

# АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ СБОРА ТОВАРОВ СО СТЕЛЛАЖЕЙ ПРИ ЗАДАННОМ ЧИСЛЕ МАРШРУТОВ

**Барсук Игорь Вадимович,**

*к.т.н., доцент кафедры Информационной безопасности, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия,  
[barsuk.iv@niips.ru](mailto:barsuk.iv@niips.ru)*

## Постановка задачи

Предметом исследования служит система управления складом временного хранения (СВХ). Товары одного типа (артикулы) по мере их поступления на СВХ размещаются в ячейках стеллажей. На одной ячейке стеллажа может находиться не более одного артикула. По высоте стеллажи имеют несколько ярусов, поэтому в ячейках, расположенных в стеллаже друг над другом, колонке ячеек (КЯ), может находиться несколько артикулов [1]. Маршруты по сбору товаров начинаются от бортового ограждения сборного транспортёра (линии 00), вдоль которого предварительно напротив стеллажей складывается порожняя тара. По окончании прохода по маршруту работник устанавливает тару с артикулами на движущийся в направлении к границе цеха (точке  $\omega$ ) рабочий орган сборного транспортёра. В соседнем цехе товары извлекаются из тары и на сортировочной установке [2, 3] или вручную распределяются по магазинам, пунктам выдачи заказов, почтоматам и т.п.

Целью настоящей работы является минимизация времени сбора со стеллажей и доставки тары с артикулами к границе цеха (точке  $\omega$ ) при заданном числе маршрутов (такая постановка задачи возможна, например, при дефиците работников или внутрипроизводственного транспорта) на базе алгоритма минимизации числа маршрутов при заданном предельном времени (контрольном сроке) обслуживания маршрута, описанного в [4].

## Исходные данные

Исходной информацией для решения задач служит полная матрица кратчайших расстояний (ПМКР) между всеми КЯ стеллажей в плане, бортовым ограждением сборного транспортёра (линией 00) и КЯ стеллажей; 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  $0 \leq \sum_n m_{nj}^i \leq M (n=1,2,\dots,N)$ ; расстояния  $S_j$  от границы цеха (точки  $\omega$ ) 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  $t_{\alpha}$ ; время установки тары с товарами на рабочий орган сборного транспортёра  $t_{\gamma}$ ; заданное число маршрутов  $B$ ; допустимая погрешность соблюдения контрольного срока  $\delta$ .

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 методом натянутой нити с учётом коэффициента непрямолинейности движения  $\lambda = 1,0 \dots 1,1$  [4]. Принимается, что  $C_{0j}^{0i} = C_{j0}^{i0}$  и  $C_{jl}^{ik} = C_{lj}^{ki}$ , поэтому ПМКР имеет тре-

угольный вид [4].

Таблица 1

Номер артикула $n$	Количество артикулов $m$ в КЯ														
	$a_1^1$	$a_2^1$	...	$a_j^1$	$a_1^2$	$a_2^2$	...	$a_j^2$	...	$a_j^i$	...	$a_1^I$	$a_2^I$	...	$a_j^I$
1	$m_{11}^1$	$m_{12}^1$	...	$m_{1j}^1$	$m_{11}^2$	$m_{12}^2$	...	$m_{1j}^2$	...	$m_{1j}^i$	...	$m_{11}^I$	$m_{12}^I$	...	$m_{1j}^I$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$m_n^1$	$m_{n2}^1$	...	$m_{nj}^1$	$m_n^2$	$m_{n2}^2$	...	$m_{nj}^2$	...	$m_n^i$	...	$m_n^I$	$m_{n2}^I$	...	$m_{nj}^I$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$N$	$m_N^1$	$m_N^1$	...	$m_N^1$	$m_N^2$	$m_N^2$	...	$m_N^2$	...	$m_N^i$	...	$m_N^I$	$m_N^I$	...	$m_N^I$

## Предварительная подготовка данных

Время движения работника по маршруту рассчитывается по формулам:

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

$$t_{jl}^{ik} = \frac{C_{jl}^{ik}}{V_p} + m_l^k t_{\alpha}, \quad (2)$$

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

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

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

Данные по времени установки и транспортирования тары с артикулами к границе цеха (точке  $\omega$ ) представляются в форме табл. 2.

Таблица 2

Время установки и транспортирования тары с артикулами к границе цеха (точке  $\omega$ )

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 таблице 1 выделяется строка с номером артикула, для которого строятся маршруты.

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  $t_{ym_j}$  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  $\Delta_{jl}^{ik}$ , рассчитанные по формуле [4]:

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

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  $\eta$  является целым числом, то в каждый маршрут включается ровно  $\eta$  КЯ. Если  $\eta$  является смешанным числом:

$$\eta = C \frac{A - BC}{B},$$

где  $C$  – целая часть смешанного числа;  $\frac{A - BC}{B}$  – дробная часть смешанного числа; то число КЯ, включаемых в маршрут, различается.

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

#### 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  $\omega$ )  $T_{mb}$ . Определяются максимальное  $T_{mb}^{\max}$  и минимальное  $T_{mb}^{\min}$  значения времени.

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

### 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».

Результаты расчета примера, иллюстрирующего работу алгоритма, показывают, что основной эффект от применения алгоритма минимизации времени сбора товаров со стеллажей и доставки тары с артикулами к границе цеха при заданном числе маршрутов состоит в минимизации максимального срока обслуживания маршрута. 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.

### Вывод

Наличие в распоряжении диспетчера СВХ программного обеспечения, реализующего быстродействующие алгоритмы построения маршрутов сбора со стеллажей и доставки товаров к границе цеха при ограничении на время маршрута [4] и на число маршрутов, позволит ему в диалоговом режиме с ЭВМ оптимизировать управление производственным процессом на складе в зависимости от оперативно складывающейся ситуации.

### Литература

1. Дыбская В.В. Логистика складирования: Учебник. М.: ИНФРА – М, 2015. 559 с.
2. Завьялов К., Санкина Е. Индустриально-логистический парк KENON: расширение рынка сбыта и оптимизация логистики на территории Китай – Забайкальск – Восточная Сибирь // Логистика. 2014. № 7. С. 12-15.
3. Толмачев К. Повышение эффективности автоматизированной сортировки на складе // Логистика. 2014. № 8. С. 30-34.
4. Барсук И. Алгоритм построения маршрутов сбора товаров со стеллажей // Логистика. 2016. № 8. С. 22-29.
5. Толуев Ю., Змановская Т. Оптимизация транспортно-складских систем с применением имитационных моделей. Часть 1 // Логистика. 2016. № 1. С. 42-45.
6. Толуев Ю., Змановская Т. Оптимизация транспортно-складских систем с применением имитационных моделей. Часть 2 // Логистика. 2016. № 2. С. 46-48.