

УДК 656.13:658

А.І. Сухомлінов

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

МОДЕЛЮВАННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО ПОТОКУ У ВИРОБНИЧІЙ ЛОГІСТИЦІ

В статті формулюються вимоги до моделі матеріального потоку для використання при проектуванні та розробці логістичних інформаційних систем. В статті розроблена модель матеріального потоку, яка відповідає сформованим вимогам. Запропонована модель матеріального потоку вводить такі терміни як структура та обсяг матеріального потоку, потокові функції виробничих об'єктів, операції над матеріальним потоком (злиття, розширення, перенаправлення та інші). Запропонована модель не прив'язується до конкретної галузі виробництва і є загальною для виробничої логістики. При розробці моделі була використана теорія мультимножин.

Ключові слова: виробнича логістика; логістична інформаційна система; матеріальний потік; обсяг матеріального потоку; структура матеріального потоку; мультимножина; потокові функції; операції над матеріальним потоком.

Вступ

Сучасна вітчизняна логістика знаходиться під значним впливом західних фахівців, чий моделі і методи довели свою успішність в умовах сучасної ринкової економіки. Але ці моделі і методи доволі часто є не ефективними в інших умовах, зокрема в умовах перехідних економік, до яких належать економіки України, Росії та інших країн СНД. Як зазначає автор одного з найпопулярніших підручників з логістики на теренах колишнього Радянського Союзу [1] "моделі західної логістики не завжди підходять до вітчизняної практики господарювання. Логістичні системи – це живі системи, які не можна розглядати поза органічного зв'язку з оточуючим середовищем. Стратегія копіювання західних систем – це стратегія відомого, але не лідера. Впроваджувати у вітчизняну економіку необхідно, в першу чергу, філософію логістики, що дозволяє різко підвищити ефективність процесів, що складаються саме в наших умовах."

Виробнича логістика є невід'ємною складовою виробничого процесу. Знання сучасної логістики дозволяє ефективного організувати переміщення сировини, деталей і т.п. під час виробничого процесу. Це переміщення в логістиці прийнято називати матеріальним потоком. Ефективне управління матеріальним потоком можливе тільки за наявності інформаційного потоку, що повинен супроводжувати матеріальний потік. Завдяки розвитку інформаційних технологій стала можливою побудова логістичних інформаційних систем (ЛІС), які підтримують та аналізують інформаційний супроводжувальний потік, а також можуть виробляти рішення з управління матеріальним потоком. Ефективність таких інформаційних систем залежить, з однієї сторони, від якості логістичних моделей, з іншої, від якості програмної реалізації. Але в першу чергу ефектив-

ність залежить від якості управлінської реалізації – продуманого та цілеспрямованого впровадження ЛІС у виробничий процес.

Центральною моделлю логістики, на думку автора, є модель матеріального потоку. Дуже часто при проектуванні ЛІС не надається формалізована модель матеріального потоку, а формулюються тільки вимоги до супроводжувального потоку. Тому на етапі розробки ЛІС програмісти вимушені на підставі вимог до супроводжувального потоку формулювати та використовувати "інтуїтивну модель" матеріального потоку, яка виникає в уяві програмістів "сама собою".

Метою статті є розробка моделі матеріального потоку у виробничій логістиці призначеної для використання при проектуванні, розробці та експлуатації ЛІС.

1. Постановка задачі

З точки зору системології [2] штучна система (ШС) проходить чотири етапи:

- етап усвідомлення потреби наявності відповідної ШС для розв'язання конкретних задач власника проблеми;
- етап створення ШС;
- етап експлуатації ШС;
- етап руйнування (виведення з експлуатації) ШС.

На певному етапі розвитку підприємства зі складним виробництвом або з великим обсягом виробництва, виникає усвідомлення необхідності впровадження ЛІС у виробничий процес. При цьому формуються функціональні вимоги до ЛІС, визначається обладнання необхідне для її функціонування, терміни розробки та впровадження системи. Розробка ЛІС ґрунтується на певних інформаційних технологіях, таких як інженерія вимог до програмного продукту, концептуальне моделювання прикладної

галузі, методи аналізу та опрацювання даних, бази даних, клієнт-серверні та розподілені системи та інші. Найбільш теоретично складною з них є концептуальне моделювання прикладної галузі. Наукові дослідження у цьому напрямку ведуться з 60-х років минулого століття. В індустрії інформаційних технологій розроблено кілька стандартів моделювання (DFD, IDEF0 та інші), розроблені мови моделювання (наприклад UML), створені програмні засоби підтримки моделювання бізнес-процесів (наприклад BPWin). Етап концептуального моделювання передбачає розробку моделей об'єктів та процесів предметної галузі. Накопичений десятиліттями досвід розробки та впровадження інформаційних систем передбачає залучення до етапу концептуального моделювання трьох груп фахівців: фахівців з предметної галузі (логістів), бізнес-аналітиків, розробників програмного забезпечення.

Задачею цього дослідження є розробка моделі матеріального потоку у логістиці (виробничій логістиці) орієнтованої на застосування у інформаційних системах, зокрема в ЛІС. Модель повинна відповідати таким вимогам:

- мати алгоритмічну реалізацію;
- бути придатною для використання у виробничій логістиці будь-якої галузі економіки;
- бути простою і зрозумілою для розробників програмного забезпечення, бізнес-аналітиків, фахівців з логістики та менеджерів.

2. Матеріальний потік та його вимір

Для визначення матеріального потоку в логістиці скористаємось апаратом мультимножин [3]. У якості базової множини візьмемо скінчену множину $U = \{x_1, x_2, \dots\}$, елементами якої є всі ті види продукції та сировини, які можуть бути присутні у матеріальному потоці. Кожен з цих елементів характеризується своєю одиницею виміру. Для забезпечення скінченності множини U будемо в неї включати тільки ті види сировини та продукції які реально існують, використовуються саме в тій галузі виробництва, що розглядається, а також ті види продукції і сировини, поява яких планується в цій галузі виробництва. Множину U також будемо називати сортовою, а його елементи – сортом.

Тепер матеріальний потік M можна представити як мультимножину:

$$M = \{k_{M1} \bullet x_1, k_{M2} \bullet x_2, \dots\}, \quad x_i \in U. \quad (1)$$

Відповідно до термінології теорії мультимножин [3] $k_{Mi} \bullet x_i$ називається компонентою мультимножини M , а функція k_M , значення якої $k_M(x_i) = k_{Mi}$ визначає кількість входжень елемента $x_i \in U$ у мультимножину M , називається вагою елемента x_i у M або функцією кратності.

Тепер можна визначити обсяг матеріального потоку V наступним чином:

$$V = \sum_{i=1}^N k_{Mi}, \quad (2)$$

де $N = |U|$ – потужність множини U .

Структуру матеріального потоку S визначимо як кортеж з N елементів:

$$S = \langle n_1, n_2, \dots, n_N \rangle, \quad (3)$$

де $n_i = \frac{k_{Mi}}{V}$ – доля i -го елемента у обсязі матеріального потоку.

Визначені в (2) та (3) обсяг та структуру матеріального потоку будемо надалі називати загальними або сортовими.

Для можливості подальшого економічного аналізу матеріального потоку доцільно ввести також оцінку його вартості (вартісний обсяг матеріального потоку), як суму вартості компонентів з яких він складається:

$$\Omega = \sum_{i=1}^N p_i k_{Mi}, \quad (4)$$

де Ω – вартість матеріального потоку, p_i – ціна одиниці виміру елемента множини $x_i \in U$, k_{Mi} та N мають такий самий сенс, що і в (1) та (2).

Відповідно, вартісну структуру матеріального потоку S_ω визначимо як кортеж, елементами якого будуть долі вартості кожного з елементів множини $x_i \in U$:

$$S_\omega = \langle \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N \rangle, \quad (5)$$

де $\omega_i = \frac{p_i k_{Mi}}{\Omega}$ – доля вартості i -го елемента множини $x_i \in U$.

Крім сортових та вартісних обсягів і структур матеріального потоку необхідно, як мінімум, визначити вагові та об'ємні обсяги та структури матеріального потоку. Вони визначаються аналогічно вартісних обсягів (4) та структурі (5) матеріального потоку. Введемо також підмножину $Q_M \subseteq U$, таку що $(\forall x_i \in Q_M) : k_{Mi} > 0$ яку будемо називати якісним складом матеріального потоку M .

Розглянемо тепер матеріальний потік між двома об'єктами виробничого процесу, такими як склад, цех і т.п. Об'єкт, що є джерелом матеріального потоку позначимо через d , а об'єкт, в якому відбувається поглинання потоку, через b . Будемо також назвати ці об'єкти постачальником та споживачем відповідно.

Через $M_{d \rightarrow b}(t_0)$ будемо позначати вихідний потік з d в b відправлений в момент t_0 . Через $M_{b \leftarrow d}(t_0)$ будемо позначати вхідний потік в точку

споживання b , що надійшов з джерела d в момент t_0 .

Через $D = \{d_i\}$ позначимо всю сукупність об'єктів, що є джерелами матеріальних потоків, через $B = \{b_j\}$ всю сукупність об'єктів, що є споживачами, а через O всю сукупність об'єктів, що належать до виробничого процесу. Зрозуміло, що у загальному випадку $D \subseteq O$ і $B \subseteq O$. Це означає, що існують об'єкти виробничого процесу, які одночасно є і постачальниками і споживачами, тобто:

$$\exists o \in O : (o \in D, o \in B).$$

3. Потоківі функції

Відносно до матеріального потоку будь-який об'єкт виробничого процесу може виконувати три функції:

- управляючу;
- зберігаючу;
- перетворюючу.

Управляюча функція полягає в тому, що об'єкт $o \in O$ сприймає один або кілька потоків (виступає як споживач) і продукує один або кілька потоків (виступає як джерело). При цьому сукупний вхідний потік дорівнює сукупному вихідному потоку:

$$\sum_{i=1}^I M_{d_i \rightarrow o} = \sum_{j=1}^J M_{o \rightarrow b_j}$$

або

$$M_{D \rightarrow o} = M_{o \rightarrow B},$$

де $J = |B|$ – потужності множин об'єктів-постачальників та об'єктів-споживачів відповідно.

Зберігаюча функція полягає в тому, що об'єкт $o \in O$ має можливість зберігати елементи матеріального потоку. Ця можливість описується такою характеристикою об'єкта як *зберігаюча здатність* або *ємність*. Ємність об'єкта для різних видів елементів $x \in U$, у загальному випадку, є різною. Більш того, вся множина U може бути розбита на певну кількість підмножин, що не перетинаються за ознакою вимог до зберігання.

Тобто,

$$U = \bigcup_{i=1}^K Z_i \quad \text{і} \quad Z_i \cap Z_j = \emptyset \quad (6)$$

для будь-яких $i, j \in [1, K]$, $i \neq j$, де K – кількість підмножин, на які розбивається U за вимогами до зберігання, а Z_i та Z_j – непересічні між собою підмножини U за вимогами до зберігання.

Розглянемо приклад розбиття сортової множини U на підмножини за вимогою до зберігання. Хай сортова множина складається з п'яти елементів. $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ і розбивається на дві підмножини $Z_1 = \{x_1, x_2\}$ та $Z_2 = \{x_3, x_4, x_5\}$. Z_1 та Z_2 відповідають (6).

При цьому, наприклад, виявляється, що для зберігання двох одиниць сорту x_1 та п'яти одиниць сорту x_2 потрібен однаковий ресурс. Якщо розмір ресурсу необхідний для зберігання одиниці сорту x_2 взяти у якості базової величини для Z_1 , то кожному сорту з яких складається Z_1 можна поставити у відповідність число $\chi \geq 1$, яке будемо називати питомою ємністю одиниці сорту, або просто ємністю сорту. Для нашого прикладу питома ємність для сорту x_1 складає 2.5, а для сорту x_2 – рівно одиниця. При цьому x_2 будемо називати базовим елементом (сортом) для вимірювання у Z_1 , і вибирати у якості базового елемента будемо той, для зберігання якого необхідний мінімальний ресурс. Також введемо функцію

$$\chi(x_i), \quad (7)$$

яка буде визначати питому ємність для відповідного сорту у питомих ємностях базового сорту. Так для сорту x_1 маємо $\chi(x_1) = 2.5$.

Створимо множину Z , елементами якої будуть визначені в (6) підмножини множини U , тобто $Z = \{Z_i\}$. Тепер можна задати графік (загальний) на відношенні $U \times Z$, який ставить у відповідність кожному елементу U елемент множини Z :

$$G = \{\langle x_i, Z_j \rangle\}. \quad (8)$$

Крім цього необхідно визначити базові елементи для кожного Z_i . Це можна зробити визначивши базовий графік як підмножину загального графіка

$$G_b \subseteq G, \quad (9)$$

де для кожного елемента Z є один і тільки один кортеж.

Для наведеного вище прикладу, де множина U складається з п'яти елементів $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, множина Z буде $Z = \{Z_1, Z_2\}$, загальний графік G буде $G = \{\langle x_1, Z_1 \rangle, \langle x_2, Z_1 \rangle, \langle x_3, Z_2 \rangle, \langle x_4, Z_2 \rangle, \langle x_5, Z_2 \rangle\}$, а базовий графік буде $G_b = \{\langle x_2, Z_1 \rangle, \langle x_3, Z_2 \rangle\}$, за умови, що x_3 є мінімальним за вимогами для зберігання у Z_2 .

Таким чином, для моделювання зберігаючої здатності об'єкта виробничого процесу довелось побудувати систему

$$\Psi = \langle U, Z, G, G_b, \chi \rangle, \quad (10)$$

де U – сортова множина, визначення інших елементів задається (6)-(9). А сама зберігаюча здатність об'єкта виробничого процесу $o \in O$ може бути задана кортежем (кортеж ємності), арність якого збігається з кількістю елементів множини Z , а елементами цього кортежу будуть числа або 0 або значення питомої ємності об'єкта для відповідного базового сорту.

Доповнимо розглянутий вище приклад побудовою кортежів ємності для двох об'єктів виробничого процесу. У нашому прикладі множина Z має два елементи, тому арність кортежів ємності у нашому при-

кладі теж буде дорівнюватись двом. Хай це будуть кортежі $\langle 0, 150 \rangle$ та $\langle 120, 320 \rangle$. Перший кортеж характеризує виробничий об'єкт як непридатний для зберігання сортів x_1 і x_2 , що складають множину Z_1 , і придатний для зберігання 150 одиниць сорту x_3 , який є базовим для Z_2 . Другий кортеж характеризує виробничий об'єкт як придатний для зберігання 320 одиниць сорту x_3 , а також для зберігання 120 одиниць сорту x_2 , або замість 120 одиниць сорту x_2 може зберігати 48 одиниць сорту x_1 ($120/\chi(x_1)=120/2,5=48$).

Зауваження. Якщо ємність виробничого об'єкта за якимось з сортів не є цілим числом, то ця ємність зменшується до найближчого цілого.

Перетворююча функція об'єкта виробничого процесу, з точки зору логістики, полягає у зміні якісного складу матеріального потоку, бо в цьому і полягає сам виробничий процес – з сировини та напівфабрикатів створюються готові товари. Найчастіше зустрічається ситуація коли якісні склади вхідного і вихідного матеріальних потоків для перетворюючого об'єкта виробничого процесу не мають спільних елементів, тобто:

$$Q_{M_D \rightarrow O} \cap Q_{M_O \rightarrow B} = \emptyset.$$

У якості прикладу повної зміни якісного складу матеріального потоку можна привести виробництво овочевого соку: $Q_{M_D \rightarrow O} = \{\text{помідори, морква, буряк, солодкий перець, сіль}\}$ – якісний склад вхідного потоку, $Q_{M_O \rightarrow B} = \{\text{овочевий сік}\}$ – якісний склад вихідного потоку. Інколи частина вихідного матеріального потоку використовується як складова вхідного потоку. Це може бути викликано особливостями технології виробництва, наприклад, залишки металу, після розлиття по формам, знову використовуються у наступних плавках металу.

Крім зазначених трьох функцій виробничого об'єкту необхідно також враховувати таку характеристику виробничого об'єкту як його мобільність, тобто здатність змінювати своє місцезнаходження. Місцезнаходження виробничого об'єкта (локація) може визначатись як у одно-, так і у дво- або тривимірному просторі і бути функцією часу. Найчастіше локація задається у двовимірному просторі. Наприклад, плавучий рибопереробний завод, що має ресурси для зберігання риби та її переробки, пересуваючись акваторією змінює своє положення у двовимірному просторі. Задачею логістики у цьому випадку є оптимізація переміщень цього заводу, з урахуванням переміщень суден, що ловлять рибу, а також суден, що забирають готову продукцію з заводу та постачають необхідні складові для переробки, а також потребою заходити у порт або якимось іншим способом виконувати ротацію персоналу.

У випадку, коли виробничий об'єкт переміщується, наприклад, залізничною колією його локація

може бути задана як одномірна величина. Для цього достатньо вибрати якусь точку у якості початкової і обрати один з напрямів як позитивний.

Узагальнюючи наведені приклади приходимо до висновку, що для врахування мобільності виробничого об'єкта необхідно ввести функцію локації $L(t)$ значеннями якої будуть точки одно-, дво- або тривимірного простору. Сама функція $L(t)$ може бути задана як таблично так і алгоритмічно. В окремих випадках можливе і аналітичне представлення цієї функції.

4. Операції над матеріальним потоком

Для опису життєвого циклу матеріального потоку достатньо визначити шість базових операцій над матеріальним потоком:

- створення;
- поглинання;
- зміна часу прибуття;
- перенаправлення;
- розшарування;
- злиття.

Операція створення матеріального потоку $M(t_0)$ в момент t_0 має такі атрибути як місце створення потоку (джерело) та місце призначення потоку (споживач), а також очікуваний час прибуття до пункту призначення t_n :

$$M_{d \rightarrow b}(t_0, t_n),$$

де d та b – джерело та споживач відповідно. Виконання операції призводить до появи матеріального потоку. Створений матеріальний потік $M(t_0)$ має свій якісний склад Q_M , загальний (сортовий) обсяг V (2), загальну (сортіву) структуру S (3) та такі характеристики як ваговий, об'ємний і вартісний обсяги (4) та інші.

Операція поглинання матеріального потоку $M(t_n)$ в момент t_n $M_{b \leftarrow d}(t_0, t_n)$ має такі ж атрибути як і операція створення матеріального потоку.

Операція зміни часу прибуття дозволяє змінити час прибуття t_n матеріального потоку до пункту призначення на інший t_m ($t_n \neq t_m$). На основі базової операції зміни часу прибуття можна визначити дві додаткові операції: уповільнення ($t_n < t_m$) та прискорення ($t_n > t_m$) матеріального потоку.

Операція перенаправлення дозволяє змінити пункт призначення b матеріального потоку M на інший. Якщо новий пункт призначення позначити через p ($b \neq p$), то операцію перенаправлення $R(M, p)$ можна визначити наступним чином:

$$M_{d \rightarrow b} \xrightarrow{R(M, p)} M_{d \rightarrow p}.$$

Операція розшарування $D(M_0, M_1, M_2)$ матеріального потоку M_0 призводить до розбиття його на два матеріальних потоки M_1 та M_2 :

$$M_0 \xrightarrow{D(M_0, M_1, M_2)} \{M_1, M_2\}.$$

При цьому виконується правило збереження загального обсягу матеріальних потоків M_0 , M_1 та M_2 :

$$V_0 = V_1 + V_2.$$

Операція злиття $A(M_1, M_2, M_0)$ є зворотною до операції розшарування $D(M_0, M_1, M_2)$ і призводить до злиття (поєднання) двох матеріальних потоків M_1 та M_2 у один M_0 :

$$\{M_1, M_2\} \xrightarrow{A(M_1, M_2, M_0)} M_0.$$

При цьому, як і для операції розшарування, виконується правило збереження загального обсягу матеріальних потоків M_0 , M_1 та M_2 :

$$V_1 + V_2 = V_0.$$

Тепер розглянемо додаткові операції над матеріальними потоками.

Операція втрати (повна або часткова) матеріального потоку. Операція часткової втрати матеріального потоку може бути представлена послідовністю базових операцій розшарування матеріального потоку на два, один з яких містить тільки втрачені компоненти та застосування операції поглинання до матеріального потоку, що містить тільки втрачені компоненти. Операція повної втрати зводиться до поглинання первісного матеріального потоку.

Операція деформації матеріального потоку необхідна для моделювання процесу перетворення якісного складу матеріального потоку під час руху компонентів матеріального потоку від джерела до споживача. Ця операція може бути представлена як послідовність базових операцій розшарування (відокремлення компонентів, що зазнали змін), поглинання відокремленого потоку, створення замість відокремленого потоку нового з відповідними компонентами та злиття нового потоку з первісним.

Операція локації дозволяє у заданий момент часу визначити місцеположення конкретних компонентів матеріального потоку. Ця операція зводиться до використання введеної вище функції локації $L(t)$.

Висновки

Запропонована модель матеріального потоку (1) достатня для розробки вимог до супроводжувального інформаційного потоку та для проектування логістично інформаційної системи. Завдяки відсутності явних обмежень на галузь застосування запропонована модель може бути використана для виробничої логістики будь-якої галузі виробництва. Завдяки використанню теорії мультимножин модель є доволі простою для опанування фахівцями з логістики, бізнес-аналітиками та розробниками програмного забезпечення.

Подальший розвиток моделі автор бачить у врахуванні стохастичних параметрів реального оточення, у включенні в модель особи, що приймає рішення та у залученні теорії підтримки прийняття рішень.

Список літератури

1. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник / А.М. Гаджинский. – 19-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2010. – 434 с.
2. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики / Г.П. Мельников; Под ред. Ю.Г. Косарева. – М.: Сов. радио, 1978. – 368 с.
3. Петровский А.Б. Пространства множеств и мультимножеств / А.Б. Петровский. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 248 с.

Надійшла до редколегії 12.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Тимофеев, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТОКА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКЕ

А.И. Сухомлинов

В статье формулируются требования к модели материального потока для использования при проектировании и разработке логистических информационных систем. В статье разработана модель материального потока, которая соответствует сформулированным требованиям. Предложенная модель материального потока вводит такие термины как структура и объем материального потока, потоковые функции производственных объектов, операции над материальным потоком (слияние, расслоение, перенаправления и другие). Предложенная модель не привязывается к конкретной отрасли производства и является общей для производственной логистики. При разработке модели была использована теория мультимножеств.

Ключевые слова: производственная логистика; логистическая информационная система; материальный поток, объем материального потока; структура материального потока; мультимножество; потоковые функции; операции над материальным потоком.

MODELING OF MATERIAL FLOW IN PRODUCTION LOGISTICS

A.I. Sukhomlinov

The paper formulates requirements for material flow model for use in the design and development of logistics information systems. The paper developed a model of material flow that meets the established requirements. The proposed model of material flow introduces terms such as the structure and volume of material flow, stream function of production facilities, operations on material flow (merger, separation, redirects, and others). The proposed model is not tied to specific industries and is common for production logistics. In developing the model was used the theory of multisets.

Keywords: production logistics, logistics information system, material flow, the amount of material flow, the structure of the material flow, multiset, streaming functions, operations on material flow.