

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**З.В. Альметова, В.Д. Шепелев, Е.В. Шепелева, О.Р. Исенова**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

При определении параметров работы транспортно-складских комплексов возникает необходимость выбора критерия оптимизации. Разработана методика определения оптимальных параметров работы комплексов, включающая методы расчёта оптимального количества погрузочно-разгрузочных механизмов и постов. Результаты исследования показывают, что при расчётах оптимального количества приезда подвижного состава под погрузку, разгрузку и продолжительности нормативного времени работы одного разгрузочного механизма. Для определения оптимального количества погрузочно-разгрузочных механизмов и постов в складских комплексах предложен критерий минимальных суммарных затрат транспортно-складских комплексов на выполнение погрузочно-разгрузочных операций и транспортных организаций в связи с простоем подвижного состава под погрузочно-разгрузочными работами. Определено, что экономия комплексных затрат транспортных компаний и терминального комплекса при организации разгрузки автотранспорта двумя погрузочными средствами на одном разгрузочном посту по сравнению с разгрузкой на двух постах составляет 23 %.

**Ключевые слова:** терминальные комплексы, транспортно-складские комплексы, оптимизация, погрузочно-разгрузочные пункты и механизмы, интервал движения, транспортные средства, автотранспорт, производительность постов, целевая функция, параметры складских комплексов.

### Введение

Анализ научных работ [1–4] показывает, что при определении параметров работы транспортно-складских комплексов используются затратные критерии оптимизации в качестве локального оптимума, обеспечивающего минимальные затраты складских комплексов на выполнение погрузочно-разгрузочных операций, но при этом не учитываются в совокупности потери транспортных организаций, связанных с простоем подвижного состава при выполнении разгрузочных работ [5–9].

С позиции системного подхода задачей организации транспортных и технологических работ в складских комплексах является определение производительности, при которой будет обеспечиваться оптимизация суммарных затрат в виде минимальных потерь всех участников транспортного процесса [10–14].

Проблемность ситуации заключается в том, что, с одной стороны, избыточные разгрузочные средства приводят к их простоям и снижению эффективности работы транспортно-складских комплексов. С другой стороны, недостаточное количество механизмов приводит к увеличению простоев подвижного состава. Это отрицательно влияет на эффективность работы всех участников транспортного процесса. При этом снижается интенсивность прохождения грузопотока через логистические цепи [15–21].

Сложившиеся противоречия определяют необходимость проведения дополнительных исследований для установления критерия оптимизации

при определении параметров работы транспортно-складских комплексов.

Таким образом, целью исследования является оптимизация параметров работы транспортно-складских комплексов на основе разработки методики расчёта оптимального количества погрузочно-разгрузочных механизмов и постов.

Объём комплексных затрат определяется как сумма произведений времени простоев автотранспорта под погрузкой-разгрузкой, времени работы погрузочно-разгрузочных механизмов, времени вынужденного простоя погрузочно-разгрузочных механизмов и времени сверхнормативного простоя подвижного состава под погрузкой-разгрузкой свыше планового времени выполнения работ на величину издержек на выполнение соответствующих работ [14, 15].

Учитывая методики авторов [16–18] для обоснования оптимальных параметров транспортно-складских комплексов разработана целевая функция на основе критерия минимума суммарных затрат [18, 19]:

$$Z_{cyzd}^o = F(n_{kp}^o, n_n^o, Z_{cyzd}(n_{kp}^o, n_n^o)) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $Z_{cyzd}^o$  – минимальные совокупные затраты, руб;  $n_{kpi}^o$  – количество погрузочно-разгрузочных механизмов на одном посту, ед.;  $n_n^o$  – количество погрузочно-разгрузочных постов, ед.

Эффективность и производительность работы транспортно-складских комплексов зависит от количества погрузочно-разгрузочных механизмов на одном погрузочно-разгрузочном посту для од-

ного транспортного средства и количества погрузочно-разгрузочных постов в складском комплексе [20, 21].

Установлено, что выбор способа расчета оптимальных критериев работы зависит от соотношения интервалов прихода подвижного состава под погрузку-разгрузку и периода их планового обслуживания. Моделирование позволило выявить три возможных варианта соотношения показателей:

– организуется непрерывная работа транспортно-складского комплекса при одном погрузочно-разгрузочном механизме и заданного потока прибывающего подвижного состава;

– продолжительность планового времени погрузки-разгрузки подвижного состава меньше интервалов их движения;

– плановая продолжительность разгрузочных работ и подвижного состава больше интервалов их движения.

Для каждого случая разработаны функции общих затрат, на основе которых, используя методы функционального анализа, определены выражения для расчета оптимального количества погрузочно-разгрузочных механизмов.

Вариант 1

$$Z_{cvz} = Z_{ci} + Z_{vi} + Z_{zi} = \frac{S_{ci}t_{nl}}{n_{kpl}} + \frac{S_{vi}t_{nl}n_{kpl}}{n_{kpl}} + S_{zi}n_{kpl}\left(t_{nl} - \frac{t_{nl}}{n_{kpl}}\right) = \frac{S_{ci}t_{nl}}{n_{kpl}} + S_{vi}t_{nl} + S_{zi}n_{kpl}t_{nl} - S_{zi}t_{nl}, \quad (2)$$

$$n_{kpl}^o = \sqrt{\frac{S_{ci}}{S_{zi}}}, \quad (3)$$

где  $Z_{ci}$  – расходы в связи с простоем подвижного состава под погрузочно-разгрузочными операциями в пределах планового времени на погрузочно-разгрузочные работы за все время простоя одного транспортного средства под погрузочно-разгрузочными работами с учётом нормы потерь  $S_c$  (руб./ч);  $Z_{vi}$  – расходы на работу погрузочно-разгрузочного механизма с учётом нормы затрат (руб./ч);  $Z_{zi}$  – расходы в связи с вынужденным простоем каждого погрузочно-разгрузочного механизма в период отсутствия подвижного состава, с учётом нормы затрат (руб./ч);  $S_{ci}$ ,  $S_{vi}$ ,  $S_{zi}$  – величина издержек на выполнение соответствующих работ, руб.;  $t_{nl}$  – плановое время обслуживания транспортного средства одним погрузочно-разгрузочным механизмом, ч.

Вариант 2

$$Z_{cvz} = Z_{ci} + Z_{vi} + Z_{zi} = \frac{S_{ci}t_{nl}}{n_{kpl}} + \frac{S_{vi}t_{nl}n_{kpl}}{n_{kpl}} +$$

$$+ S_{zi}n_{kpl}\left(I_c - \frac{t_{nl}}{n_{kpl}}\right) = \frac{S_{ci}t_{nl}}{n_{kpl}} + S_{vi}t_{nl} + S_{zi}n_{kpl}I_c - S_{zi}t_{nl}, \quad (4)$$

где  $I_c$  – интервал движения транспортных средств, ч.

$$n_{kpl}^o = \sqrt{\frac{S_{ci}t_{nl}}{S_{zi}I_c}}. \quad (5)$$

Вариант 3

$$Z_{cvz} = Z_{ci} + Z_{vi} + Z_{zi} = \frac{S_{ci}t_{nl}}{n_{kpl} + n_{kpl}} + \frac{S_{vi}t_{nl}n_{kpl}}{n_{kpl}} + S_{vi}t_{pl} \frac{n_{kpl} + n_{kpl}}{n_{kpl} + n_{kpl}} + S_{zi}\left(n_{kpl} + n_{kpl}\right)\left(\frac{t_{nl}}{n_{kpl}} - \frac{t_{nl}}{n_{kpl} + n_{kpl}}\right) = \frac{S_{ci}t_{nl}}{n_{kpl} + n_{kpl}} + S_{vi}t_{nl} + \frac{S_{zi}t_{nl}\left(n_{kpl} + n_{kpl}\right)}{n_{kpl}} - \frac{S_{zi}t_{nl}\left(n_{kpl} + n_{kpl}\right)}{n_{kpl} + n_{kpl}} = \frac{S_{ci}t_{nl}}{n_{kpl} + n_{kpl}} + S_{vi}t_{nl} + \frac{S_{zi}t_{nl}n_{kpl}}{n_{kpl}} - S_{zi}t_{nl}, \quad (6)$$

где  $n_{kpl}$  – количество механизмов для загрузки и разгрузки, необходимых для устранения очереди, ед.

$$n_{kpl}^o = -(2n_{kpl}) + \frac{1}{2}\sqrt{(2n_{kpl})^2 - 4\left(n_{kpl}^2 - \frac{S_{ci}n_{kpl}}{S_{zi}}\right)}. \quad (7)$$

На рис. 1–3 представлены составляющие и суммарные затраты для различных вариантов соотношения планового времени прибывания транспортных средств и интервалов их движения: плановая продолжительность разгрузки подвижного состава равна интервалам их движения; изменение затрат в случае резерва времени погрузки-разгрузки; изменение затрат в случае, когда плановая продолжительность разгрузки подвижного состава больше интервалов их движения.

При возникновении очереди организуются дополнительные погрузочно-разгрузочные пункты:

$$n_n^o = \frac{n_{kpl}}{n_{kp}}, \quad (8)$$

где  $n_n^o$  – дополнительные погрузочно-разгрузочные посты, ед.;  $n_{kp}^o$  – максимальное количество погрузочно-разгрузочных постов, ед.

С учетом возможных ограничений максимального количества погрузочно-разгрузочных пунктов на складских комплексах рациональное количество постов составит:

$$n_n^* = \begin{cases} n_n', & \text{при } n_n^o > n_n'; \\ n_n^o, & \text{при } n_n^o \leq n_n'. \end{cases} \quad (9)$$

где  $n_n^*$  – рациональное количество постов, ед.

Таким образом, при определении оптимальных параметров работы следует использовать затратные критерии. Установлено, что при средних

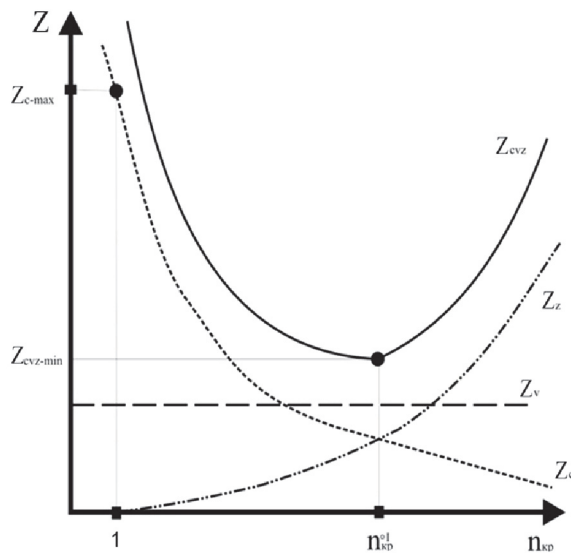


Рис. 1. Изменение затрат в случае  $t_{nn} = l_c$

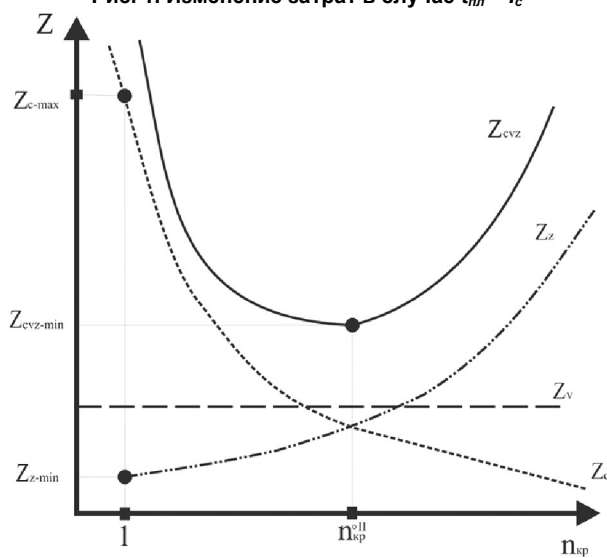


Рис. 2. Изменение затрат в случае  $t_{nn} < l_c$

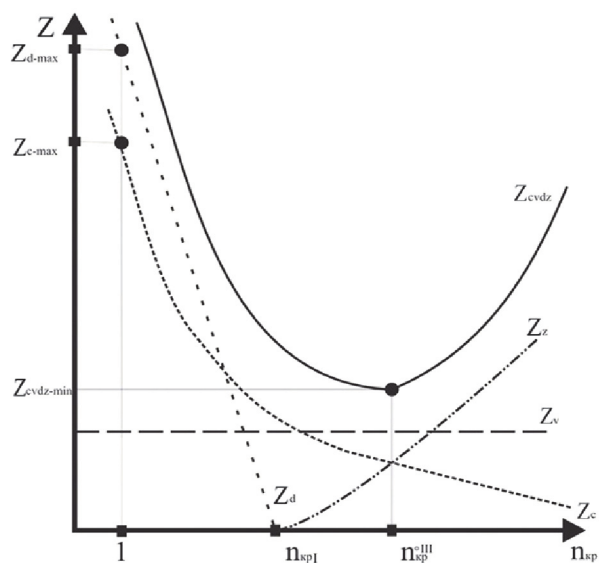


Рис. 3. Изменение затрат в случае  $t_{nn} > l_c$

значениях интенсивности прибытия транспортных средств под погрузку-разгрузку (50 ед./ч), вместимости одного транспортного средства (10 т) и нормативного времени разгрузки (2 мин) одного европоддона механизированным способом одним разгрузочным механизмом, необходимо 2 разгрузочных средства на одном разгрузочном посту для одновременной погрузки-разгрузки одного транспортного средства. При использовании одного погрузочного механизма среднее время разгрузки одного транспортного средства равно плановому значению.

### Выводы

Установлено, что в случае, когда плановое время разгрузки подвижного состава больше интервала их прибытия, один пункт погрузки-разгрузки не будет обеспечивать своевременной разгрузки всех прибывающих автотранспортных средств. Для ликвидации очереди на складском комплексе необходимо использовать дополнительный пункт также с одним погрузочным механизмом. Количество разгрузочных средств, при котором будет обеспечено отсутствие очереди ожидающих выгрузки автотранспортных средств, составит 1,4 ед., а оптимальное количество разгрузочных средств на одном посту составит 1,6 ед. С учетом ограничений (9), оптимальное количество разгрузочных средств для работы на одном посту составит 2 ед. При двух разгрузочных постах очередь на разгрузку отсутствует, так как интервал движения транспортных средств больше планового времени на погрузку-разгрузку. Установлено, что суммарная экономия затрат и потерь транспортных компаний и терминального комплекса при организации разгрузки транспортных средств двумя погрузчиками на одном разгрузочном посту по сравнению с разгрузкой на двух разгрузочных постах составляет 23 %. Полученный эффект получен за счет снижения вынужденного простоя разгрузочных средств в ожидании транспорта для выгрузки.

### Обсуждение и применение

Результаты исследований показывают, что добавление дополнительного количества погрузочно-разгрузочных механизмов на посту обеспечивает сокращение планового времени на выполнение погрузочно-разгрузочных работ, что в первом и втором вариантах приводит к непроизводительным простоям погрузочно-разгрузочных механизмов и связанных с этим потерям транспортно-складских комплексов, а также обеспечивает сокращение времени нахождения подвижного состава под погрузочно-разгрузочными операциями. Увеличение количества погрузочно-разгрузочных механизмов в третьем случае позволяет ликвидировать сверхнормативные простои подвижного состава в очереди на погрузку-разгрузку, за которые администрация складского комплекса уплачи-

вает владельцу транспортного средства штраф за весь период сверхнормативного простоя.

С учетом приведенной зависимости совокупных затрат от количества погрузочно-разгрузочных механизмов устанавливается такое их количество, при котором суммарные затраты на работу и непроизводительные простои транспортно-складских комплексов и потери транспортных организаций будут минимальными.

**Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.**

### Литература/References

1. Abad P.L., Aggarwal V. Incorporating transport cost in the lot size and pricing decisions with downward sloping demand. *International Journal of Production Economics*, 2005, 95(3), pp. 297–305. DOI: 10.1016/j.ijpe.2003.12.008
2. Abdullayev S., Kiseleva O., Adilova N., Bakyt G., Vakhitova L. Key development factors of the transit and transport potential of kazakhstan. *Transport Problems*, 2016, 11, Issue 2, pp. 17–26. DOI: 10.20858/tp.2016.11.2.2
3. Aikens C. H. Facility location models for distribution planning. *European Journal of Operational Research*, 1985, 22(3), pp. 263–279. DOI: 10.1016/0377-2217(85)90246-2
4. Akinc U., Khumawala B. M. Efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem. *Management Science*, 1977, 23(6), pp. 585–594. DOI: 10.1287/mnsc.23.6.585
5. Almetova Z.V., Shepelev V.D., Shepelev S.D. Cargo transit terminal locations according to the existing transport network configuration. *Procedia Engineering*. 2016, 150 (2016), pp. 1396–1402. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.335
6. Bagdonienė D., Mazūra S. The optimisation of loading facilities at the terminal. *Transport*, 2004, 19(6), pp. 239–251.
7. Ballis A., Golias J. Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2002, 36(7), pp. 593–611. DOI: 10.1016/S0965-8564(01)00024-6
8. Bussieck M. R., Winter T., Zimmermann U. T. Discrete optimization in public rail transport. *Mathematical Programming*, 1997, Series B 79 (1–3), pp. 415–444. DOI: 10.1007/BF02614327
9. Cavone G., Dotoli M., Seatzu C. Resource planning of intermodal terminals using timed Petri nets. *13th International Workshop on Discrete Event Systems (WODES)*, 2016, pp. 44–50. DOI: 10.1109/WODES.2016.7497824
10. Darestani S. A., Tahaei M. Vehicle routing with cross-docking decreasing total cost in the supply chain and storage unrestricted capacity. *International*

*Journal of Logistics Systems and Management*, 2015, 20(1), pp. 148–159. DOI: 10.1504/ijlsm.2015.065968

11. Dragović B., Tzannatos E. Simulation modelling in ports and container terminals. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2017, 29(1), pp. 4–34. DOI: 10.1007/s10696-016-9239-5

12. Gambardella L. M., Mastrolilli M., Rizzoli A. E., Zaffalon M. An Optimization methodology for intermodal terminal management. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2001, 12 (5–6), pp. 521–534. DOI: 10.1023/A:1012208605758

13. Gerami V.D. Prospects of container carriages in the Russian market of transport services. *Transport Innovations*, 2013, 1, pp. 33–36.

14. Huber S., Klauenberg J., Thaller C. Consideration of transport logistics hubs in freight transport demand models. *European Transport Research Review*, 2015, 7:32. DOI: 10.1007/s12544-015-0181-5

15. Kellner F., Otto A., Brabänder C. Bringing infrastructure into pricing in road freight transportation – a measuring concept based on navigation service data. *Transportation Research Procedia*, 2017, 25, pp. 794–805. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.458

16. Klimenko V.V., Fedorenko A.I. Logistics centers in transport hubs. <http://www.hse.ru/data/2011/12/28/1262373234/doc> (accessed 05 May 2013).

17. Korpela J., Tuominen M. Inventory forecasting with a multiple criteria decision tool. *International Journal of Production Economics*, 2016, 45 (1–3), pp. 159–168. DOI: 10.1016/0925-5273(95)00136-0

18. Крук Ю.Ю., Постан М.Я. Разработка и анализ динамической модели оптимизации взаимодействия транспортных потоков на портовом терминале // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Т. 1, № 3. С. 19–23. [Kruk Y., Postan M. Development and analysis of dynamic optimization model of transport flows interaction at port terminal. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, vol. 1, no. 3, pp. 19–23. (in Russ.)]. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.61154

19. Lau H.C., Sim M., Teo K.M. Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles. *European Journal of Operational Research*, 2003, 148 (3), pp. 559–569. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00363-6

20. Ližbetin J., Čaha Z. The optimization of the intermodal terminals. *Nase More*, 2015, 62, pp. 97–100.

21. McCalla R.J., Slack B., Comtois C. Intermodal freight terminals: locality and industrial linkages. *Canadian Geographer*, 2001, 45 (3), pp. 404–413.

**Альметова Злата Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [almetovazv@susu.ru](mailto:almetovazv@susu.ru)

**Шепелев Владимир Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [shepelevvd@susu.ru](mailto:shepelevvd@susu.ru)

**Шепелева Елена Витальевна**, аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [sev\\_08@mail.ru](mailto:sev_08@mail.ru)

**Исенова Ольга Рашидовна**, аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [2210olga@mail.ru](mailto:2210olga@mail.ru)

Поступила в редакцию 22 августа 2017 г.

DOI: 10.14529/em170415

## OPTIMIZATION OF OPERATING PARAMETERS OF TRANSPORT AND STORAGE COMPLEXES

**Z.V. Almetova, V.D. Shepelev, E.V. Shepeleva, O.R. Isenova**

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

When determining the operating parameters of transport and storage complexes, the necessity to choose an optimization criterion arises. A methodology for determining the optimal operating parameters of complexes, including methods of calculating the optimal amount of loading and unloading mechanisms and stations, is developed. Results of the research show that when calculating the optimal amount of loading and unloading mechanisms and stations it is advisable to take into account the ratio of arrival intervals of a rolling stock for loading and unloading, along with duration of the normative operating time for a single discharge mechanism. In order to determine the optimal number of loading and unloading mechanisms and stations in

storage complexes, a criterion of minimum total expenditures of transport and storage enterprises for performing loading and unloading operations and transport organizations in relation with downtime of the rolling stock during loading and unloading operations is proposed. It is determined that economizing total expenditures of transport companies and a terminal complex when organizing unloading of an automobile transport by two loading means at one unloading station amounts to 23% compared to unloading at two stations.

**Keywords:** terminal complexes, transport and storage complexes, optimization, loading and unloading stations and mechanisms, traffic interval, transport means, automobile transport, performance of stations, target function, parameters of storage complexes.

**Zlata V. Almetova**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Automobile Transport Department of South Ural State University, Chelyabinsk, almetovazv@susu.ru

**Vladimir D. Shepelev**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Automobile Transport Department of South Ural State University, Chelyabinsk, shepelevvd@susu.ru

**Elena V. Shepeleva**, postgraduate student of the Automobile Transport Department of South Ural State University, Chelyabinsk, sev\_08@mail.ru

**Olga R. Isenova**, postgraduate student of the Automobile Transport Department of South Ural State University, Chelyabinsk, 2210olga@mail.ru

*Received 22 August 2017*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Оптимизация параметров работы транспортно-складских комплексов / З.В. Альметова, В.Д. Шепелев, Е.В. Шепелева, О.Р. Именова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2017. – Т. 11, № 4. – С. 111–116. DOI: 10.14529/em170415

### FOR CITATION

Almetova Z.V., Shepelev V.D., Shepeleva E.V., Isenova O.R. Optimization of Operating Parameters of Transport and Storage Complexes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2017, vol. 11, no. 4, pp. 111–116. (in Russ.). DOI: 10.14529/em170415