступу: http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Mtit/2010_52/10.pdf.
11. Наумов, В. С. Методика формування альтернативних транспортно-технологічних систем доставки вантажів / В. С. Наумов, Н. С. Вітер // Математика и кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 5/4 (53). – С.16-19
12. Уотерс, Д. Логистика. Управление цепью поставок / Д. Уотерс. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503 с.
13. Формування ланцюга поставок: питання теорії і практики : монографія / Н. Чухрай, О. Гірна. – Львів: «Інтелект-Захід», 2007. – 237 с.
14. Шраменко, Н. Ю. Разработка имитационной модели функционирования грузового терминального комплекса / Н.Ю. Шраменко // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков, ХНАДУ. – 2010. – Вып. 27 – С. 77-82.
15. Нефьодов, М. А. Рационалізація транспортно-технологічних схем доставки дрібнопартійних вантажів / М. А. Нефьодов, Н. В. Потаман // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – 5/4 (65). – С.4-6.
16. Chang, Jiyoun C. Integrated Planning for Design and Production in Two-Stage Recycling Operations / Jiyoun C. Chang, Stephen C. Graves, Randolph E. Kirchain, Elsa A. Olivetti // European Journal of Operational Research Volume 273, Issue 2, 1 March 2018. Access Mode : URL : DOI: [org/10.1016/j.ejor.2018.08.022](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.022).
17. Disney, S. M. A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a Vendor Managed Inventory supply chain / Disney, S.M. and Towill, D.R // International Journal of Production Research. – 2002. Vol. 40, No. 1. Access Mode : URL : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540110072975>
18. Ivanov, D. Control and system-theoretic identification of the supply chain dynamics domain for planning, analysis, and adaptation of performance under uncertainty [Virtual Resource] / D. Ivanov, B. Sokolov European Journal of Operational Research // 2013. – 224(2). Access Mode : URL : DOI: [10.1016/j.ejor.2012.08.021](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.08.021).
19. Golubenko, A. Forming of logistical system of organization of freight transportations in megapolises / Aleksander Golubenko, Larysa Gubacheva, Aleksander Andreev // Transport Problems. – 2009. – Vol. 4, Issue 1, Part 2. pp. 97-103.
20. Kuzminskyj, R. The algorithm of modeling of receipt and service of orders processes with account of the necessity for compliance with warranty duration of repair / R. Kuzminskyj, I. Stukalets, A. Tatomyr // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in Agriculture. – 2015. – Vol. 15, No. 2. – pp. 89-94
21. Sergienko, I. V. Problems of discrete optimization: challenges and main approaches to solve them/ I. V. Sergienko, V. P. Shylo // Cybernetics and Systems Analysis. – 2006. – Vol. 42, No. 4, pp. 465-482.
22. Yoon Chang. Supply chain modeling using simulation / Yoon Chang, Harris Makatsoris // I. J. of SIMULATION. – 2009. – Vol. 2, № 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://scholar.google.com.ua/scholar?q>.

REFERENCES

1. Vasjanin, V. A. (2016). Komp'yuternoe modelirovanie raspredelenija i marshrutizacii diskretnyh mnogoproduktovyh potokov v kommunikacionnoj seti [Computer simulation of the distribution and routing of discrete multiproduct streams in a communication network]. *Upravljajushhie sistemy i mashiny – Control systems and machines*, 3, 43-53 [in Russian].
2. Gorjainov, A. N. (2006). Opredelenie ekonomicheskoj celesoobraznosti raboty uchastnikov logisticheskoy cepi [Determination of the economic feasibility of the work of participants in the logistics chain]. *Logistika. Problemy i reshenija – Logistics. Problems and Solutions*, 3(4), 31-37 [in Russian].
3. Dorosh, V. M. (2011). Analiz tipovykh transportno-tekhnologichnykh system dostavky shvydkopsuvnykh kharchovykh produktiv [Analysis of typical transport and technological systems for the delivery of perishable food products]. *Avtošlyakhovyk Ukrainy – Ukrainian Roadster*, 6, 17-22 [in Ukrainian].
4. Krykavs'kij, Y. & Kubiv I. (Eds.). (2008). *Ekonomika lohistychnykh system [Economics of logistics systems]*. L'viv : Natsional'nyy Universytet «L'viv's'ka politehnika» [in Ukrainian].

5. Kristofer, M. (2004). *Logistika i upravleniye tsepochkami postavok* [Logistics and Supply Chain Management]. V. S. Lukinskiy (Ed.). Saint Petersburg: Piter [in Russian].
6. Kutah, O. P. (2004). *Modelyuvannya transportnykh system* [Modeling of transport systems]. Kyiv. un-t ekonomiky i tekhnolohiy transportu [in Ukrainian].
7. Nikolyn, V. I. (1990). *Avtotransportnyy protsess i optimizatsiya yego elementov* [Automobile transport process and optimization of its elements]. M.: Transport [in Russian].
8. Oliskevich, M. S. (2010). Doslidzhennya struktury ta parametriv transportno-tekhnolohichnoyi systemy material'noho postachannya za umov prohnzovanoyi zminy popytu na produktsiyu [Investigation of the structure and parameters of the transport and technological system of material supply in the conditions of the predicted products demand change]. *Visnyk Skhidnoukr. nats. un-tu imeni Volodymyra Dalya – Visnyk of Volodymyr Dahl Easten Ukr. Nat. University*, 1(143), 254-259 [in Ukrainian].
9. Pasichnik, I. Yu. & Fartushniak, O.V. & Tsybulko, D.I. (2013). Formuvannya systemy avtomatychnoho upravlinnya konkurentospromozhnisty produktsiyi [Formation of the system of automatic control of the competitiveness of products]. *Radioelektronika ta informatyka – Radio electronics and informatics*, 1(143), 45–52 [in Ukrainian].
10. Prokudin, G. S. & Dekhtyaruk, M. T. (2009). Komp'yuterne modelyuvannya terminal'nykh vantazhnykh perevezhen [Computer modeling of terminal cargo transportation]. *Modelyuvannya ta informatsiyeni tekhnolohiyi – Modeling and information technologies*, 2 (52). Retrieved from http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Mtit/2010_52/10.pdf [in Ukrainian].
11. Naumov, V. S. (2011). Metod formuvannya al'ternatyvnykh transportno-tekhnolohichnykh system dostavky tovariv [Method of formation of alternative transport and technological systems of delivery of goods]. *Matematyka ta kibernetyka - fundamental'ni ta prykladni aspekty – Mathematics and cybernetics - fundamental and applied aspects. East European magazine of advanced technologies*, 5/4 (53), 6-19 [in Ukrainian].
12. Waters, D. (2003). *Logistica. Upravlenie cep'ju postavok* [Logistics. Supply Chain Management]. (V. N. Egoroph, Trans). Moscow: UNITI-DANA [in Russian].
13. Chukhrai, N. & Hirna, O. (2007). *Formuvannya lantsyuha postavok: pytannya teorii i praktyky* [Formation of the supply chain: questions of theory and practice]. L'viv: "Intellect-West", [in Ukrainian].
14. Shramenko, N. Yu. (2010). Razrabotka imitatsionnoy modeli funktsionirovaniya gruzovogo terminal'nogo kompleksa [Development of a simulation model for the functioning of a cargo terminal complex]. *Avtomobil'nyy transport – Automobile transport: Proceedings of the scientific review (issue 27)*, (pp. 77-82). Kharkiv: HNADU [in Russian].
15. Nefedov, M. A. & Potaman, N. V. (2013). Ratsionalizatsiya transportno-tekhnolohichnykh skhem dostavky dribnopartionnykh vantazhiv [Rationalization of transport and technological schemes of delivery of small packed cargo]. *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy – East-European Journal of Advanced Technologies*, 5/4 (65), – 4-6 [in Ukrainian].
16. Chang, C. Jiyoun & Graves, C. Stephen, & Randolph, E. Kirchain & Olivetti A. Elsa (2018), Integrated Planning for Design and Production in Two-Stage Recycling Operations *European Journal of Operational Research*, Volume 273. Issue 2. Part 1. Access Mode : URL : DOI: org/10.1016/j.ejor.2018.08.022.
17. Disney, S. M. & Towill, D. R. (2002). A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a Vendor Managed Inventory supply chain. *International Journal of Production Research*, (Vol. 40), 1. Retrieved from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540110072975>
18. Ivanov, D. & Sokolov, B. (2013). Control and system-theoretic identification of the supply chain dynamics domain for planning, analysis, and adaptation of performance under uncertainty [Virtual Resource] *European Journal of Operational Research*, 224(2). Access mode: DOI 10.1016/j.ejor.2012.08.021.
19. Golubenko, A. & Gubacheva, L. & Andreev, A. (2009), Forming of logistical system of organization of freight transportations in megapolises. *Transport Problems*, Vol. 4. Issue 1. Part 2. pp. 97-103.
20. Kuzminskyj, R. & Stukalets, I. & Tatomyr, A. (2015), The algorithm of modeling of receipt and service of orders processes with account of the necessity for compliance with warranty duration of repair. *TEKA. Commission of motorization and energetics in Agriculture*. Vol. 15. No. 2. pp. 89-94.
21. Sergienko, I. V. & Shylo, V. P. (2006), Problems of discrete optimization: challenges and main approaches to solve them. *Cybernetics and Systems Analysis*. Vol. 42. No. 4. pp. 465-482.

22. Chang, Y. & Makatsoris, H. (2009), Supply chain modeling using simulation *I. J. of simulation*. Vol. 2. No 1. Access mode : <http://scholar.google.com.ua/scholar?q>.

РЕФЕРАТ

Прокудін Г. С. Вплив структури транспортної системи на показники якості доставки вантажів у міжміському сполученні / Г.С. Прокудін, М.С. Оліскевич // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2019. – Вип. 1 (43).

В статті отримано залежності показників мінімальної гарантованої тривалості, затримок доставки та кількості вантажів в обігу великої магістральної транспортної системи з використанням автотранспорту.

Об'єкти дослідження – логістичні ланцюги великих транспортних систем, що мають різну степінь розгалуження і різну кількість вузлів сполучення.

Мета досліджень – удосконалити методіку структурного моделювання інтегрованих великих систем доставки вантажів, яка б, враховуючи нелінійний характер транспортної системи, давала можливість оцінити показники її ефективності, користуючись кількісними ознаками структури при заданому рівні інтенсивності матеріальних потоків.

Методи дослідження – нелінійне програмування, градієнтного спуску.

Ланцюги доставки тарних поштучних вантажів розглядаються у цій статті у сукупному дискретному матеріальному потоці від фази виробництва, пакування, складування, – через розподільчі пункти, а також через поетапне транспортування і аж до кінцевого споживача. Тут також застосовано принцип нерозривності такого потоку. Таким чином, логістичні операції є поєднані аналітичними залежностями, вхідними величинами яких є інтенсивність споживання товарів в усіх споживачів мережі, а вихідними параметрами є кількісні і якісні показники структури транспортної системи та показники ефективності й надійності доставки. Крім того, усі процеси розглядаються на елементарному рівні, найменшим неподільним елементом їх є чотири види елементарних операцій, що можуть мати різноманітне сполучення. Кожна операція оцінюється тривалістю, тактом, фронтом технічних засобів її виконання, розміром гурту об'єктів матеріального потоку. Структурний синтез логістичних ланцюгів з елементарних логістичних операцій здійснено на підставі отриманих змінних величин, які характеризують дискретні процеси в системі – такти виконання усіх логістичних операцій. У зв'язку з тим, що транспортні технології у цих дослідженнях залишались інваріантними, то такі показники, як розміри транспортних пакетів, необхідна місткість складів, вантажомісткість автомобільних транспортних засобів розглядались як константи. Це дало змогу сформулювати і розв'язати задачу оптимізації структури транспортної системи, за змінними параметрами розподілу матеріальних потоків. Встановлено, що коли в системі є розгалуження ланцюгів поставки, то це збільшує її потенціал для досягнення бажаної якості послуг при заданій інтенсивності потоків.

Розглянуто приклади трьох типових систем магістральної доставки вантажів, які відрізняються ступенем розгалуженості логістичних ланцюгів у ній. В якості структурних прикмет цих систем вибрано кількість різних елементарних операцій у них, а також відносну кількість зв'язків. Для оптимізації структури магістральної транспортної системи побудовано відповідні моделі, які відображають залежність критеріїв якості функціонування системи від розподілу потоків у ній. Оптимізація виконувалась ітераційно: від числового значення інтенсивності матеріального потоку і відповідних змінних показників структури, які є своєрідними крайовими умовами моделі – до максимального потоку, який може обслужити дана система, враховуючи обмеження на кількість і провізні спроможності транспортних засобів. Побудовано залежності цих критеріїв від інтенсивності сумарного матеріального потоку, який зумовлений сукупним попитом на постачання вантажів у міжміському сполученні. Завдяки можливості розгалуження вантажопотоків у них є можливості пристосуватись до змін вхідного потоку замовлень. Чим довші логістичні ланцюги, тобто чим вищі значення коефіцієнта горизонтальної концентрації і кількість операцій розподілу матеріальних потоків, натомість, чим менша кількість їх сполучень, тим більший діапазон інтенсивності сумарного вантажопотоку може обслужити така система.

Отримані залежності, як і методіку структурного моделювання й оптимізації можна використати для синтезу ефективної та надійної системи постачання товарів, враховуючи її інтегрованість з виробництвом, посередниками та розподільчими центрами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, МАГІСТРАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ, СТРУКТУРНА ОПТИМІЗАЦІЯ, НЕЛІНІЙНА МОДЕЛЬ

ABSTRACT

Prokudin G. S., Olishevich M. S. Influence of the structure of the transport system on indicators of quality of cargo delivery in intercity communication. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2019. – Issue 1 (43).

The dependences of indicators of minimum guaranteed delivery duration, of delivery delays and of cargoes in stocks of a large intercity transport system with use of motor transport are received in the article.

Objects of research are logistic chains of large transport systems which differ with branching degrees and with number of linking nodes.

The aim of the study is to improve the methodology of structural modelling of large integrated cargo delivery systems which, taking into account the nonlinear nature of them would allow to evaluate the indicators of its efficiency, using quantitative features of the structure at a given level of intensity of material flows.

Research methods are nonlinear programming, gradient descent method for nonsmooth separable minimization.

The delivery chains of packing piece cargoes are considered in this article as a part of cumulative discrete material flow starting at production phase passing through packaging, warehousing and through distribution station as well as through the multiphase transportation and up to the final consumer. The principle of continuity of such a flow is applied here too. Thus logistics operations are combined with analytical dependencies whose input values is intensity of goods consumption of all consumers of the network, and the initial parameters are quantitative and qualitative indicators of the structure of the transport system and indicators of efficiency and reliability of delivery. In addition, all processes are considered at primary level which the smallest indivisible elements of them are four types of elementary operations with a variable links. Each operation is evaluated by its duration, tact, front of the technical execution means, size of group of material objects flow. Structural synthesis of logistic chains of elementary logistic operations is carried out on the basis of the received variables which characterize discrete processes of the system namely the timing of all logistics operations. Due to the fact that transport technologies remained invariant in this case indicators of such schemas as the capacity of transport packages, required capacity of the warehouses, the cargo capacity of vehicles was considered as constants. This made it possible to formulate and solve the problem of transport system structure optimizing, with variable indicators of material flows distribution. It has been established that availability of branching of supply chains in a system increases its potential for reaching the desired quality of service at a given intensity of flows.

The case study of three typical long-distance systems of goods delivery which differ with degrees of branching of their logistic chains was considered. The number of different elementary operations of them as well as the relative number of connections is selected as the structural attribute of these systems. In order to optimize the structure of the intercity transport system the appropriate models have been constructed which reflect the dependence of criteria of system functioning quality from the distribution of flows in it. The optimization was carried out iteratively starting at certain minimum initial value of the material flow intensity, ending the value of maximum flow that can be served by this system taking into account the corresponding variables of the structure which are typical to the boundary conditions of the model and the limitations on the quantity and carrier capacity of vehicles. The dependence of these criteria on the intensity of the total material flow which is caused by the total demand for the goods supply in intercity traffic was constructed. Due to the possibility of freight traffic branching there is the opportunity to adapt them to changes of the input orders flow. The longer logistics chains, that is the higher the value of the horizontal concentration factor and the number of operations of the distribution of material flows, the smaller number of their combinations, the greater the range of total cargo flow can be served in such a system.

The obtained dependencies as well as the method of structural modeling and optimization can be used to synthesize an efficient and reliable system of supply of goods taking into account its integration with production, intermediaries and distribution centers.

KEYWORDS: TRANSPORT SYSTEM, LONG-DISTANCE TRANSPORTATION, FLOW DISTRIBUTION, STRUCTURAL OPTIMIZATION, NONLINEAR MODEL

РЕФЕРАТ

Прокудин Г. С. Влияние структуры транспортной системы на показатели качества доставки грузов в междугородном сообщении / Г.С. Прокудин, М.С. Олискевич // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2019. – Вып. 1 (43).

В статье получены зависимости показателей минимальной гарантированной продолжительности, задержек доставки и количества грузов в обращении большой магистральной транспортной системы с использованием автотранспорта.

Объекты исследования - логистические цепи больших транспортных систем, имеющих различную степень ветвления и разное количество узлов сопряжения.

Цель исследований - усовершенствовать методику структурного моделирования интегрированных крупных систем доставки грузов, которая, учитывая нелинейный характер транспортной системы, давала возможность оценить показатели ее эффективности, пользуясь количественным признакам структуры для заданного уровня интенсивности материальных потоков.

Методы исследования - нелинейное программирование, градиентного спуска.

Цепи доставки тарных штучных грузов рассматриваются в этой статье в совокупном дискретном материальном потоке от фазы производства, упаковки, складирования - через распределительные пункты, а также через поэтапное транспортирование до конечного потребителя. Здесь также применен принцип неразрывности такого потока. Таким образом, логистические операции объединены аналитическими зависимостями, входными величинами которых являются интенсивность потребления товаров всех потребителей сети, а выходными параметрами есть количественные и качественные показатели структуры транспортной системы, эффективности и надежности доставки. Кроме того, все процессы рассматриваются на элементарном уровне, наименьшими неделимыми элементами которых есть четыре вида элементарных операций, которые могут иметь разнообразное сочетание. Каждая операция оценивается продолжительностью, тактом, фронтом технических средств ее выполнения, размером группы объектов материального потока. Структурный синтез логистических цепей с элементарных логистических операций осуществлено на основании полученных переменных величин, характеризующих дискретные процессы в системе - тактов выполнения всех логистических операций. В связи с тем, что транспортные технологии в этих исследованиях оставались инвариантными, то такие показатели, как размеры транспортных пакетов, необходимая емкость складов, грузоместимость автомобильных транспортных средств рассматривались как константы. Это позволило сформулировать и решить задачу оптимизации структуры транспортной системы, по переменным параметрам распределения материальных потоков. Установлено, что когда в системе есть разветвления цепей поставки, то это увеличивает ее потенциал для достижения желаемого качества услуг при заданной интенсивности потоков.

Рассмотрены примеры трех типовых систем магистральной доставки грузов, которые отличаются степенью разветвленности логистических цепей в них. В качестве структурных примет этих систем выбрано количество различных элементарных операций, а также относительное количество связей между операциями. Для оптимизации структуры магистральной транспортной системы построены соответствующие модели, отражающие зависимость критериев качества функционирования системы от распределения потоков в ней. Оптимизация выполнялась итерационно, начиная от минимального числового значения интенсивности материального потока и соответствующих переменных показателей структуры, которые являются своеобразными краевыми условиями модели – до максимального потока, который может обслужить данная система, учитывая ограничения на количество и провозные способности транспортных средств. Построены зависимости этих критериев от интенсивности суммарного материального потока, который обусловлен совокупным спросом на поставку грузов в междугородном сообщении. Благодаря возможности разветвления грузопотоков у них есть возможности приспособиться к изменениям входного потока заказов. Чем длиннее логистические цепи, то есть чем выше значение коэффициента горизонтальной концентрации и количество операций распределения материальных потоков, зато чем меньше количество их сочетаний, тем больший диапазон интенсивности суммарного грузопотока может обслужить такая система.

Полученные зависимости, как и методику структурного моделирования и оптимизации можно использовать для синтеза эффективной и надежной системы поставки товаров, учитывая ее интегрированность с производством, посредниками и распределительными центрами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА, МАГИСТРАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ, СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ

АВТОРИ:

Прокудин Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: p_g_s@ukr.net, тел. +380633270243 Україна, 02000, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 437.

Оліскевич Мирослав Стефанович – кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, докторант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: myroslav@3g.ua, тел. +380677180457, Україна, 02000, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка 1, к. 437.

AUTHORS:

Prokudin Georgy Semenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transportation and Customs Control, e-mail: p_g_s@ukr.net, tel. +380633270243, Ukraine, 02000, Kyiv, Mikhaila Omelyanovich-Pavlenko Str., 1, room 437.

Oliskevich Miroslav Stefanovich, candidate of technical sciences, associate professor, National Transport University, doctoral student of the Department of International Transportation and Customs Control, e-mail: myroslav@3g.ua, tel. +380677180457, Ukraine, 02000, Kyiv, Mikhaila Omelyanovich-Pavlenko Str. 1, No. 437.

АВТОРЫ:

Прокудин Георгий Семенович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: p_g_s@ukr.net, тел. +380633270243 Украина, 02000, г. Киев, ул. Михаила Омеляновича-Павленко, 1, к. 437.

Олискевич Мирослав Стефанович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, докторант кафедры международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: myroslav@3g.ua, тел. +380677180457, Украина, 02000, г. Киев, ул. Михаила Омеляновича-Павленко 1, к. 437.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Таран Ігор Олександрович, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор Національний транспортний університет, Київ, Україна

REVIEWER:

Taran Igor Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University «Dniprovsk Polytechnica», Dnipro, Ukraine

Polishchuk Volodymyr Petrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine