

УДК 656.073.27

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ КРОСС-ДОКИНГА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СКЛАДАХ

Урманова З.А.

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Ташкент, Узбекистан)

На сегодняшний день возникает устойчивая тенденция роста объемов перевозок тарно-упаковочных грузов. Основная причина - ускоренное развитие малого и среднего бизнеса. В связи с этим возникает необходимость в рассмотрении современных транспортно-складских технологий. Постановка проблемы заключается в том, что зачастую происходят простои транспортных средств из-за несогласованности транспорта прибытия и отправления, а также их нерационального использования. Цель всей работы состоит в том, чтобы показать техническую и экономическую целесообразность для железной дороги развития технологии кросс-докинга. Эта цель рассматривается в работе как нечто новое для складской системы железнодорожного транспорта, основной задачей которого часто считают только прямую перегрузку. Методы исследования базировались на теории оптимизации хозяйственных связей и комплектных поставок. В статье предложена математическая модель кросс-докинга, представляющая наиболее оптимальный вариант перевалки грузов на железнодорожный склад и последующую их доставку до конечных потребителей. Также на основе предложенной математической модели построена имитационная модель в среде Microsoft Excel. Данное исследование показывает, что применение технологии кросс-докинга позволяет складской системе улучшить преобразования грузопотока.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, железнодорожный склад, тарно-штучный груз, перегрузка, кросс-докинг.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-02-247-252

На сегодняшний день возникает устойчивая тенденция роста объемов перевозок тарно-упаковочных грузов. Основная причина - ускоренное развитие малого и среднего бизнеса. Учитывая складывающиеся обстоятельства, железнодорожному транспорту следует уделить особое внимание развитию складских комплексов, их функционированию и оснащению [5]. Очевидно, что такие складские комплексы могли бы обслуживать как внутренние, так и транзитные грузы. В современном мире железнодорожный склад не ограничивается только перевалкой с одного вида транспорта на другой, но и развивает дополнительные услуги в комплектации и сортировке [7]. Необходимость постоянной реализации продукции в условиях жесткой конкуренции приводит к поиску различных схем доставки до конечных потребителей. В связи с этим актуальным становится вопрос применения технологии «кросс-докинг».

Исходя из принципов построения технологии кросс-докинга, выделяются два основных его вида:

- одноэтапный кросс-докинг;
- двухэтапный кросс-докинг (*pick-by-line*).

При использовании одноэтапного кросс-докинга грузоотправитель адресует груз определенному грузополучателю. Данный груз проходит через склад в качестве отдельного

неизменного заказа. Подобный этап кросс-докинга обычно называется прямой перегрузкой.

Двухэтапный кросс-докинг (*pick-by-line*) предполагает, что партия груза, отгруженная грузоотправителем на склад в качестве грузовой единицы, будет переформирована в соответствии с требованиями грузополучателя. Данная технология обычно применяется на участке сортировки и комплектации.

В обоих способах полностью исключается размещение товара на хранение [10].

В случае, когда товар приходит сформированным в заказы (партии), которые нужно только рассортировать по транспортным средствам, т.е. кросс-докинг производится в один этап, можно выделить следующие его виды (табл. 1).

### Разработка модели кросс-докинга на железнодорожных складах.

Данную задачу с перегрузкой грузов на железнодорожных складах для дальнейшей его доставки к конечным потребителям для удобства необходимо свести к классической транспортной задаче. Допустим, имеется  $m$  ( $i = \overline{1, m}$ ) грузоотправителей,  $n$  ( $j = \overline{1, n}$ ) грузополучателей и  $p$  ( $k = \overline{1, p}$ ) перевалочных складских комплексов. Обозначим через  $a_i$  и  $b_j$  соответственно объемы поставок и пот-

Таблица 1

Виды кросс-докинга на железнодорожных складах

№	Наименование	Характеристика	Графическое представление
1	Перегрузка через железнодорожный склад	Происходит замена транспортного средства без расформирования грузовой единицы	
2	Расконсолидация	Один поставщик – несколько грузополучателей. Подается несколько машин, в которых груз и отправляется конечным грузополучателям	
3	Мелкие отправки	Несколько грузоотправителей – один грузополучатель.	
4	Подсортировка со склада	К пришедшему грузу при перегрузке в вагон добавляется груз, хранящийся на складе.	

ребления. Пусть  $d_k$  – мощность  $k$ -го складского комплекса;  $c_{ik}$  и  $c_{kj}$  – соответственно стоимость перевозки единицы груза от поставщиков на перевалочные склады и с перевалочных складов – к потребителям. Тогда математическая модель рассматриваемой задачи примет вид

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p C_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n C_{kj} x_{kj} \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq a_i; \quad \sum_{i=1}^m x_{kj} \leq b_j; \\ \sum_{i=1}^m x_{ik} \leq d_k; \quad x_{kj} \geq 0; \quad x_{ik} \geq 0, \quad (2)$$

где  $d_k$  – пропускная способность перевалочного склада ( $i = \overline{1, m}$  – грузоотправитель;  $j = \overline{1, n}$  – грузополучатель);  $x_{ik}$ ,  $x_{kj}$  – объем доставки по маршруту;  $a_i$  – величина ресурсов у  $i$ -го поставщика;  $b_j$  – величина заказа  $j$ -го потребителя.

Тогда матрица расширенной задачи будет иметь вид, указанный в табл. 2.

В первом (левом верхнем) блоке I отражаются связи грузоотправителей с перевалочными складами. В четвертом (правом нижнем) IV блоке отражаются связи перевалочных складов с грузополучателями. Второй (правый верхний) блок II показывает связи грузоотправителей с грузополучателями. Поскольку по условию задачи непосредственные перевозки от грузоотправителей к грузополучателям запрещены, то в этом блоке все тарифы считают равными  $M$ . В качестве

Таблица 2  
Структура матрицы расширенной задачи

		Потребители и их объемы					
		$D_1$	....	$D_p$	$B_1$	....	$B_n$
Поставщики	Мощности	$d_1$	....	$d_p$	$b_1$	....	$b_n$
	$A_1$	$a_1$	I			II	
$\vdots$	$\vdots$						
$A_m$	$a_m$	III			IV		
$D_1$	$d_1$						
$\vdots$	$\vdots$	III			IV		
$D_p$	$d_p$						

значения числа  $M$  принимается заведомо большое число. Третий (левый нижний) блок III образуется по строкам и столбцам перевалочными складами. Так как перевозки между перевалочными складами запрещаются, то соответствующие показатели также считаются равными  $M$ . В ячейках блока III, в которых отражаются связи перевалочных складов сами с собой, тарифы равны нулю. Диагональ из нулевых тарифов, отражающая связи перевалочных складов сами с собой, называется фиктивной.

Ниже приведена имитационная модель, построенная в среде Microsoft Excel. Матрица тарифов, принятых при проведении моделирования показана на рис. 1. Задав целевую функцию (1) с ограничениями (2), получим результирующую матрицу (рис. 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	<b>МАТРИЦА ТАРИФОВ</b>													
2		<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>	
3	<b>A1</b>	3	5	1	4	2	3							120
4	<b>A2</b>	5	6	4	1	8	3							80
5	<b>A3</b>	3	1	5	2	1	3							300
6	<b>A4</b>	6	1	4	3	5	2							250
7	<b>A5</b>	1	3	5	2	8	4							50
8	<b>D1</b>							9	3	4	1	5	2	100
9	<b>D2</b>							1	6	2	5	3	8	30
10	<b>D3</b>							3	5	2	1	3	4	70
11	<b>D4</b>							7	2	5	1	4	6	240
12	<b>D5</b>							2	3	1	4	6	8	160
13	<b>D6</b>							5	3	2	4	1	3	200
14		100	30	70	240	160	200	40	160	120	150	130	200	
15														

Рис. 1. Матрица тарифов, использованных при выполнении имитационного моделирования

		РЕЗУЛЬТАТ												
		Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	В1	В2	В3	В4	В5	В6	
18	A1	50	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120
19	A2	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	80
20	A3	0	0	0	140	160	0	0	0	0	0	0	0	300
21	A4	0	30	0	20	0	200	0	0	0	0	0	0	250
22	A5	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
23	Д1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
24	Д2	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30
25	Д3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	30	70
26	Д4	0	0	0	0	0	0	0	130	0	110	0	0	240
27	Д5	0	0	0	0	0	0	10	30	120	0	0	0	160
28	Д6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	70	200
29		100	30	70	240	160	200	40	160	120	150	130	200	
30														
31														ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ 2610

Рис. 2. Матрица результатов имитационного моделирования

**Обсуждение результатов.**

На рис. 3 и 4 представлено влияние технологии кросс-докинга на перегрузку грузов на железнодорожном складе. Приведенные диаграммы показывают, что данная технология позволяет догружать груз с другим назначением, при этом соблюдая все ограничения. На рис. 3 и 4 обозначено:  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  – объемы поставок грузоотправителей;  $Д_1, Д_2, Д_3, Д_4, Д_5$  – мощности перевалочных складов;  $В_1, В_2, В_3, В_4, В_5$  – объемы потребления грузополучателей.

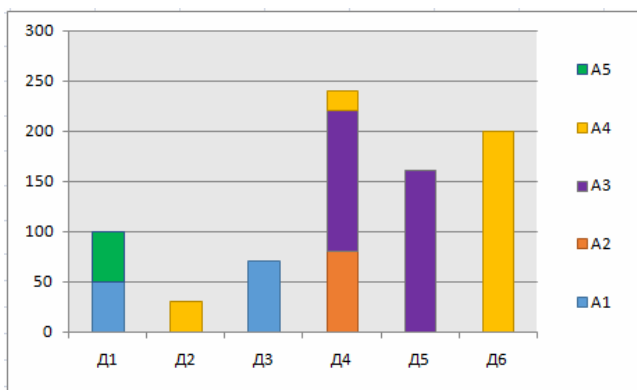


Рис. 3. Диаграмма зависимости объемов поставок от мощностей перевалочных складов

**Заключение.**

Разработанная модель позволяет осуществить расчетную оценку перевалки грузов на железнодорожный склад с последующей их доставкой до конечных потребителей по наиболее оптимальному варианту. При этом учитываются мощности складов, объемы поставок и потребления. Если более широко

рассматривать задачи склада в экономике железной дороги, то технология кросс-докинга позволит создать условия для более успешного развития рынка Узбекистана и, в то же время, обеспечит значительное увеличение доходов самого железнодорожного транспорта.

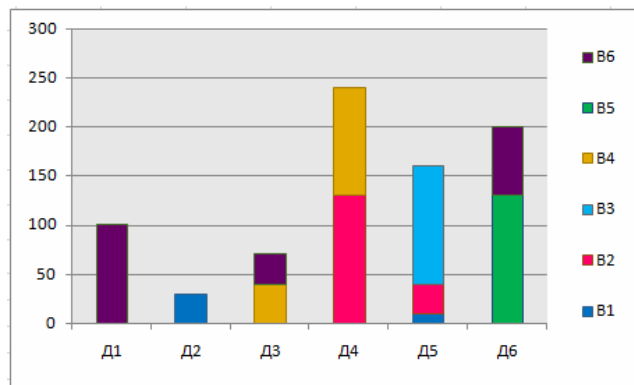


Рис. 4. Диаграмма зависимости объемов потребления от мощностей перевалочных складов

**Список литературы**

1. Антипова, О.И. Применение системы складирования по методу «кросс-докинг» в складской логистике промышленных предприятий / О.И. Антипова, А.И. Ермолаев // Экономика и социум. – 2016. – 5-3 (24). – С. 232-239.
2. Бова, В.В. Многоуровневый алгоритм решения задач транспортной логистики на основе методов роевого интеллекта / В.В. Бова, В.В. Курейчик, А.А. Лежебоков // Вестник Ростовского государственного уни-

верситета путей сообщения. – 2013. - № 3 (51). – С. 113-118.

3. Илесалиев, Д.И. К вопросу о схеме размещения на складе / Д.И. Илесалиев // Научно-технических вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №. 1. – С. 99-106.

4. Илесалиев, Д.И. Обоснование проекта сети терминалов тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Научно-технических вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 4. – С. 110-117.

5. Илесалиев, Д.И. Перевозка экспортно-импортных грузов в Республике Узбекистан / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский, О.Б. Маликов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 3 (39). – С. 11-17.

6. Илесалиев, Д.И. К вопросу о вместимости складов тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Научно-технических вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №2. – С. 28-37.

7. Курилов, Е.Г. К вопросу о перегрузке грузов на приграничных станциях с разной шириной колеи / Е.Г. Курилов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - № 4. – С. 110-116.

8. Маликов, О.Б. Логистика пакетных перевозок штучных грузов / О.Б. Маликов, Е.К.

Коровяковский, Д.И. Илесалиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 4 (41). – С. 51-57.

9. Маликов, О.Б. Некоторые вопросы экономической эффективности перевозки сыпучих грузов в контейнерах / О.Б. Маликов, Е.Г. Курилов, Д.И. Илесалиев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – Т. 13. – № 4 (49). – С. 493-501.

10. Пензев, В.Н. Кросс-докинг / В.Н. Пензев // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 5 (52). – С. 84-90.

11. Тюрин, А.Ю. Применение кросс-докинга при организации доставки продукции пищевой промышленности / А.Ю. Тюрин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 171-174.

12. Шульженко, Т.Г. Применение методов теории массового обслуживания при моделировании складов кросс-докинга / Т.Г. Шульженко // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. – 2010. – № 1. – С. 281-285.

#### Сведение об авторе

Урманова Зарина Абдивохида кизи – ассистент кафедры «Транспортная логистика и сервис» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, [z.urmanova@mail.ru](mailto:z.urmanova@mail.ru).

## DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF CROSS-DOCKING TECHNOLOGY IN RAILWAY WAREHOUSES

Urmanova Z.A.

Tashkent institute of railway engineering (Tashkent, Uzbekistan)

To date, there is a steady trend of growth in the volume of carriage of packaged goods, the main cause of which is the accelerated development of small and medium-sized businesses. In this connection, there is a need to consider modern transport and storage technologies. The problem is that often there are idle vehicles due to inconsistency of the transport of arrival and departure, as well as their irrational use. The purpose of the whole work is to show the technical and economic feasibility for the railway development of cross-docking technology. This goal is considered in the work as something new for the warehouse system of railway transport, the main task of which many consider only direct overload. The research methods were based on the theory of optimization of economic ties and complete deliveries. The article suggests a mathematical model of cross-docking, which provides the most optimal variant for transshipment of goods to a railway warehouse and their subsequent delivery to end users. Also, based on the proposed mathematical model, a simulation model is built in the Microsoft Excel environment. This study shows that the use of cross-docking technology allows the warehouse system to improve the transformation of cargo traffic.

**Keywords:** railway transport, railway storage, packed-piece cargo, cross-docking, overload.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-02-247-252

### References

1. Antipova O.I., Ermolaev A.I. Application of the cross-docking storage system in warehouse logistics of industrial enterprises. *Economica i sotsium*, 2016. No.5-3, pp. 232-239. (In Russian)
2. Bova V.V., Kureychik V.V., Lezhebokov A.A. Multi-level algorithm for solving transport logistics problems based on the methods of swarm intelligence. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*, 2013, No. 3, pp. 113-118. (In Russian)
3. Ilesaliev D.I. To the question about the layout of the racks in the warehouse. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.1, pp. 99-106. (In Russian)
4. Ilesaliev D.I. Justification of the project network terminal piece cargoes. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.4, pp. 110-117. DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-110-116 (In Russian)
5. Ilesaliev D.I., Korovyakovskiy E.K., Malikov O.B. Transportation of export-import cargoes in the Republic of Uzbekistan. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2014, Vol. 3, No.39, pp. 11-17. (In Russian)
6. Ilesaliev D.I. On the question of the capacity of warehouses of packaged-piece cargoes. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.2, pp. 28-37. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-154-162 (In Russian)
7. Kurilov E.G. Concerning the issue of cargo transshipment at border stations with different track gauges. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.1, pp. 107-111. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-107-111 (In Russian)
8. Malikov O.B., Korovyakovskiy E.K., Ilesaliev D.I. Logistics of package shipments of piece cargo. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2014, Vol. 4, No.41, pp. 51-57. (In Russian)
9. Malikov O.B., Kurilov E.G., Ilesaliev D.I. Some questions of economic efficiency of transportation of bulk cargo in containers. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2016, Vol. 4, No.49, pp. 493-501. (In Russian)
10. Penzev V.N. Cross-docking. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok*, 2012, No.5, pp. 84-90. (In Russian)
11. Tyurin A.Yu. Application of cross-docking in the organization of delivery of food products. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, No.4, pp. 171-174. (In Russian)
12. Shulzhenko T.G. Application of methods of the theory of mass casing in the modeling of cross-docking warehouses. *Vestnik INJEKONa. Seriya: Economica*, 2010, No.1, pp. 281-285. (In Russian)

### Author' information

Zarina A. Urmanova – Assistant Lecturer of Department “Transport logistics and services” at Tashkent institute of railway engineering (Uzbekistan), [z.urmanova@mail.ru](mailto:z.urmanova@mail.ru).

Дата принятия к публикации  
(Date of acceptance for publication)  
04.05.2018

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.06.2018

