

УДК 658.7

ГЛАВА 15. ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА ТОВАРОВ СО СТЕЛЛАЖЕЙ НА СКЛАДЕ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ПРИ ЗАДАННОМ ЧИСЛЕ МАРШРУТОВ

БАРСУК ИГОРЬ ВАДИМОВИЧ,

к.т.н., доцент

Заместитель директора по науке

Научно-исследовательский

и проектно-конструкторский институт почтовой связи
- филиал ФГУП «Главный центр специальной связи»

Доцент

ФГБОУ ВО «Московский технический университет
связи и информатики»

Кафедра «Интеллектуальные системы в управлении и автоматизации»

Аннотация: Предметом исследования служит система управления складом временного хранения. Целью работы является минимизация времени сбора со стеллажей и доставки тары с артикулами к границе цеха при заданном числе маршрутов. Для расчета маршрутов используется алгоритм, включающий пошаговый поиск экстремума методом «золотого сечения».

Ключевые слова: Склад временного хранения, стеллаж, товар, сборный транспортёр, алгоритм, маршрут, оптимизация.

ARRANGE COLLECTION OF GOODS FROM THE RACKS IN THE WAREHOUSE OF TEMPORARY STORAGE FOR A GIVEN NUMBER OF ROUTES

Barsuk Igor Vadimovich

Abstract: The subject of the research is the control system of the temporary storage warehouse. The aim of this work is to minimize the time of picking from shelving and shipping containers with the articles to the boundary of the shop at a given number of routes. For calculation of routes the algorithm including step-by-step search of an extremum by method of «golden ratio» is used.

Keywords: Temporary storage, shelving, assembly conveyor, algorithm, route optimization.

Описание производственного процесса и постановка задачи

Товары (артикулы) по мере их поступления на склад временного хранения (СВХ) [1, с. 319] размещаются в ячейках стеллажей. Принимается, что на одной ячейке стеллажа может находиться не более одного артикула. По высоте стеллажи, как правило, имеют несколько ярусов, поэтому в ячейках, расположенных в стеллаже друг над другом, колонке ячеек (КЯ), могут находиться несколько артикулов.

Производственный процесс сбора и последующей обработки товаров на СВХ состоит из двух этапов. На первом этапе товары одного типа (артикулы), временно хранящиеся на стеллажах, к определённому моменту времени собираются работниками в тару (например, ящики), которые сборным транспортёром направляются на второй этап. На втором этапе товары извлекаются из тары и на сортировочной установке [2,3] или вручную распределяются по магазинам, пунктам выдачи заказов, почтоматам и т.п.

План цеха СВХ изображён на рис. 1. На этом рисунке: 1 – стеллажи; 2 – колонки ячеек (КЯ) с артикулами; 3 – сборный транспортёр; 4 – порожняя тара; 5 – тара с артикулами; 6 – номера рядов КЯ; 7 – номера рядов стеллажей; ω – точка доставки товаров; 00 – линия бортового ограждения сборного транспортёра; стрелка указывает направление движения рабочего органа сборного транспортёра; двусторонние стрелки показывают способы измерения расстояний между бортовым ограждением сборного транспортёра (линией 00) и КЯ, а также между КЯ.

Маршруты по сбору товаров начинаются от бортового ограждения сборного транспортёра (линии 00), вдоль которого предварительно напротив стеллажей складировается порожняя тара. На ЭВМ производится расчёт последовательности обхода работниками КЯ с артикулами. Взяв порожнюю тару, работники одновременно выходят на маршруты от мест бортового ограждения сборного транспортёра, находящихся на минимальных расстояниях до КЯ начала маршрута. По окончании прохода по маршруту работник устанавливает тару с артикулами на движущийся в направлении к границе цеха (точке ω) рабочий орган сборного транспортёра.

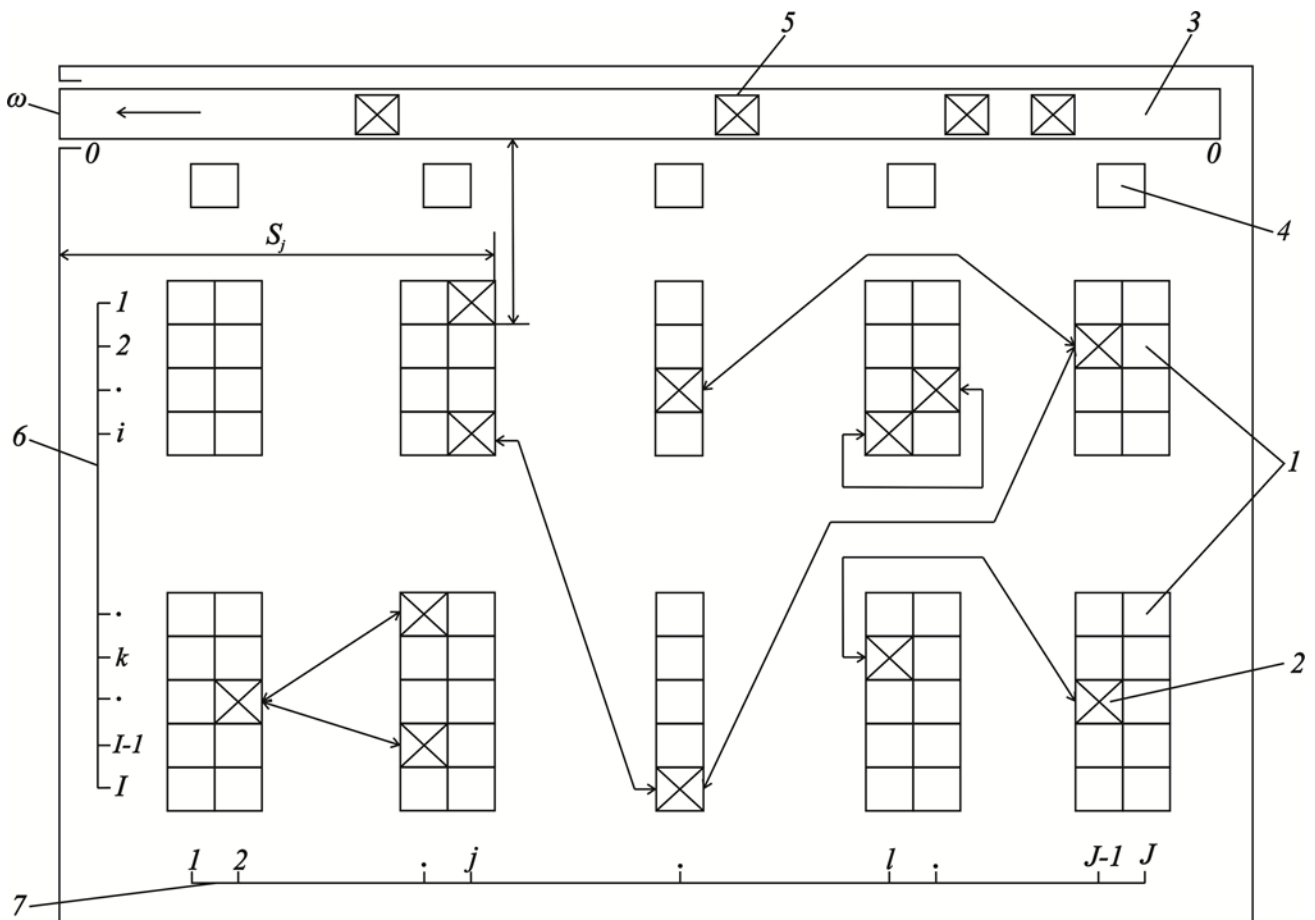


Рис. 1. План цеха СВХ

При построении маршрутов сбора товаров со стеллажей, в зависимости от оперативно складывающейся ситуации перед диспетчером СВХ могут стоять следующие задачи:

- минимизировать число маршрутов при заданном предельном времени (контрольном сроке) доставки тары с артикулами к границе цеха (точке ω);
- минимизировать число маршрутов при ограничении на грузоподъёмность и/или вместимость тары;
- минимизировать время сбора со стеллажей и доставки тары с артикулами к границе цеха (точке ω) при заданном числе маршрутов (такая постановка задачи возможна, например, при дефиците работников или внутрипроизводственного транспорта);
- задача 1 при ограничении на грузоподъёмность и/или вместимость тары;
- задача 3 при ограничении на грузоподъёмность и/или вместимость тары.

Решение первой задачи приводится в [4]. В статье рассматривается решение третьей задачи на базе алгоритма, описанного в [4]. Предлагаемый алгоритм является эвристическим. Более точное решение задачи возможно, может быть, с помощью метода имитационного моделирования [5, 6]. Однако этот метод требует значительно большего числа итераций и, соответственно, времени на решение задачи.

Исходные данные

Исходной информацией для решения всех задач служит полная матрица кратчайших расстояний (ПМКР) между всеми КЯ стеллажей в плане:

$$\begin{matrix}
 a_1^1 & a_2^1 & \dots & a_j^1 & \dots & a_{j-1}^1 & a_j^1 \\
 a_1^2 & a_2^2 & \dots & a_j^2 & \dots & a_{j-1}^2 & a_j^2 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_1^i & a_2^i & \dots & a_j^i & \dots & a_{j-1}^i & a_j^i \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_1^{I-1} & a_2^{I-1} & \dots & a_j^{I-1} & \dots & a_{j-1}^{I-1} & a_j^{I-1} \\
 a_1^I & a_2^I & \dots & a_j^I & \dots & a_{j-1}^I & a_j^I
 \end{matrix}$$

бортовым ограждением сборного транспортёра (линией 00) и КЯ стеллажей (рис. 2); число ярусов стеллажей M ; количество типов товаров (артикулов), находящихся на складе N ; таблица размещения артикулов по КЯ с учётом высоты (ярусности) стеллажей (табл. 1), при этом для каждой КЯ $a_j^i (i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J)$ количество артикулов КЯ $0 \leq \sum_n m_n^i \leq M (n = 1, 2, \dots, N)$; расстояния S_j от границы цеха (точки ω) до рядов стеллажей; скорости движения работника V_p на маршруте и рабочего органа сборного транспортёра V_m ; среднее время выемки товара работником из ячейки стеллажа, регистрации товара и укладки в тару $t_{я}$; время установки тары с товарами на рабочий орган сборного транспортёра t_y ; заданное число маршрутов B ; допустимая погрешность соблюдения контрольного срока δ .

Расстояния C_{0j}^{0i} между бортовым ограждением сборного транспортёра (линией 00) и КЯ a_j^i , а также C_{jl}^{ik} – между КЯ a_j^i и a_l^k измеряются в соответствии с траекторией движения работника (показаны на рис. 1 двусторонними стрелками). Для практических измерений расстояний на плане между КЯ, расположенными не на одной прямой, можно рекомендовать использовать метод натянутой нити с учётом кривизны движения работника посредством коэффициента непрямолинейности движения $\lambda = 1, 0 \dots 1, 1$, который характеризуется отношением длины реальной траектории прохода к расстоянию между двумя КЯ, измеренному методом натянутой нити. Принимается, что $C_{0j}^{0i} = C_{j0}^{i0}$ и $C_{jl}^{ik} = C_{lj}^{ki}$, поэтому ПМКР имеет треугольный вид.

$$\begin{matrix}
 & 00 & a_1^1 & \dots & a_j^1 & \dots & a_j^1 & a_1^2 & \dots & a_j^2 & \dots & a_j^2 & \dots & a_1^l & \dots & a_j^l & \dots & a_j^l \\
 00 & & -C_{01}^{01} & \dots & C_{0j}^{01} & \dots & C_{0j}^{01} & C_{01}^{02} & \dots & C_{0j}^{02} & \dots & C_{0j}^{02} & \dots & C_{01}^{0l} & \dots & C_{0j}^{0l} & \dots & C_{0j}^{0l} \\
 a_1^1 & & - & \dots & C_{1j}^{11} & \dots & C_{1j}^{11} & C_{11}^{12} & \dots & C_{1j}^{12} & \dots & C_{1j}^{12} & \dots & C_{11}^{1l} & \dots & C_{1j}^{1l} & \dots & C_{1j}^{1l} \\
 \dots & & & & - & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_j^1 & & & & & & - & \dots & \dots & C_{jj}^{11} & C_{j1}^{12} & \dots & C_{jj}^{12} & \dots & C_{jj}^{12} & \dots & C_{j1}^{1l} & \dots & C_{jj}^{1l} \\
 \dots & & & & & & & & & - & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_j^1 & & & & & & & & & & - & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_1^2 & & & & & & & & & & & - & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & & & & & & & & & & & & - & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_j^2 & & & & & & & & & & & & & - & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & & & & & & & & & & & & & & - & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_j^2 & & & & & & & & & & & & & & & - & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & & & & & & & & & & & & & & & & - & \dots & \dots \\
 a_1^l & & & & & & & & & & & & & & & & & - & \dots & \dots \\
 \dots & & & & & & & & & & & & & & & & & & - & \dots \\
 a_j^l & & & & & & & & & & & & & & & & & & & - & \dots \\
 \dots & - & \dots \\
 a_j^l & - & \dots
 \end{matrix}$$

Рис. 2. Полная матрица кратчайших расстояний (ПМКР)

Таблица 1

Размещение артикулов по КЯ стеллажей

Номер артикула, n	Количество артикулов, m , в КЯ														
	a_1^1	a_2^1	...	a_j^1	a_1^2	a_2^2	...	a_j^2	...	a_j^i	...	a_1^l	a_2^l	...	a_j^l
1	m_{11}^1	m_{12}^1	...	m_{1j}^1	m_{11}^2	m_{12}^2	...	m_{1j}^2	...	m_{1j}^i	...	m_{11}^l	m_{12}^l	...	m_{1j}^l
2	m_{21}^1	m_{22}^1	...	m_{2j}^1	m_{21}^2	m_{22}^2	...	m_{2j}^2	...	m_{2j}^i	...	m_{21}^l	m_{22}^l	...	m_{2j}^l
...
n	m_{n1}^1	m_{n2}^1	...	m_{nj}^1	m_{n1}^2	m_{n2}^2	...	m_{nj}^2	...	m_{nj}^i	...	m_{n1}^l	m_{n2}^l	...	m_{nj}^l
...
N	m_{N1}^1	m_{N2}^1	...	m_{Nj}^1	m_{N1}^2	m_{N2}^2	...	m_{Nj}^2	...	m_{Nj}^i	...	m_{N1}^l	m_{N2}^l	...	m_{Nj}^l

Предварительная подготовка данных

Время движения работника по маршруту рассчитывается по формулам:

$$t_{0j}^{0i} = \frac{C_{0j}^{0i}}{V_p} + m_j^i t_{я}, \quad (1)$$

$$t_{ji}^{ik} = \frac{C_{jl}^{ik}}{V_p} + m_j^k t_{я}, \quad (2)$$

$$t_{j0}^{i0} = \frac{C_{j0}^{i0}}{V_p}. \quad (3)$$

Время установки и транспортирования тары с артикулами от КЯ j -го ряда стеллажей до точки ω определяется по формуле:

$$t_{ymj} = t_y + \frac{S_j}{V_m}. \quad (4)$$

Во время прохождения маршрутов по сбору товаров для их доставки в цех сортировки сборный транспортёр находится во включенном состоянии (работает), поэтому для удобства проведения последующих расчётов данные по времени установки и транспортирования тары с артикулами к границе цеха (точке ω) представляются в форме табл. 2.

Таблица 2

Время установки и транспортирования тары с артикулами к границе цеха (точке ω)

Номер ряда стеллажей, j	1	2	...	j	...	$J-1$	J
Значение t_{ymj}	t_{ym1}	t_{ym2}	...	t_{ymj}	...	t_{ymJ-1}	t_{ymJ}

Маршруты строятся отдельно для каждого артикула. Если в одну тару необходимо собирать несколько артикулов, то они объединяются в одну группу под общим номером в табл. 1. В табл. 1 выделяется строка с номером артикула, для которого строятся маршруты. При этом во фрагменте таблицы (табл. Ф1) остаются обозначения только тех КЯ a_j^i , для которых $m_j^i > 0$.

Из ПМКР выделяется фрагмент, содержащий только КЯ с выгружаемыми артикулами – матрица кратчайших расстояний (МКР).

Для выделенных КЯ составляется матрица затрат времени (МЗВ), элементы которой рассчитываются по формулам (1) – (3).

По данным МЗВ и фрагменту табл. 2, в котором представлены значения t_{ymj} для стеллажей с КЯ, в которых находятся собираемые артикулы, строится матрица экономии времени (МЭВ), в первую строку которой заносятся значения t_{0j}^{0i} , в первый столбец – значения t_{j0}^{i0} , а в основную часть матрицы – значения Δ_{jl}^{ik} , рассчитанные по формуле [4]:

$$\Delta_{jl}^{ik} = t_{j0}^{i0} + t_{0l}^{0k} - t_{jl}^{ik} + t_{ymj}. \quad (5)$$

В МЭВ заносят только значения $\Delta_{jl}^{ik} > 0$, вместо значений $\Delta_{jl}^{ik} \leq 0$ в МЭВ заносятся нули.

Общая схема алгоритма

Шаг 1. Распределение КЯ по маршрутам для получения опорного решения

Пусть A – обслуживаемое число КЯ с артикулами, B – число работников, выделяемых на сбор товаров из ячеек (число маршрутов). Тогда среднее число КЯ в маршруте составит $\eta = \frac{A}{B}$.

Если η является целым числом, то в каждый маршрут включается ровно η КЯ. Если η является смешанным числом:

$$\eta = \Pi \frac{A - B\Pi}{B},$$

где Π – целая часть смешанного числа; $\frac{A - B\Pi}{B}$ – дробная часть смешанного числа;

то число КЯ, включаемых в маршрут, различается.

В первые (дальние от точки ω) маршруты, число которых равно числителю дробной части $(A - B\zeta)$, включается $(\zeta + 1)$ КЯ. В оставшиеся $B - (A - B\zeta) = B(\zeta + 1) - A$ маршруты включается ζ КЯ.

Примеры, иллюстрирующие рассмотренный принцип распределения КЯ по маршрутам на первом шаге вычислений, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Примеры распределения КЯ по маршрутам на первом шаге вычислений

Число обслуживаемых КЯ, A	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Заданное число маршрутов, B	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее число КЯ в маршруте, η	6	4	3	$2\frac{2}{5}$	2	$1\frac{5}{7}$	$1\frac{4}{8}$	$1\frac{3}{9}$	$1\frac{2}{10}$	$1\frac{1}{11}$
Распределение КЯ по маршрутам (номер маршрута – число КЯ в маршруте)	1-6 2-6	1-4 2-4 3-4	1-3 2-3 3-3 4-3	1-3 2-3 3-2 4-2 5-2	1-2 2-2 3-2 4-2 5-2 6-2	1-2 2-2 3-2 4-2 5-2 6-1 7-1	1-2 2-2 3-2 4-2 5-1 6-1 7-1 8-1	1-2 2-2 3-2 4-1 5-1 6-1 7-1 8-1 9-1	1-2 2-2 3-1 4-1 5-1 6-1 7-1 8-1 9-1 10-1	1-2 2-1 3-1 4-1 5-1 6-1 7-1 8-1 9-1 10-1 11-1

Шаг 2. Получение опорного решения

Осуществляется построение B маршрутов с числом КЯ в каждом, определенным на первом шаге. Маршруты строятся по алгоритму, описанному в [4], при ограничении на число КЯ в маршруте.

Для каждого b -го маршрута ($b = 1, 2, \dots, B$) рассчитывается время его обслуживания и доставки тары с артикулами к границе цеха (точке ω) T_{mb} . Определяются максимальное T_{mb}^{\max} и минимальное T_{mb}^{\min} значения времени.

Построенные маршруты могут оказаться неоптимальными с точки зрения минимизации времени производства работ. Однако, полученное первоначальное решение может служить базой для проведения последующих вычислений.

Очевидно, что минимизируемое максимальное время обслуживания маршрута и доставки тары с артикулами к точке ω T_M^{onm} заключено между T_{mb}^{\min} и T_{mb}^{\max} ($T_{mb}^{\min} \leq T_M^{\text{onm}} \leq T_{mb}^{\max}$). Переход к шагу 3.

Шаг 3. Поиск T_M^{onm} . Построение схемы маршрутов

В диапазоне интервала неопределенности $T_{mb}^{\min} - T_{mb}^{\max}$ производится последовательный пошаговый поиск T_M^{onm} методом «золотого сечения».

3.1. Левая граница интервала неопределенности обозначается T'_m , правая – T''_m . Переход к п. 3.2.

3.2. Если $\Delta T_m = T''_m - T'_m \leq \delta$, где δ – допустимая погрешность соблюдения контрольного срока, переход к п. 3.5. Если $\Delta T_m > \delta$, переход к п. 3.3.

3.3. Положить $T_\omega = T'_m + 0,618\Delta T_m$. Определить потребное количество работников (маршрутов)

$R(T_\omega)$ по алгоритму построения маршрутов сбора товаров со стеллажей при ограничении на время обслуживания маршрута и доставки тары с артикулами к границе цеха (точке ω) равное T_ω [4]. Определить T_M^{\min} и T_M^{\max} .

Сравнить T_ω и T_M^{\max} .

Если $T_M^{\max} < T_\omega$, то положить $T_M^{\max} = T_M^{\max}$.

Если $T_M^{\max} \geq T_\omega$, то положить $T_M^{\max} = T_\omega$.

Если $R(T_\omega) \leq B$, переход к п. 3.1.

Если $R(T_\omega) > B$, переход к п. 3.4.

3.4. Положить $T'_M = T_M^{\max}$. Переход к п. 3.2.

3.5. Закончить вычисления. Принимается рассчитанная схема маршрутов. $T_M^{opt} = T'_M = T_\omega$. $R(T_\omega) \leq B$.

Пример построения маршрутов сбора со стеллажей артикулов одного наименования при $B = 3$

Для сравнения подходов при выборе диспетчером СВХ вида ограничения при построении маршрутов исходные данные примера соответствуют приведенным в [3] (рис. 3, 4, табл. 4): $M = 6$ – число ярусов стеллажей; $V_p = 0,5$ м/с – скорость движения работника с тележкой на маршруте; $V_m = 0,2$ м/с – скорость движения транспортера; $t_r = 20$ с – среднее время выемки артикула работником из ячейки стеллажа, регистрации артикула и укладки в тару; $t_y = 10$ с – время установки тары с артикулами на рабочий орган сборного транспортера, $T_\omega = 420$ с – предельное время (контрольный срок) доставки артикулов до границы цеха (точки ω); $\delta = 15$ с – допустимая погрешность соблюдения контрольного срока.

Таблица 4

Размещение артикулов по КЯ стеллажей

КЯ	a_4^1	a_8^2	a_5^3	a_7^3	a_4^4	a_6^4	a_3^5	a_6^6	a_2^7	a_8^7	a_3^8	a_5^9
Количество артикулов, m	2	3	1	6	3	4	1	5	6	4	2	5

В соответствии с МКР и принятыми исходными данными по формулам (1) – (3) рассчитываются элементы МЗВ (рис. 5).

В табл. 5 приведены расстояния от границы цеха (точки ω) до рядов стеллажей и рассчитанные по формуле (4) времена установки и транспортирования тары с артикулами от рядов стеллажей до границы цеха (точки ω).

По результатам расчетов элементов МЗВ (рис. 5) и значений t_{ymj} (табл. 5) по формуле (5) определяются значения Δ_{jl}^{ik} МЭВ (рис. 6).