**УДК 658.71 (043)**

**Д.И. ЮГОВА, С.В. СИЗЫЙ, В.М. САЙ**

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТЕЙНРЕРНОГО ТЕРМИНАЛА – ЭЛЕМЕНТА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРОТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Контейнерные перевозки являются одним из наиболее развивающихся видов транспортировки грузов, поскольку они позволяют максимально унифицировать и оптимизировать процесс грузоперевозки, обеспечить сохранность перевозимых грузов. В связи с этим объемы контейнерных перевозок в России ежегодно растут в среднем на двадцать процентов [1].

Уральский регион обладает высоким потенциалом в развитии контейнерных перевозок. Это объясняется транзитным географическим положением региона, высокой концентрацией промышленного производства, а также появлением на уральском рынке крупных международных компаний и торговых сетей.

Екатеринбург является крупным железнодорожным узлом и обслуживает грузовые потоки Свердловской, Пермской, Челябинской и Тюменской областей, а также в значительной степени Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. В настоящее время развитию контейнерных перевозок в Екатеринбурге способствует расположение города в международном транспортном коридоре, связывающем Европу и Азию [2].

Лидером российского рынка контейнерных перевозок (и уральского рынка в частности) является ОАО «ТрансКонтейнер» – дочерняя компания ОАО «РЖД». На балансе ОАО «ТрансКонтейнер» состоит 48 тыс. универсальных контейнеров, 24 тыс. фитинговых платформ и 47 контейнерных терминалов. Крупнейший на Урале терминал, принадлежащий компании, расположен на станции Екатеринбург Товарный [3].

Кроме того, собственные контейнерные терминалы в Екатеринбурге имеют компании ЗАО «Урал-контейнер», ООО «Модуль», ООО «Евро-азиатский контейнерный сервис» [4-6]. Также, по инициативе компании «Оборонснабсбыт», строиться новый контейнерный терминал, расположенный в районе аэропорта Кольцово [7].

Значимыми участниками регионального рынка контейнерных перевозок являются региональные и национальные экспедиторы, выполняющие посреднические функции, агентства морских контейнерных линий и крупных логистических компаний, операторы подвижного состава, а также контейнерные площадки, принадлежащие Дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД». В целом, по оценкам экспертов, на уральском контейнерном рынке работают до 80 различных по величине логистических компаний, 10 из них обладают собственным контейнерным парком [3].

Таким образом, можно утверждать о формирующейся в регионе терминальной организационной сети [8-10]. Схема транспортно-логистической сети уральского региона представлена в [11].

На сегодняшний день около 30 % контейнеров, обращающихся по сети ОАО «РЖД», принадлежат ОАО «ТрансКонтейнер», остальные – морским контейнерным линиям и частным операторам. Преследуя интересы своей компании, филиал ОАО «ТрансКонтейнер» на Свердловской железной дороге отдает предпочтение обработке контейнеров собственного парка и ограничивает погрузку и простой контейнеров других компаний на своем терминале. В настоящее время эти ограничения вполне оправданы, так как терминал «ТрансКонтейнер» не способен в полном объеме обрабатывать возросшие контейнеропотоки.

В данных условиях возникает необходимость в разработке имитационной модели региональной транспортно-логистической сети контейнерных перевозок, позволяющей выявлять наиболее эффективные направления технологического развития сети и организации взаимодействия ее элементов.

Данная статья посвящена разработке имитационной модели элемента транспортно-логистической сети – контейнерного терминала «ТрансКонтейнер» на станции Екатеринбург Товарный, с учетом приоритетов по обслуживанию заявок при ограниченной мощности терминала.

Логистический процесс на терминале можно представить в виде следующей схемы (рис.1).



*Рис. 1.* Схема потоков и операций с контейнерами на терминале «ТрансКонтейнер»

Терминал обслуживает два вида входящих потоков: контейнеры, которые подаются под выгрузку и контейнеры, которые подаются под погрузку. Операции с контейнерами, производимые на терминале, такие как погрузка и выгрузка контейнеров, подача порожних контейнеров отправителям под погрузку, выдача груженых контейнеров получателям, возврат порожних контейнеров на терминал – рассчитываются исходя из объема входящих потоков и мощности терминала.

Процесс моделирования операций с контейнерами на терминале можно представить в виде пошагового алгоритма, где на каждом последующем этапе распределяется производственная мощность (рис.2). Порядок распределения мощности обусловлен приоритетами выполнения операций. То есть производственная мощность выступает, как ресурс, который, в первую очередь, расходуется на операции высшего приоритета и далее на последующие, в порядке убывания их важности.



*Рис. 2.* Общий алгоритм расчета объемов работ на терминале

*i* – номер испытания; N – количество испытаний

Исходными данными для имитационной модели являются: суточные объемы контейнеров, предъявленных к выгрузке, заявки грузоотправителей на погрузку контейнеров собственности «ТрансКонтейнер» и приватных контейнеров, суточная производительность терминала по приему/ выдаче контейнеров клиентам, суточная производительность терминала по погрузке/ выгрузке контейнеров в вагоны, общая ёмкость контейнерного терминала.

Все исходные параметры (за исключением ёмкости терминала) заданы как случайные величины. В качестве математического аппарата для их определения используется метод статистических испытаний.

Рассмотрим процесс формирования исходных данных. Суточный объем груженых контейнеров, подаваемых под выгрузку $Q\_{i}(j,k)$ зависит от суток (*i*), месяца (*j*) и года (*k*). На основе изучения статистических данных о работе терминала «ТрансКонтейнер» на ст. Екатеринбург Товарный, были установлены законы распределения и определены выражения для расчета суточного объема подачи контейнеров под выгрузку, как случайной величины (табл.1).

*Таблица 1*

Выражения для расчета среднесуточного объема подачи контейнеров под выгрузку, ДФЭ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Месяц | Закон распределения | Статистические характеристики | Выражение для расчета значения |
| *μ* | *σ* | *Me* | *σlg* |
| Январь | Логнорм. | 185,455 | 142,545 | 118,635 | 2,725 | $$Q\_{1}=185,455∙e^{2,725(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Февраль | Логнорм. | 182,912 | 129,304 | 129,372 | 2,261 | $$Q\_{2}=182,912∙e^{2,261(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Март | Логнорм. | 219,044 | 96,121 | 196,828 | 1,143 | $$Q\_{3}=219,044∙e^{1,143\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Апрель | Логнорм. | 201,712 | 99,838 | 175,272 | 1,313 | $$Q\_{4}=201,712∙e^{1,313(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Май | Норм. | 342,742 | 143,431 | -  |  - | $$Q\_{5}=342,742+143,431∙Z$$ |
| Июнь | Норм. | 258,333 | 122,020 |  - |  - | $$Q\_{6}=252,333+122,02∙Z$$ |
| Июль | Логнорм. | 233,778 | 145,419 | 183,044 | 1,882 | $$Q\_{7}=233,788∙e^{1,882(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Август | Норм. | 341,129 | 132,219 | -  | -  | $$Q\_{8}=341,129+132,219∙Z$$ |
| Сентябрь | Логнорм. | 268,129 | 141,068 | 228,020 | 1,502 | $$Q\_{9}=268,129∙e^{1,502(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Октябрь | Логнорм. | 265,621 | 186,315 | 189,317 | 2,386 | $$Q\_{10}=265,621∙e^{2,386(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Ноябрь | Логнорм. | 298,227 | 158,642 | 252,531 | 1,555 | $$Q\_{11}=298,227∙e^{1,555(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |
| Декабрь | Логнорм. | 290,185 | 143,489 | 252,227 | 1,401 | $$Q\_{12}=290,185∙e^{1,401(\sum\_{1}^{12}Z-6)}$$ |

Для приведения суточного объема подачи контейнеров под выгрузку к *k*-му году (базисному 2010 году) используется заданный темп роста (), т.е. .

Аналогично рассчитывается спрос клиентов на погрузку контейнеров и, табл. 2 и 3.

*Таблица 2*

Выражения для расчета среднесуточного объема спроса на погрузку контейнеров «ТрансКонтейнер», ДФЭ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Месяц | Статистические характеристики | Выражения для расчета значения |
| *μ* | *σ* |
| Январь | 25,081 | 5,661 |  |
| Февраль | 18,929 | 6,662 |  |
| Март | 23,629 | 6,564 |  |
| Апрель | 20,667 | 4,913 |  |
| Май | 24,597 | 6,693 |  |
| Июнь | 22,167 | 6,046 |  |
| Июль | 25,403 | 6,812 |  |
| Август | 23,952 | 6,247 |  |
| Сентябрь | 24,167 | 5,217 |  |
| Октябрь | 25,403 | 5,926 |  |
| Ноябрь | 26,333 | 5,728 |  |
| Декабрь | 25,565 | 7,479 |  |

*Таблица 3*

Выражения для расчета среднесуточного объема спроса на погрузку приватных контейнеров, ДФЭ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Месяц | Статистические характеристики | Выражения для расчета значения |
| *μ* | *σ* |
| Январь | 45,08 | 7,888 |  |
| Февраль | 38,339 | 8,002 |  |
| Март | 43,119 | 7,224 |  |
| Апрель | 40,675 | 6,923 |  |
| Май | 44,521 | 7,613 |  |
| Июнь | 42,119 | 7,021 |  |
| Июль | 45,403 | 7,812 |  |
| Август | 43,952 | 8,012 |  |
| Сентябрь | 48,167 | 7,217 |  |
| Октябрь | 45,403 | 6,926 |  |
| Ноябрь | 46,333 | 7,728 |  |
| Декабрь | 45,565 | 7,979 |  |

Емкость терминала, то есть максимально возможное количество контейнеров, находящихся на контейнерных площадках, на сегодняшний день равна 1100 ДФЭ.

Рассмотрим содержание каждого этапа расчета объемов работ с контейнерами на терминале. Схемы расчета отражают последовательность обработки поступающих заявок на обслуживание контейнеров.

1. **Подача порожних контейнеров собственности «ТрансКонтейнер» под загрузку**

Суточный объем подачи порожних контейнеров под загрузку () зависит от количества заявок от клиентов () и ограничивается суточной производительностью терминала на прием/выдачу контейнеров () и наличием порожних контейнеров на терминале ().



Величина  определяется исходя из остатка порожних контейнеров и их поступления на терминал в предыдущие сутки.

Остаток неудовлетворенных заявок на подачу порожних контейнеров переходит на следующие сутки: . Невостребованные порожние контейнеры остаются на терминале: .

На первоначальном этапе целесообразно принять допущения, что

Блок схема расчета погрузки на первом этапе представлена на рисунке 3.



*Рис. 3*

1. **Выгрузка груженых контейнеров собственности «ТрансКонтейнер» на терминал**

Количество груженых контейнеров, поступающих на терминал от грузоотправителей () можно определить как:

,

где – суточный объем подачи порожних контейнеров под загрузку,

 – остаток порожних контейнеров у клиентов на *i-*есутки,

– количество порожних контейнеров, поданных под загрузку отправителям без возврата на терминал.

Объем работ по выгрузке груженых контейнеров на терминал для накопления транспортной партии зависит от оставшейся производительности на прием выдачу контейнеров () и свободной емкости терминала ().



Остаток груженых контейнеров в ожидании выгрузки на терминал переходит на следующие сутки: . В целях моделирования целесообразно принять .

Блок схема расчета выгрузки на втором этапе представлена на рисунке 4.



*Рис. 4*

1. **Погрузка груженых контейнеров, собственности «ТрансКонтейнер» в вагоны**

Количество контейнеров, предъявленных на погрузку в вагоны на *i-*ые сутки () зависит от суточного прибытия контейнеров от клиентов и времени накопления транспортной партии (), рассчитываемого как случайная величина: .

Погрузка контейнеров в вагоны () ограничивается суточной производительностью терминала на погрузку/ выгрузку .



Остаток контейнеров в ожидании погрузки в вагоны переходит на следующие сутки: . На первоначальном этапе целесообразно принять .

Блок схема расчета погрузки на третьем этапе представлена на рисунке 5.



*Рис. 5*

1. **Выгрузка контейнеров на терминал, прибывших железной дорогой**

В отношении выгрузки дифференциация контейнеров на приватные и собственности «ТрансКонтейнер» не производиться, то есть в данном случае приоритеты отсутствуют.

Объем работ по выгрузке груженых () и порожних контейнеров () зависит от мощности терминала (), объема входящего потока контейнеров () и свободной емкости ().

При этом, в случае если >



Остаток контейнеров в ожидании выгрузки переходит на следующие сутки: .

Блок схема расчета выгрузки на четвертом этапе представлена на рисунке 6.

 

*Рис. 6*

1. **Выдача груженых контейнеров грузополучателям**

Объем работ по выдаче контейнеров грузополучателям () ограничивается производительностью терминала на выдачу контейнеров () и числом подач автомобилей клиентами под погрузку (), которое является случайной величиной.



Остаток контейнеров в ожидании выдачи грузополучателям переходит на следующие сутки, заполняя емкость терминала: .

Блок схема расчета погрузки на пятом этапе представлена на рисунке 7.



*Рис. 7*

1. **Возврат порожних контейнеров собственности «ТрансКонтейнер» на терминал**

Количество порожних контейнеров, поступающих на терминал от грузополучателей:

,

где – количество груженых контейнеров, выданных грузополучателям,

– количество груженых приватных контейнеров, выданных грузополучателям,

– остаток контейнеров собственности «ТрансКонтейнер» у грузополучателей на *i-*ые сутки,

– количество порожних контейнеров, поданных под загрузку отправителям без возврата на терминал.

Объем работ по выгрузке порожних контейнеров на терминал ограничивается производительностью () и свободной емкостью терминала ().



Остаток порожних контейнеров в ожидании выгрузки на терминал переходит на следующие сутки: . На первоначальном этапе целесообразно принять .

 Блок схема расчета выгрузки на шестом этапе представлена на рисунке 8.



*Рис. 8*

1. **Погрузка порожних контейнеров, собственности «ТрансКонтейнер» в вагоны**

Количество порожних контейнеров, предъявленных погрузке в вагоны на *i-*ые сутки () целесообразно рассчитывать, как случайную величину, зависимую от спроса на порожние контейнеры на других терминалах.

Погрузка порожних контейнеров в вагоны () ограничивается суточной производительностью терминала на погрузку/ выгрузку.



Остаток контейнеров в ожидании погрузки в вагоны переходит на следующие сутки:. На первоначальном этапе целесообразно принять .

На данном этапе можно рассчитать количество порожних контейнеров, принадлежащих «ТрансКонтейнер», находящихся на терминале: . Данная величина используется для расчета подачи порожних контейнеров на последующие сутки (см. этап 1).

Блок схема расчета погрузки на седьмом этапе представлена на рисунке 9.



*Рис. 9*

1. **Возврат порожних приватных контейнеров на терминал**

В случае если терминал справляется погрузкой контейнеров «ТрансКонтейнер» и всем объемом выгрузки, то, в порядке приоритета, он может принимать контейнеры других компаний (приватные) на хранение. Объем работ по выгрузке приватных порожних контейнеров рассчитывается аналогично этапу 6.



Блок схема расчета выгрузки на восьмом этапе представлена на рисунке 10.



*Рис. 10*

**9 – 11. Операции по погрузке приватных контейнеров**

Объем работ по подаче порожних и приему груженых приватных контейнеров, погрузке приватных контейнеров в вагоны рассчитываются аналогично операциям с контейнерами «ТрансКонтейнер» (см. этапы 1,2,3) за вычетом израсходованной емкости и производительности терминала.

На последнем этапе также необходимо рассчитать свободную емкость терминала, которая будет использована в последующие сутки:

,

где 

После завершения 11 этапа алгоритма система возвращается к первому этапу и повторяет расчеты для суток *i*+1. После *N* испытаний предложенная модель позволяет прогнозировать с заданной вероятностью надежности вывода объемы погрузки и выгрузки контейнеров на терминале, занятость контейнерных площадок, среднесуточное количество контейнеров, ожидающих выгрузки в заданный месяц и год. Поэтапно распределяя мощность терминала, можем оценить, выполнение каких операций с контейнерами необходимо в первую очередь, а каких невозможно или ограниченно ввиду недостатка погрузочных механизмов или емкости площадок. Кроме того, модель позволяет имитировать различные сценарии развития терминала и находить наиболее эффективные инвестиционные решения.

Включение в данную имитационную модель других элементов региональной транспортно-логистической сети позволит анализировать загрузку терминальных мощностей региона в условиях интеграции. Интегральный подход к организации взаимодействия элементов транспортно-логистической сети является ключевым для многих теоретических исследований [12-14]. Его сущность состоит в объединении мощностей различных элементов логистической сети с целью получения наибольшего синергетического эффекта от функционирования системы в целом.

Данная имитационная модель может стать удобным практическим инструментом для анализа и прогнозирования операций с контейнерами в регионе, позволит принимать решения по совершенствованию системы в технологическом и организационном аспектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Сергей. «Мы победили кризис» // Дорожная карта, 2010, № 12 (24). – С. 24–26.
2. Шлыков Дмитрий. Затянуть транспортный узел // Деловой квартал – Екатеринбург, 2010, № 15 (731). – С.
3. Официальный сайт ОАО «ТрансКонтейнер». [www.trcont.ru](http://www.trcont.ru) (дата обращения 7.05.11).
4. Официальный сайт ЗАО «Урал-Контейнер». [www.ucont.ru](http://www.ucont.ru). (дата обращения 7.05.11).
5. Официальный сайт ООО «Модуль» [www.modul.spb.ru](http://www.modul.spb.ru) (дата обращения 7.05.11).
6. Официальный сайт OOO «ЕАКС» [www.eaks.ru](http://www.eaks.ru) (дата обращения 7.05.11).
7. <http://ekbrealty.ru/articles/774> (дата обращения 7.05.11).
8. Сай В.М., Сизый С.В. [Организационные структуры как мультиоператорные сети. Задачи прочности и устойчивости](http://elibrary.ru/item.asp?id=12793460)//
[Транспорт Урала](http://elibrary.ru/issues.asp?id=25198&selid=638202), [2009](http://elibrary.ru/issues.asp?id=25198&jyear=2009&selid=638202), [№ 2](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=638202&selid=12793460). – С. 5–8. ISSN 1815–9400.

9. Сай В.М., Сизый С.В. [Геометрические характеристики организационных сетей](http://elibrary.ru/item.asp?id=15539090)// [Мир транспорта](http://elibrary.ru/issues.asp?id=8865&selid=925361), [2010](http://elibrary.ru/issues.asp?id=8865&jyear=2010&selid=925361), [Т. 32](http://elibrary.ru/issues.asp?id=8865&volume=32&selid=925361), [№ 4](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=925361&selid=15539090). – С. 10–17. ISSN 1992–3252.

10. Сай В.М., Сизый С.В., Афанасьева Н.А. [Согласование программ развития ОАО «РЖД» с региональными программами развития транспортной инфраструктуры](http://elibrary.ru/item.asp?id=13756744)// [Транспорт Урала](http://elibrary.ru/issues.asp?id=25198&selid=718647), [2010](http://elibrary.ru/issues.asp?id=25198&jyear=2010&selid=718647), [№ 1](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=718647&selid=13756744). – С. 13–16. ISSN 1815–9400.

11. Югова Д.И.Моделирование продолжительности логистических цепей при организации контейнерных перевозок// Вестник УрГУПС, 2010, №4. – С. 72–81. ISSN 2079–0392.

12. Николашин В. М. Логистические принципы контейнерных перевозок и оптимизация цепей поставок товаров // Транспорт: наука, техника, управление. — М. :ВИНИТИ РАН, 2009, № 1. — С. 28–31.

13. Резер С. М. Логистические центры как организационная основа новых форм взаимодействия // Железнодорожный транспорт, 2007, № 6. — С. 44–47.

14. Сергеев В. И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов. — М. : ИНФРА-М, 2008.