

## Модели логистики технологического аутсорсинга в транспортно-логистических системах

*К.А. Годованый, В.Д. Верескун, А.Н. Гуда, И.Д. Долгий, Э.А. Мамаев*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

**Аннотация:** Реализация рыночных механизмов в транспортно-логистической системе железнодорожной отрасли способствует развитию конкурентных отношений между участниками, стимулирует поиск новых способов получения конкурентного преимущества.

Технологический аутсорсинг промышленных предприятий является одним из направлений такого развития, который рассматривается для операторских компаний на рынке железнодорожных перевозок, обеспечивая рост эффективности организации движения за счет перераспределения сфер ответственности в цепочке организации поставок.

Рассматриваются возможные варианты организации взаимодействия операторских компаний и промышленных предприятий и модели организации технологического аутсорсинга. Общая структура представлена схематически в графовой постановке двудольными графами с различными видами отношений «один к одному», «один к многим».

Представлены оптимизационные математические модели логистики такого взаимодействия с разным уровнем обобщения в нелинейной и комбинаторной постановках, адекватно отражающие практику применения технологического аутсорсинга.

**Ключевые слова:** транспортно-логистические системы, технологический аутсорсинг, операторская деятельность, механизм взаимодействия «один к одному», «один к многим», линейное целочисленное программирование.

**Введение.** Развитие транспортно-логистических систем происходит преимущественно за счет повышения уровня интеграции и координации между элементами системы и оптимизации организации логистических потоков [1, 2]. Несмотря на наличие системы нормирования структур управления, которые обосновываются ограниченностью инфраструктуры, сохраняется также большое число возможностей для реализации рыночных механизмов и развития на их основе конкуренции среди участников рынка. Конкуренция также стала возможна в результате разделения крупных железнодорожных структур на отдельные департаменты и появления

---

возможностей для частного капитала по вхождению на рынок железнодорожных перевозок. Примером этого является выделение вагонной составляющей в структуре железнодорожного тарифа на перевозку грузов, и, как следствие, быстрый рост числа операторских компаний, как дочерних от крупных промышленных предприятий, так и вновь созданных для реализации функции управления подвижным составом при организации процесса транспортировки грузов по сети железных дорог.

Начиная с 2007 года, операторская деятельность заключалась в организации взаимодействия грузовладельцев и сетевого перевозчика. За последние годы у операторских компаний была создана клиентская база, но при этом крупные операторы не были привязаны ни географически, ни экономически к осуществляемой деятельности. Развитие транспортно-логистических систем подталкивает операторские компании на расширение интеграционных процессов путем диверсификации услуг, так что увеличивается комплекс логистических возможностей, предлагаемых клиенту [3, 4]. В число таких процессов входит технологический аутсорсинг для промышленных предприятий, который позволяет повысить эффективность управления подвижным составом и укрепляет позиции операторских компаний на рынке железнодорожных перевозок. Под технологическим аутсорсингом понимается передача логистическим операторам части обособляемых функций в транспортно-технологических системах, связанных с выполнением технологических и логистических операций в обеспечении не только логистического потока, но и в обслуживании транспортно-логистической инфраструктуры, связанной с этими процессами и находящейся на балансе предприятия. Технологический аутсорсинг также называется промышленным, поскольку передается на аутсорсинг часть производственно-технологических функций. Для промышленных предприятий элементами технологического аутсорсинга

---

могут послужить обслуживанию объектов транспортной инфраструктуры, включая подвижной состав, текущего содержания и эксплуатации подъездных путей и иные функции. Технологический аутсорсинг промышленных предприятий предполагает организацию взаимодействия операторской компании и крупного промышленного предприятия, имеющего собственную логистическую инфраструктуру (собственный парк подвижного состава и подъездные пути необщего пользования), посредством интеграции в структуру компании-клиента и передачи целиком или частично транспортного бизнес-процесса под управление операторской компании с целью повышения эффективности реализации функций собственных подразделений за счет использования более совершенных методов и способов [5-7].

В исследовании рассматриваются модели логистики взаимодействия предприятий транспортно-логистического рынка при технологическом аутсорсинге в зависимости от разных видов обобщения задачи, учета параметров и критериев оценки эффективности. Для простоты доступности изложения нами предпринята попытка представления моделей в обобщенных детерминированных постановках, так что будем рассматривать промышленные предприятия в качестве компаний клиентов и операторские компании как логистические компании.

**Постановка задачи.** Простую постановку механизма взаимодействия промышленных компаний и операторов подвижного состава можно представить в виде двудольного графа, по одной стороне которого расположены операторы, по другой – промышленные предприятия. Каждый из участников стремится организовать взаимодействие с той компанией, которая является более приоритетной согласно интегральному критерию предпочтения [8]. В нашем случае под таким критерием можно понимать интегрированную оценку определенных характеристик контрагента, которая

---

позволит сформировать однозначный список предпочтений и будет являться движущей силой процесса подбора оптимального контрагента.

Сам процесс взаимодействия можно описать следующим образом. В транспортно-логистической системе железнодорожной отрасли присутствует  $n$  промышленных предприятий, имеющих подъездные пути и желающие передать их в управление аутсорсинговой компании оператору, также имеется  $n$  операторских компаний, которые хотели бы стать исполнителем работ по обслуживанию подъездных путей на промышленном предприятии. Каждая промышленная компания может нанять только одного исполнителя, а каждая операторская компания может вести переговоры с  $n$  промышленными компаниями для выполнения задач технологического аутсорсинга. Данная задача решается с помощью алгоритма Гейла-Шепли или алгоритма устойчивых паросочетаний. Он позволяет, используя методы комбинаторики, определить паросочетания и исключить неустойчивость в комбинациях участников рынка.

**Формализация моделей технологического аутсорсинга.** Имеется множество операторских компаний (operator companies)  $O$  и множество промышленных компаний (industrial enterprise)  $I$  (рис. 1.) Взаимодействие представлено на графе ребрами, при этом каждый участник может иметь договор только с одним из участников. Данную модель назовем базовой, так как для приближения характеристик модели к параметрам моделируемой системе требуется введение дополнительных ограничений и условий [9, 10]. В случае однокритериальной постановки задачи, задача сводится к задаче линейного целочисленного программирования, где требуется найти план прикрепления операторских компаний к промышленным предприятиям  $x_{ij}$ , доставляющий максимум целевой функции:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} - \max_{\|x\|} \quad (1)$$

---

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если к предприятию } j \text{ прикрепляется} \\ & \text{операторская компания } i, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

(2)

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \text{ для всех } j = 1, 2, \dots, n; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \text{ для всех } i = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

где  $c_{ij}$  – эффект от «закрепления»  $i$ -й операторской компании к промышленному предприятию  $j$ .

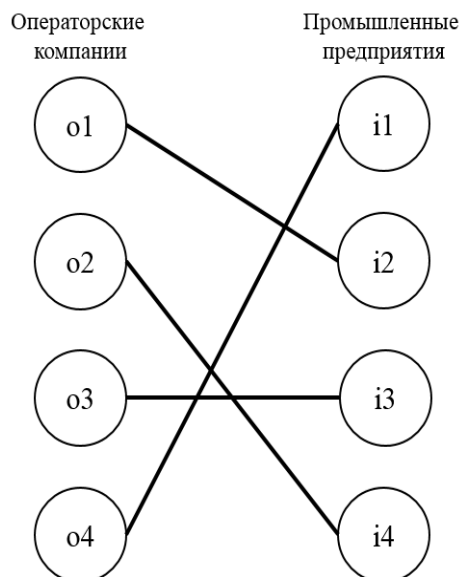


Рис. 1. – Механизм взаимодействия участников транспортно-логистической системы при технологическом аутсорсинге в отношениях «один к одному»

Представляет интерес, когда отношения между операторскими компаниями и промышленными предприятиями носит характер «один к многим», то есть одна операторская компания может быть агентом технологического аутсорсинга более одного промышленного предприятия (рис. 2).

В линейной постановке при числе промышленных предприятий  $m$  задача сводится к следующему виду:

Найти  $x_{ij}$  определенный по (2), такой, что:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} - \max_{\|x\|} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \text{ для всех } j = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

В данной постановке в задаче (1)-(4) ограничение (4) становится избыточным, а (6) определяет необходимость технологического аутсорсинга предприятия операторской компанией.

В области загрузки мощностей операторских компаний и возможностей по предоставлению технологического аутсорсинга могут быть ограничения на число обслуживаемых предприятий. Пусть  $b_j$  – предельное число предприятий для реализации технологического аутсорсинга. Тогда в задачи (6), (5), (2) добавляется ограничение:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq b_j, \text{ для } j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

При наличии детерминанта для операторских компаний, определяющих объем ресурса (мощности) для обеспечения технологического аутсорсинга, модификация задачи имеет нижеследующий вид.

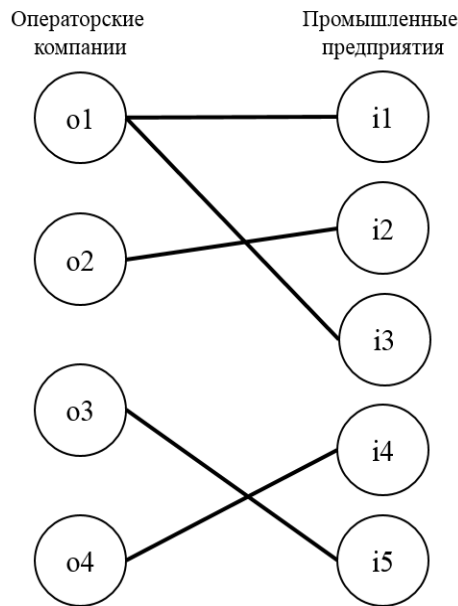


Рис. 2 – Механизм взаимодействия участников транспортно-логистической системы при технологическом аутсорсинге в отношениях «один к многим»

Известны  $a_i$  – мощность операторской компании для технологического аутсорсинга промышленных предприятий, выраженная в определенных единицах (например, кадровое и технологическое обеспечение),  $b_j$  – мощность промышленного предприятия для проведения технологического аутсорсинга в выше приведенных единицах, тогда возникают ограничения следующего вида:

$$\sum_{j=1}^m b_j x_{ij} \leq a_i, \text{ для } i = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Логичным является условие неделимости услуги технологического аутсорсинга промышленного предприятия.

Таким образом, задача оптимальности технологического аутсорсинга промышленных предприятий относится к классу задач линейного программирования.

С другой стороны, экономические и технологические процессы в своих оценках имеют эффект масштаба, то есть увеличения эффекта на единицу

услуги при увеличении общего объема услуги. В таких условиях  $c_{ij}$  является функцией от  $b_j$ , то есть не только  $c_{ij} = c_{ij}(b_j)$ ,

$$c_i(y_j) = c_i(\sum_{j=1}^m b_j x_{ij}). \quad (9)$$

Тогда:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n c_i(\sum_{j=1}^m b_j x_{ij}) - \max_{\|x\|} \quad (10)$$

Представляет интерес также комбинаторная постановка задачи.

Пусть для каждой операторской компании  $i$  определено подмножество  $P_i \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$  – промышленных предприятий, которые могут быть вовлечены в технологический аутсорсинг  $i$ -ой операторской компании (рис. 3)

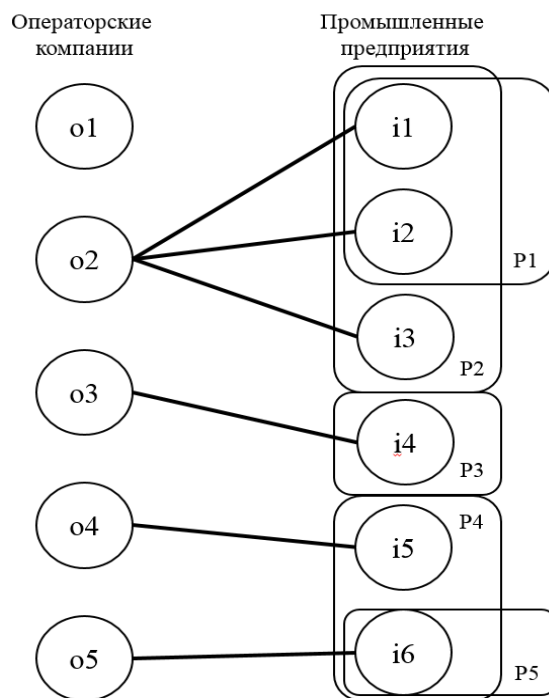


Рис. 3. – Механизм взаимодействия участников транспортно-логистической системы при технологическом аутсорсинге с заданным допустимым подмножеством  $P_i$



Тогда

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ая операторская компания} \\ & \text{прикрепляется к } j\text{-му предприятию и } j \in P_i, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (11)$$

и задача имеет вид (8), (10)-(11), – линейная задача целочисленного программирования.

Возможны случаи технологического аутсорсинга, когда он включает более одного вида услуг. Возможны следующие условия при формализации задачи:

а) реализация услуг как самостоятельных с возможным привлечением разных операторов;

б) совместная реализация услуг с участием одного и того же оператора.

В первом случае задача распадается на независимые подзадачи по каждому виду услуг, которые могут решаться в вышеприведенных постановках как самостоятельные задачи по каждому виду услуги. Во втором случае целевая функция – критерий эффективности, включает столько слагаемых, сколько видов услуг, а ограничение на ресурсное обеспечение задачи приводится по каждому виду услуги. При этом эффект масштаба, определяемый (9), включает индекс вида услуги.

На рынке транспортно-логистических услуг, состоящем из  $n$  операторов и  $m$  промышленных предприятий, необходимо реализовать технологический аутсорсинг промышленных услуг  $K$ -видов.

Известны:

$a_{ik}$  – мощность  $i$ -ой операторской компании по предоставлению услуги  $k$ ;

$b_{jk}$  – потребности в технологическом аутсорсинге  $j$ -го промышленного предприятия в услуге  $k$ -го вида;

$P_{ik} \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$  – подмножество промышленных предприятий, допустимых к технологическому аутсорсингу услуги  $k$ -го вида операторской компанией  $i$ ;

Тогда требуется найти оптимальный план технологического аутсорсинга промышленных предприятий для  $K$ -видов, т.е.:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ая операторская компания} \\ & \text{прикрепляется к } j\text{-му предприятию и } j \in P_{ik}, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (12)$$

Модель задачи имеет вид (10)-(8), в которых в переменные и ограничения добавлен индекс  $k$ .

**Заключение.** Поэтапная формализация моделей технологического аутсорсинга для промышленных предприятий и аддитивная схема работы с ограничениями и условиями реализации позволяет смоделировать различные возможные системы взаимодействия участников на железнодорожном транспортном рынке и при этом выделить критерии эффективности для дальнейшей оптимизации. Учитывая существование на рынке множества операторов и множества компаний-клиентов, а также множественность предоставляемых услуг со стороны операторских компаний и их неделимость, используя алгоритмы линейного целочисленного программирования, можно определить оптимальные значения критериев и оптимизировать систему технологического аутсорсинга.

Создание универсальной модели, способной, с определенными допущениями, описать процесс организации системы взаимодействия операторских компаний с промышленными предприятиями и оптимизировать параметры этого взаимодействия с учетом заданных условий (параметры, которые определяются логикой технологического процесса

предприятия и рыночной конъюнктурой), способствует интеграционным процессам, происходящим в транспортно-логистической системе Российских железных дорог. Такой инструмент позволит клиентам технологического аутсорсинга лучше ориентироваться среди множества операторских компаний, а самим компаниям – регулировать параметры предлагаемых услуг, создавая конкурентоспособное предложение на рынке.

Разные подходы к моделированию логистики технологического аутсорсинга связаны с вариативностью постановки задачи и факторного пространства для их формализации, целями исследования и конкретными условиями функционирования сегмента экономики (рынка). Представленные модели разных классов могут стать базой для решения задач практического технологического аутсорсинга.

### Литература

1. Kolesnikov M.V., Lyabakh N.N., Mamaev E.A., Bakalov M.V. Efficient and secure logistics transportation system // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012031 IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/918/1/012031
2. Савин Г.В. Онтология транспортно-логистической системы в условиях цифровизации. ЦИТИСЭ. 2019. № 5 (22). С. 335-343.
3. Кацер Н.Н., Паламарчук Г.И., Федоров В.П. Организация аутсорсинговой деятельности на транспорте // Сборник трудов «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах». СПб: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2020. С. 127-133.
4. Sanchis-Pedregosa, C., Machuca, J.A.D. and González-Zamora, M.-d., 2018. Determinants of success in transport services outsourcing: empirical study in

Europe. The International Journal of Logistics Management, Vol. 29 No. 1, pp. 261-283. URL: [doi.org/10.1108/IJLM-09-2016-0207](https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2016-0207)

5. Годованый К.А., Колесников М.В. Технологический аутсорсинг как инструмент развития рынка операторских компаний // Известия Транссиба. 2020. № 3 (43). С. 97-107.

6. Мамаев Э.А., Годованый К.А. Методические аспекты оценки рынка операторской деятельности на железнодорожном транспорте // Сборник научных трудов IV международной научно-практической конференции «Транспорт и логистика: пространственно-технологическая синергия развития», Ростов н/Д.: Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2020. С. 184-187.

7. Мамаев Э.А., Колесников М.В. Модели структурного развития транспортного холдинга // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 4. С. 28-30.

8. Колесников М.В., Шаповалова Ю.В. Математический инструментарий процессного подхода при организации транспортно-логистических цепей // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2019. № 2 (72). С. 98-103.

9. Мамаев Э.А., Хашев А.И. Объектная модель городской транспортной системы в оптимальном управлении // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4899](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4899).

10. Мамаев Э.А. Гуда А.Н., Годованый К.А. Модель активности агентов в транспортно-логистических и технологических системах // Инженерный вестник Дона. 2021. № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7345](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7345)

## Reference

1. Kolesnikov M.V., Lyabakh N.N., Mamaev E.A., Bakalov M.V. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012031 IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/918/1/012031
2. Savin G.V. TSITISE. 2019. № 5 (22). pp. 335-343.
3. Katser N.N., Palamarchuk G.I., Fedorov V.P. Organizacija outsorsingovoj dejatel'nosti na transporte [Organization of outsourcing activities in transport]. Sbornik trudov «Razvitie infrastruktury i logisticheskikh tehnologij v transportnyh sistemah». SPb.: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija Imperatora Aleksandra I, 2020. pp. 127-133.
4. Sanchis-Pedregosa, C., Machuca, J.A.D. and González-Zamora, M.-d., 2018. The International Journal of Logistics Management, Vol. 29 No. 1, pp. 261-283. URL: doi.org/10.1108/IJLM-09-2016-0207
5. Godovany K.A., Kolesnikov M.V. Izvestija Transsiba. 2020. № 3 (43). pp. 97-107.
6. Mamaev E.A., Godovany K.A. Sbornik nauchnyh trudov IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Transport i logistika: prostranstvenno-tehnologicheskaja sinergija razvitija», Rostov n/D.: Rost. gos. un-t putej soobshhenija, 2020. pp. 184-187.
7. Mamaev E.A., Kolesnikov M.V. Transport: nauka, tehnika, upravlenie. 2012. № 4. pp. 28-30.
8. Kolesnikov M.V., Shapovalova Yu.V. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. 2019. № 2 (72). pp. 98-103
9. Mamaev E.A., Khashev A.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4899.
10. Mamaev E.A., Guda A.N., Godovany K.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7345