

УДК 330.46:658.7

**Шарифов Ф.А.,
Кривицька Н. Ю.**
Національний авіаційний
університет

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНІ ЗАДАЧІ ПРИ ПЛАНУВАННІ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ

В статті шляхом рішення економіко-математичного завдання, пропонується системний підхід для підвищення ефективності планування ланцюга постачань

Постановка проблеми. В параметрах логістики домінуючою метою є найкраща організація переміщення матеріалів. Вимога "найкраща", як гіпотетично об'єднаний інформаційно-оптимізаційно-евристичний підхід до планування ланцюга постачань, є проектування, в якому доставка оптимальної кількості матеріалів від одного вузла до іншого здійснюється своєчасно, що і є запорукою успіху компанії. Всякого роду випадковості, що відбуваються насправді (наприклад - затримка або нестача), впливають негативно на досягнення таких показників як прибуток, доходи та активи і так далі. Тому вважається, що обумовленість своєчасної доставки матеріалів, призводить до принципу планування постачань згідно концепції "точно в строк"(англ. just in time - JIT, см в [1]). Згідно з цим принципом усі види діяльності організуються таким чином, щоб вони здійснювалися точно в той термін, коли це необхідно. Іншими словами вони не виконуються дуже рано (що позитивно впливає на економію складських витрат і площ), і вони не виконуються надто пізно.

Стратегія "точно в строк" здається очевидною ідеєю, але саме вона здатна мати сильний вплив на спосіб організації руху матеріалів, які потрібні для випуску готової продукції. Традиційний спосіб припускає здійснення закупівлі або постачання необхідних матеріалів заздалегідь, при цьому вони зберігаються на складах до тих пір, поки не будуть використані для виробництва.

Основна мета накопичення запасів - це мати їх резервний об'єм між певними технологічними операціями. Накопичення запасів типове для тих періодів, коли технологічні операції відбуваються нормально, з метою подальшого їх використання при виникненні проблем. Зрозуміло, що накопичення запасів вимагає певних витрат, що обумовлено у багатьох випадках відсутністю необхідної інформації для ухвалення конкретних рішень стосовно організації випуску готової продукції.

Питання рішення завдань планування ланцюга постачань розглянуті в працях Анікіна Б. А., Бауэрсокса Д. Дж., Бочкарева А. А., Будриной Є. В., Герамі В. Д., Григоряна М. Г., Гудкова В. А., Зайцева Е. И., Клоса Дж. Д., Королеви Е. А., Курганова В. М., Ламберта Д. М., Лукинського В. В., Лукинського В. С., Малевича Ю. В., Миротина Л. Б., Некрасова А. Г., Николашина В. М., Николина С. М., Рижикова Ю. І., Сергєєва В. И., Сидорова И. И., Стока Дж. Р., Уварова С. А., Тяпухина А. П., Шапиро Дж., Щербакова В. В. та ін. На сьогодні накопичений досвід управління ланцюгами постачань, що міститься в роботах В. Дибської, А. Гаджинського, В. Николайчук, В. Сергєєва, А. Тяпухана і інших авторів.

Менеджери, які дотримуються традиційних підходів, вважають, що запаси - це важливий елемент в системі управління ланцюгами постачань. При цьому система контролю запасів, як правило, встановлює досить високі рівні запасів, що б завжди можна було уникнути можливих проблем і збоїв. На жаль, з урахуванням досить нерівномірних і широких коливань попиту, а також характеру можливих проблем, об'єм цих запасів може бути занадто високим, що веде до збільшення витрат компанії, але при цьому очевидно, що чим вище буде забезпечена міра відповідності між постачаннями матеріалів і попитом на них, тим менше запасів знадобиться.

Метою статті є постановка і вирішення економіко-математичного завдання при плануванні ланцюга постачань. Одне з основних завдань, яке виникає при плануванні ланцюга постачань, є уточненням відповідності між постачаннями і попитом, що тягне за собою істотне зменшення або усунення необхідності підтримки рівня запасів.

Виклад основного матеріалу. Концепція ЛІТ повною мірою покладається на постачальників на основі довгострокових угод. Тому основною характеристикою надійності функціонування ланцюга постачань при їх проектуванні з вузлами постачальників, вибраних із заданої множини, являється зменшення або усунення рівня запасів. Один із способів для зменшення або усунення рівня запасів складається з якісного вибору вузлів і числа каналів ланцюга постачань, упродовж тривалого часу, які можуть гарантувати своєчасність доставки необхідних матеріалів. У цій статті наводиться економіко-математична модель завдання визначення структури ланцюга постачань, що відповідає цим якостям (характеристикам). Слід зазначити, що якщо в завданні йдеться про створення ланцюга постачань для виробництва одного типу продукції, то в результаті застосування цієї моделі на практиці, можна оптимізувати рівень запасів. У тих випадках, коли йдеться про випуск безлічі типів продукції, то в результаті застосування цієї моделі, рівень запасів можна істотно зменшити. Таким чином, ця модель дозволить в обох випадках зменшити витрати на зміст запасів.

Очевидно, що математична модель даного завдання може бути сформульована на мові детермінованих термінів, після виявлення тих

чинників, сукупність яких адекватно відповідає відміченим вище характеристикам надійності функціонування ланцюга постачань. Для виявлення цих чинників, розглянемо випадок, коли необхідно організувати виробництва деякого продукту, виготовлення якого вимагає m видів матеріалів.

При виробництві подібного типу продукту, обумовленим m різними видами матеріалів виникає низка запитань : яким чином вибрати постачальника для своєчасного забезпечення комплектуючими; яка має бути структура ланцюга постачань для постачання необхідних комплектуючих? Подібні завдання обговорювалися в численних роботах [1]. Наприклад, у зв'язку з реорганізацією державного резерву, фахівцями федерального агентства Росії опубліковано декілька статей, в яких проведено аналіз ієрархічної структури ланцюга постачань між постачальниками різних рівнів. Деякі з цих статей можна знайти навіть в періодичних виданнях, наприклад см [5]. Великий інтерес до цих завдань пояснюється саме тим, що вони зустрічаються не лише в теоретичній економіці, але і в практиці виробництва і управління. На відміну від цих робіт, в цій статті вказані вище питання зводяться до завдання проектування надійно функціонуючих ланцюгів постачань, рішення якої може бути знайдене за допомогою ефективного алгоритму [3].

Очевидно, що надійність функціонування ланцюга постачань має на увазі існування великої кількості каналів для постачань деяких матеріалів від одного і того ж постачальника, а також можливість набуття усього необхідного обсягу матеріалів по одному на кожного постачальника у випадку відсутності різних матеріалів у постачальників.

Найпростіший і найбільш логічний метод для вибору вузлів (постачальників) мережі, що проектується полягає в аналізі комерційної діяльності усіх потенційних постачальників. Оскільки в реальній дійсності стабільність показників комерційної діяльності постачальників рідко зберігається впродовж тривалих періодів часу, запропонований метод побудови оптимізаційної моделі слід застосувати для ухвалення рішення відносно обмеженого періоду часу. Аргументом на користь використання цього методу для обмеженого періоду часу на практиці, є та обставина, що її застосування в кожному з періодів, що регулярно повторюються в часі, не вимагає особливих витрат. При цьому тривалість T кожного періоду можна визначити як час стаціонарності деяких базових показників комерційної діяльності постачальників (табл. 1). Наприклад, у багатьох випадках значення показників, наведених в табл. 1, не можуть істотно коливатися впродовж півроку ($T=0,5r$). Тому, впродовж цього періоду для здійснення постачання необхідних матеріалів у будь-який момент часу можна застосувати запропонований метод.

Таблиця 1

Перелік показників для оцінки комерційної діяльності постачальників

Фактор	p_1	p_2	...	p_n
1. Претензії до якості продукції	p_{11}	p_{12}	...	p_{1n}
2. Ціна матеріалу у постачальника	p_{21}	p_{21}	...	p_{2n}
3. Вартість виконання замовлення				
4. Торгові витрати				
5. Час постачань				
6. Участь в роботі товарних бірж і оптових ярмарків				
7. Перевитрата інструментів				
8. Заповнення доопрацювань				
9. Виявлення проблем і можливості	p_{91}	p_{92}	...	p_{9n}

Припустимо, що в інтервалі часу T значення показників, вказаних в табл. 1, для заданих n постачальників залишаються стабільними або трохи змінюються. При цьому кожен постачальник характеризується власною безліччю матеріалів P_j , ($j=1 \dots n$). Оцінка комерційної діяльності будь-якого підприємства в рамках цільового управління головним чином проводиться по чотирьох базовим параметрам: терміни, ресурси, кількість і якість [2]. На основі цих показників може бути створений перелік чинників для оцінки діяльності постачальників. У статті пропонується перелік, що складається з дев'яти пунктів ($K=9$, см. табл.1). Такі показники дозволяють визначити, хоча і не до кінця, основу (формула 1), необхідну для того, щоб оцінити і чисельно виразити інтуїтивне розуміння досліджуваного процесу, згідно якому обчислюється ентропія як міра невизначеності властива в комерційній діяльності потенційних постачальників j .

$$EP_j = \sum_{k=1}^K p_{kj} \log p_{kj}, \quad (1)$$

Хоча ентропія є визнаною характеристикою міри невизначеності будь-якої системи, проте для ухвалення належного рішення по постачанню окремих видів матеріалів, з урахуванням того, що коефіцієнт готовності одного і того ж матеріалу в окремі моменти часу можуть бути різний, слід встановити перевагу серед постачальників у будь-який момент часу $t \in [0, T]$.

Підвищення якості рішень, що приймаються, можна здійснити на базі аналізу параметра, що характеризує конкурентоздатність кожного матеріалу, що містить у власній безлічі різних постачальників у момент часу $t \in [0, T]$. Для визначення значення $\mu_{ij}(t)$ можна використати графік розподілу вірогідності змін конкурентоздатності матеріалу виду i відносно постачальника j впродовж періоду T . Використання EP_j , с вагами (2) може

істотно поліпшити якість ухвалення рішення при придбанні матеріалу виду i у момент часу $t \in [0, T]$

$$\gamma_{ij}(t) = \frac{1}{1 + \mu_{ij}(t)} \quad (2)$$

Дійсно, якщо власна безліч постачальника P_j , не містить матеріал виду i , тоді $\mu_{ij}(t) = 0$, тоді для таких постачальників отримуємо $\gamma_{ij}(t) = 1$.

Оскільки в загальному випадку $\mu_{ij}(t) > 0$ тоді для всіх видів матеріалів i постачальників $0 < \gamma_{ij}(t) \leq 1$

Зрозуміло, що чим більше $\gamma_{ij}(t)$, тим постачальник j менш прийнятний при придбанні матеріалу виду i . По цьому величину називатимемо приведеною перевагою постачальника (3) при придбанні матеріалу виду i .

$$h_{ij}(t) = \frac{1}{K} \gamma_{ij}(t) EP_j \quad (3)$$

Таким чином, отримуємо, що найкращим постачальником j при придбанні матеріалу виду i , є постачальник, для якого значення параметра $h_{ij}(t)$ мінімальне.

Згідно концепції ЛТ постачання матеріалів організовується за їх необхідності, тобто варіанти руху матеріалів в окремі моменти часу не залежать від попередніх варіантів їх руху. Тому при формулюванні завдання надійності постачань в окремі моменти часу, слід враховувати параметр t для обчислення значень $h_{ij}(t)$. Тому для спрощення індекс t в параметрах завдання ігноруватимемо.

Для опису завдання, безліч усіх видів матеріалів, потрібних для виготовлення наміченого продукту, позначимо через U . При цьому вважатимемо, що усім m видам матеріалів присвоєний індекс від 1 до m . Безліч усіх потенційних постачальників позначимо, як V , де $V = \{1, 2, \dots, n\}$.

При цьому припускаємо, що $n \geq m$, а також поняття каналу ототожнюється наявністю відповідного виду матеріалу у постачальника, а саме, якщо власна безліч матеріалів постачальника $j \in V$ містить матеріал виду $i \in U$, це означає існування каналу (ребра) (i, j) в логістичній схемі ланцюга постачань. Таким чином, безліч усіх можливих каналів, в логістичній схемі ланцюга постачань задається множиною

$$E = \{(i, j), \text{ якщо власна множина матеріалів постачальника } j \in V \text{ вміщує матеріал виду } i \in U\}.$$

У цих позначеннях для надійності функціонування ланцюгів постачань, в якості вузлів логістичної схеми ланцюга постачань досить вибрати m постачальників серед потенційних. Нехай постачальники з підмножини N ($|N|=m$) множини V є вузлами логістичної схеми ланцюга постачань. В цьому випадку, природно, що для надійності функціонування ланцюга постачань в її логістичну схему необхідно включити всі можливі канали між елементами множини U та $N \subset V$. Таким чином, структура логістичної схеми ланцюга постачань однозначно визначається множиною N , як тільки N вибрано в якості вузлів ланцюга постачань. За визначенням множина E , в логістичній схемі ланцюга постачань існує канал між елементами $i \in U$ та $j \in V$, якщо власна множина матеріалів постачальника j містить матеріал виду i . Тому структура логістичної схеми ланцюга постачань також однозначно визначається за допомогою множини

$$A = \{(i, j) : i \in U, j \in N, (i, j) \in E\}.$$

Такий зв'язок логістичної схеми з множинами N та A дозволяє сформулювати завдання планування ланцюга постачань з урахуванням надійності її функціонування в режимі ЛТ, як комбінаторне завдання, шляхом рішення яке може бути визначене як множина N , так і множини A .

При вище вказаних параметрах величина $\prod_{(i, j) \in A} h_{ij}$ виражає загальної переваги вибраних постачальників (підмножини A). Іншими словами можна вважати, що $\prod_{(i, j) \in A} h_{ij}$ представляє міру невизначеності в поведінці потенційних постачальників що входять підмножини A . Нехай-функція $\sigma_t(A)$, визначена на підмножинах множини E (4).

$$\sigma(A) = \prod_{(i, j) \in A} h_{ij}, \quad A \subset E \quad (4)$$

Таким чином, згідно з визначенням каналів, логістична схема надійно функціонуючого ланцюга постачань визначається підмножиною A , що задовольняє наступні умови:

- а) підмножина $A = \{(i, j) : i \in U, j \in N, (i, j) \in E\}$ вміщує m попарно не інцидентні ребра;
- б) множина U та підмножина $N_* \subset V$ є безліччю кінцевих вершин ребер з A_* , де $|N_*| = m$
- с) значення $\sigma(A_*) \leq \sigma(A)$ для усіх непорожніх підмножин $A = \{(i, j) : i \in U, j \in N, |N| = m, (i, j) \in E\}$

Іншими словами, для визначення підмножини ребер A необхідно знайти $\min_{ACE} \sigma(A)$ за умов а) і б).

Надалі покажемо, що використовуючи результатів роботи [3], обмеження (а) та (б) можуть бути представлені у вигляді лінійних рівностей або нерівностей. Спочатку, відмітимо наступний простий факт. Оскільки $0 < h_{ij} \leq 1$ за визначенням параметрів h_{ij} , тоді $\log h_{ij} \leq 0$, або $c_{ij} = -$

$\log h_{ij} \geq 0$. Тому цільова функція $\min_{ACE} \sigma(A)$ може бути замінена на функцію $\min_{ACE} f(A)$, де

$$f(A) = -\log \sigma(A) = -\log \prod_{(i,j) \in A} h_{ij} = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}, \text{ для всіх } A \subset E.$$

Нехай G дводольний граф з множинами U, V вершин кожної долі і безліччю ребер E . Нехай величини $c_{ij} \in$ вагами ребер $(i, j) \in E$. У цих позначеннях завдання, що пропонується вище еквівалентне завданню знаходження підграфа графа G , що має максимальну сумарну вагу його ребер і містить m попарно не інцидентних ребер (паросполучення) з

У роботі [3] доведено, що дводольний граф G містить попарно не інцидентні ребра із E тоді і тільки тоді, коли наступна система рівнянь і нерівностей рішення формули 5-7 на дводольному графові G . Тут $deg(j)$ та $deg(i)$ означають міри вершин $j \in V$ та $i \in V$ тобто $deg(j)$ та $deg(i)$ - числа інцидентних ребер с вершинами $j \in V$ та $i \in V$.

$$\sum_{i:(i,j) \in E} z_{ij} = deg(j) - 1, \quad j \in V, \quad (5)$$

$$\sum_{j:(i,j) \in E} z_{ij} = deg(i) - 1, \quad i \in V, \quad (6)$$

$$0 \leq z_{ij} \leq 1, \quad (i, j) \in E. \quad (7)$$

Наступний простий факт полягає в тому, що якщо в графі G існує m попарно не інцидентних ребер, то існує дводольний підграф G_0 графа G , з множиною вершин U та $N \subset V$ кожної долі, який також містить m попарно не інцидентних ребер.

На основі цих фактів математичну модель завдання можна представити в наступному виді: знайти

$$\max \sum_{(ij) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{(ij) \in E} z_{ij} - \sum_{(ij) \in E} y_{ij} = 1, \quad i \in U, \quad (9)$$

$$\sum_{(ij) \in E} z_{ij} - \sum_{(ij) \in E} c_{ij} x_{ij} = x_j, \quad j \in V, \quad (10)$$

$$m - \sum_{j \in V} x_j = 0, \quad (11)$$

$$z_{ij} \leq x_{ij}, \quad (i, j) \in E, \quad (12)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, 0 \leq x_j \leq 1, 0 \leq z_{ij} \leq 1, 0 \leq y_{ij} \leq 1, (i, j) \in E, j \in V, \quad (13)$$

$$x_{ij}, x_j, y_{ij}, z_{ij} = 0 \text{ або } 1. \quad (14)$$

Для того, що б переконається, дійсне обмеження (9) -(14) описують багатоканальні ланцюги постачань для випуску необхідної продукції, що вимагає m видів матеріалів, розглянемо структуру логістичної схеми ланцюга постачань, що визначається підмножиною вершин $N \subset V$ або підмножиною ребер $A = \{(i,j) : i \in U, j \in N, (i,j) \in E\}$.

Відносно множин N та A визначимо значення змінних завдання таким чином:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо ребра } (i, j) \in A \\ 0, \text{ в іншому випадку } \end{cases}, \quad (15)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } (i, j) \in A \text{ та } \sum_{i \wedge (i,j) \in E} y_{ij} < \text{deg} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \quad (16)$$

$$x_j = \begin{cases} 1, \text{ при } j \in N \\ 0, \text{ при } j \in V \end{cases}. \quad (17)$$

Не важко перевірити, що вказані значення змінних z_{ij} , y_{ij} та x_j задовольняють обмеженням (9) -(14), тобто по безлічі вершин N та ребер A можна визначити допустиме рішення задачі (8) -(14), і зворотне твердження також вірне.

Таким чином, впродовж періоду $[0, T]$ для ухвалення рішення про придбання m матеріалів у момент часу $t \in [0, T]$, треба лише вичислити величини $h_{ij}(t)$, потім шляхом рішення задачі (9) -(14) визначити список постачальників, яким надається перевага. У праці [3] показано, що значення базисних рішень лінійної релаксації (9) -(14) дорівнюють 0 або 1. Тобто в оптимальному рішенні задачі лінійного програмування (9) -(14) (без умови(15)) всі змінні завдання приймають значенні 0 або 1. На базі цієї властивості запропоновано ефективний алгоритм рішення задачі (9) -(15), за допомогою якого це завдання з декілька сотень тисячами потенційних постачальників і декілька тисяч видів потрібних матеріалів, може бути вирішена за декілька хвилин в двох і більше ядерних комп'ютерах.

Ми розглянули завдання планування ланцюга постачань, що функціонує в режимі JIT при організації виробництва деякого продукту, виготовленого з m ($m > 1$) матеріалів. Таке ж завдання також виникає при плануванні ланцюга постачань з метою зменшення запасів, коли йдеться про виробництво m різних видів продукції, що вимагає все m різних матеріалів. В цьому випадку вершини з множини U представляють різні m види продукції, а існування будь-яких попарно не інцидентних m ребер з множини A , еквівалентне тому, що у будь-який момент всі m різні види матеріалу можуть бути поставлені в ланцюзі постачань, внаслідок чого рівень запасів істотно знижується.

Висновки. Відмітимо, що дане завдання також виникає у вигляді підзадачі або основного завдання в інших областях. Наприклад, в роботі [4] це завдання виникає як підзадача при складанні оптимального розкладу для роботи водіїв в туристичних агентствах. В якості основного завдання, вона може застосовуватися також при підготовці фахівців з урахуванням їх майбутньої потреби на ринку праці. У цьому завданні в якості постачальників слід розглядати учбові заклади.

Список використаних джерел

1. Хендфилд Р. Реорганизация цепей поставок. Создание интегрированных систем формирования ценности / Хендфилд Роберт Б., Николс Эрнест Л.Мл. – М.: Вильямс, 2003- 416с.
2. Моррисей Дж. Целевое управление организацией./ Дж. Моррисей. – М., 1979. – 143с.
3. Sharifov F. Perfectly matchable subgraph problem on a bipartite graph. RAIRO / F. Sharifov. //Operation Research, 2010. - №40. – P. 27-42
4. Balas E. The perfectly Matchable Subgraph Polytope of an arbitrary graph. / E. Balas, W. R. Pulleyblank //Networks. - 1983. – 12. - P. 419-516.
5. Ларин О.Н. Транспортные потоки / Ларин О.Н. // Информационно- аналитическая газета.- 2001.- № 4. – С. 4-7.

УДК 339.137.44

Ставнійчук Т.А.

Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана

ЭФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ АНТИДЕМПІНГОВИХ ЗАХОДІВ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Розглянуто ефективність застосування антидемпінгових заходів, подано оцінку їх переваг, як інструменту протекціоністської підтримки національного товаровиробника та недоліки конкурентоспроможності, як імпортера.

Постановка проблеми. Наразі, не дивлячись на досягнення теоретичних розробок антидемпінгового регулювання зарубіжних та українських вчених: Є. Савельєва, О.М. Гребешкова, Т.М. Циганкової,