**УДК 658.71 (043)**

***Д.И. Кочнева, В.М. Сай***

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНТЕЙНЕРНОЙ**

**ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

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].

Лидером российского контейнерного рынка является компания ОАО «ТрансКонтейнер», обладающая собственными контейнерными терминалами, парком универсальных контейнеров и подвижным составом. Однако, о ее монопольном положении говорить нельзя. В ходе структурной реформы железнодорожного транспорта были созданы условия для появления большого числа независимых контейнерных операторов, частных контейнерных терминалов и экспедиторов. Таким образом, можно утверждать о наличии сложившегося и функционирующего в России рынка контейнерных перевозок. Вместе с тем, большие размеры страны, разнообразие природных, ресурсных, экономических, производственных условий, а также традиционное экономическое и геополитическое территориальное деление обусловливают необходимость анализа рынка контейнерных перевозок на уровне региона.

Множество компаний, осуществляющих деятельность по организации контейнерных перевозок на территории региона, а также технические средства и объекты транспортной инфраструктуры в совокупности образуют систему.

Опираясь на определения «системы», приведенные в [2–3], а также исследования в области транспортной логистики [4–6] и сетевого организационного дизайна [7– 9] введем понятие региональной контейнерной транспортно-логистической социально-экономической системы. Региональная контейнерная транспортно-логистическая система (далее РКТЛС) – совокупность взаимодействующих хозяйствующих субъектов совместно участвующих в продвижении генерируемых в регионе, поступающих в регион и транзитных контейнеропотоков, представляющая собой интегрированную организационную сеть.

Авторское графоаналитическое представление региональной контейнерной транспортно-логистической системы приведено в работе [10].

В настоящее время в организационной сети при отсутствии интегратора организационные связи между участниками региональной контейнерной транспортно-логистической системы не стабильны. Это зачастую приводит к не организованному движению контейнеропотока в РКТЛС; распределение работ между терминальными мощностями региона не обосновано, нередки случаи встречного движения потоков.

Данные обстоятельства обуславливают необходимость математической формализации региональной контейнерной системы с целью поиска эффективных решений по организации движения контейнеропотоков.

В общем классическом виде модель региональной контейнерной транспортно-логистической системы можно представить, как некоторый объект, преобразующий входящие в него контейнерные потоки (рис. 1).



*Рис. 1.* РКТЛС, как преобразователь потоков

Вектор ** – входящий поток груженых контейнеров, зависящий от объема спроса на контейнеризируемый груз в данном регионе.

Вектор – входящий поток порожних контейнеров, обусловлен дефицитом порожних контейнеров в регионе.

Вектор ** – выходящий поток груженых контейнеров, зависящий от спроса грузоотправителей на контейнерные перевозки в данном регионе.

Вектор * –* выходящий поток порожних контейнеров, обусловлен избытком порожних контейнеров в регионе.

Вектор  *–* пропускная способность системы, зависящая от технической оснащенности терминалов, числа и производительности погрузочных механизмов, вместимости контейнерных площадок и т.д.

Векторы  и  определяют неравномерность объемов контейнеропотока в течение года, а также отражают основную динамику развития контейнерных перевозок в регионе.

Вектор  *–* параметры внешних по отношению к системе воздействий. К ним относится спрос на контейнерные перевозки других регионов, общий уровень контейнеризации грузов, изменения в транспортной системе страны.

Вектор  *–* вектор управляющих организационных воздействий.

Имитационная модель региональной контейнерной транспортно-логистической системы отображает процесс движения контейнеропотока от момента его поступления на терминалы региона до выбытия из системы.

Рассмотрим этапы имитационного моделирования функционирования региональной контейнерной транспортно-логистической системы на примере Свердловской области.

Этап 1. Распределение входящего контейнеропотока между контейнерными площадками региона.

Попадая в систему, входящий контейнеропоток распределяется между контейнерными терминалами, площадками. Порядок распределения потока обусловлен двумя группами факторов: техническими и организационными.

Технические факторы определяют возможность приема тем или иным терминалом/площадкой контейнера определенного типоразмера: среднетоннажного, крупнотоннажного 20-ти или 40-ка футового. Организационные факторы определяют распределение контейнеров в зависимости от их принадлежности: контейнеры собственности ОАО «ТрансКонтейнер» или других собственников.

В Свердловской области контейнеры могут принимать следующие терминалы (площадки) [11]:

1. терминал ОАО «ТрансКонтейнер» на станции Екатеринбург-Товарный;
2. терминал ЗАО «Урал-контейнер»;
3. терминал ООО «Евро-азиатский контейнерный сервис»;
4. терминал ООО «Модуль» на станции Шувакиш;
5. контейнерные площадки дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД», открытые для работы со среднетоннажными контейнерами (контейнерных площадок общего пользования открытых для работы с крупнотоннажными контейнерами, за исключением терминала ОАО «ТрансКонтейнер», в Свердловской области не представлено);
6. контейнерные площадки предприятий, примыкающие к железнодорожным станциям.

В регионе представлены другие контейнерные площадки необщего пользования с малым контейнероборотом, также постепенно вводятся в строй новые, ранее не представленные на рынке, контейнерные терминалы. В рамках поставленной задачи этой категорией целесообразно пренебречь.

Введем обозначения.

Присвоим терминалам, открытым для проведения операций с контейнерами в Свердловской области, и потокам контейнеров порядковые номера. Пусть *u, u+1…U* – номера обрабатываемых системой потоков контейнеров; *v, v+1…V –* номера терминалов принимающих контейнеры к обработке.

Величину *u*-го вида входящего в регион контейнеропотока обозначим . Входящий контейнеропоток является величиной случайной с установленными на основе статистических испытаний параметрами распределения и задается для *j*-го месяца и *k*-го года. На основе анализа статистических данных о работе контейнерных операторов Свердловской области были получены следующие значения для расчета суточного объема поступления груженых контейнеров в регион (табл. 1).

 и  *–* индексы годовой и внутригодовой динамики поступления контейнеропотоков, для каждого *j*-го месяца и *k*-го года, вычислены в работе [12]. *Z* – случайное число, равномерно распределенное на интервале [-3;3].

*Таблица 1*

Выражения для расчета объема входящих контейнеропотоков

|  |  |
| --- | --- |
| Тип потока, *u* | Расчетное выражение  |
| Среднетоннажные контейнеры, ед. |  |
| Крупнотоннажные 20-ти футовые контейнеры собственности ОАО «ТрансКонтейнер», ед. |  |
| Крупнотоннажные 40-ка футовые контейнеры собственности ОАО «ТрансКонтейнер», ед. |  |
| Крупнотоннажные приватные 20-ти футовые контейнеры, ед. |  |
| Крупнотоннажные приватные 40-ка футовые контейнеры, ед. |  |

В соответствии с техническими и организационными факторами *u*-й вид потока может быть обработан одним или несколькими терминалами.

Связи между потоками и терминалами отобразим в виде матрицы смежности (табл. 2).

*Таблица 2*

Матрица смежности распределения контейнеропотоков по терминалам

|  |  |
| --- | --- |
| Типыконтейнеропотока, *u* | Контейнерные терминалы (площадки), *v* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |

Элементы матрицы смежности  принимают значения 0 или 1. При  – связь есть, *u*-й поток может быть обработан *v*-м терминалом, при  – связь отсутствует.

В случае если входящий контейнеропоток *u*-го типа распределяется между несколькими терминалами (площадками) необходимо установить соотношения в его распределении, то есть определить какая доля *u*-го потока будет подана для выгрузки на *v*-й терминал.

Поскольку в рамках данной задачи не можем учесть всех факторов распределения потока, воспользуемся методом статистических испытаний и зададим доли распределения потока случайной величиной.

Пусть  – доля контейнеропотока *u*-го типа, выгружаемая на терминале *v*-го типа. Выражения для расчета , как случайной величины, представлены в таблице 3. Алгоритм расчета распределения контейнеропотока представлен на рис. 2.

*Таблица 3*

Выражения для расчета долей распределения потока

|  |  |
| --- | --- |
| *u* | *v* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 |  | 0 | 0 | 0 |  |  |
| 2 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| 3 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| 4 |  |  |  |  | 0 |  |
| 5 |  |  |  |  | 0 |  |



*Рис. 2.* Алгоритм расчета величины контейнеропотока, поступающего на терминалы РКТЛС

Представленный алгоритм отображает распределение суточной величины входящих в систему груженых контейнеров  каждого типа. В результате расчета по приведенному алгоритму получаем матрицу распределения контейнеропотока по терминалам.

Этап 2. Расчет объемов переработки входящего контейнеропотока на терминалах.

После определения величины поступления контейнеров на каждый терминал (площадку), осуществляется расчет объемов переработки контейнеров. Для решения данной задачи необходимо ввести следующие исходные параметры.

фактическая суточная производительность механизмов *v*-го терминала, контейнеро-операций.



где  – длительность смены работы механизма, час,  – время плановых перерывов, час,  – количество механизмов *k*-го типа,  – время цикла одной контейнеро-операции для механизма *k*-го типа, мин., ** – коэффициент, учитывающий внеплановые потери рабочего времени работы погрузочных механизмов (случайное число с установленными на основе статистических испытаний параметрами распределения).

*βv* – доля контейнеров перегружаемых по технологии по технологии «вагон-автомобиль».

*Ev* – емкость контейнерных площадок терминала, ДФЭ.

** – суточный объем подачи автотранспорта для вывоза контейнеров, ДФЭ, случайное число с установленными на основе статистических испытаний параметрами распределения, скорректированное с помощью индексов сезонности.

 – коэффициент, учитывающий резервирование производительности погрузочных механизмов на осуществление операций приема/ выдачи контейнеров клиентам.

 – размер резерва емкости контейнерных площадок, ДФЭ.

 суточный объем поступления порожних контейнеров на терминалы.

Прибывшие груженые и порожние контейнеры  и  могут быть выгружены на площадку, а также непосредственно с вагона на автомобиль.

Объем работ по перегрузу груженых контейнеров на автомобиль () зависит от производительности механизмов терминала (), объема входящего потока груженых контейнеров () и числа подач автотранспорта ().



Объем работ по выгрузке груженых контейнеров на терминал () зависит от оставшейся производительности механизмов терминала () и свободной емкости контейнерных площадок () за вычетом резервных площадей (). Величина  рассчитывается на последнем этапе алгоритма.



Поступление порожних контейнеров под выгрузку () является управляемым параметром и задается размером суточного заказа на порожние контейнеры. Расчет объемов работ по выгрузке порожних контейнеров () осуществляется аналогично расчету объема работ с гружеными контейнерами.

Остаток контейнеров на путях в ожидании выгрузки переходит на следующие сутки: .

Объем работ по погрузке на автотранспорт груженых контейнеров, ожидающих вывоза на площадке, рассчитывается:



Остаток контейнеров, находящихся на терминале в ожидании выдачи грузополучателям, переходит на следующие сутки: .

Этап 3. Расчет объемов поступления порожних контейнеров на терминалы от клиентов

На данном этапе необходимо смоделировать величину возврата на терминалы освободившихся порожних контейнеров. Для решения данной задачи необходимо установить порядок перераспределения потока.

Величины , полученные на предыдущем этапе, группируются по видам потока, то есть рассчитываются .

Порожние контейнеры *u*-го типа возвращаются на терминалы *v*-го типа для последующей погрузки или временного хранения в соответствие со следующими долями перераспределения потока , полученными на основе анализа статистических данных о работе контейнерных операторов Свердловской области. (табл. 4).

Порядок расчета перераспределения контейнеропотока аналогичен первому этапу алгоритма (см. рис. 2).

*Таблица 4*

Выражения для расчета долей распределения потока порожних контейнеров, поступающих от грузополучателей

|  |  |
| --- | --- |
| *u* | *v* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 |  | 0 | 0 | 0 |  | 0 |
| 2 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 |  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 |  |  |  |  | 0 | 0 |
| 5 |  |  |  |  | 0 | 0 |

Кроме того, здесь необходимо учесть, что контейнеры, отправленные для выгрузки грузополучателям, могут вернуться на терминал только на последующие сутки. Таким образом, объем порожних контейнеров, поступающих на терминал от клиентов, составит:

,

где  – количество груженых контейнеров, выданных грузополучателям,  – остаток контейнеров у грузополучателей на *i-*е сутки,  – количество порожних контейнеров, поданных под загрузку отправителям без возврата на терминал.

Объем работ по перегрузу порожних контейнеров напрямую в вагоны для отправки на другие станции ограничивается производительностью () и наличием вагонов ().



Где  – суточный объем отправки порожних контейнеров на другие станции, управляемый параметр,  – доля контейнеров перегружаемых по технологии «автомобиль - вагон».

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



Остаток порожних контейнеров в ожидании выгрузки на терминал переходит на следующие сутки: .

Этап 4. Расчет объемов подачи порожних контейнеров под погрузку.

Суточный объем подачи порожних контейнеров *u*-го типа с *v*-го терминала клиентам под погрузку  зависит от количества заявок от клиентов  и ограничивается фактической суточной производительностью терминала и наличием порожних контейнеров на терминале .

Суточный объем заявок на порожние контейнеры  является случайной величиной с установленными на основе статистических испытаний параметрами распределения, скорректированной с помощью индексов сезонности .

Спрос на порожние контейнеры распределяется между терминалами аналогично порядку распределения входящего контейнеропотока (см. рис. 2).

При определении объема порожних контейнеров, которые могут быть поданы под погрузку, необходимо учесть ниже следующие факты.

При наличии спроса, контейнеры парка «ТрансКонтейнер» могут быть поданы под погрузку вне зависимости от направления следования груза.

Приватные контейнеры могут быть поданы под погрузку отправителям при условии обратного следования груза, то есть в направлении дислокации собственника приватного контейнера.

В случае нехватки порожних приватных контейнеров на площадках частных терминалов, спрос частично может быть удовлетворен из парка «ТрансКонтейнер».

Введем параметр доля порожних контейнеров *u*-го типа на *v*-м частном терминале, которые подаются клиентам на условии обратной загрузки. Алгоритм расчета объемов подачи порожних контейнеров клиентам представлен на рис. 3.



*Рис. 3.* Алгоритм расчета объемов подачи порожних контейнеров под погрузку

Этап 5. Расчет объемов переработки выходящего контейнеропотока на терминалах.

Количество груженых контейнеров, поступающих на терминал от грузоотправителей () определим 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.

Контейнеры могут быть выгружены на площадку, а также непосредственно из автомобиля в вагон.

Объем работ по перегрузу контейнеров из автомобиля в вагон  зависит от производительности механизмов терминала и наличия вагонов для осуществления погрузки (*bijk* ).



Объем работ по выгрузке груженых контейнеров на терминал для накопления транспортной партии зависит от оставшейся производительности свободной емкости терминала () с учетом резервных площадей .



Остаток груженых контейнеров, находящихся на автомобилях в ожидании выгрузки, переходит на следующие сутки:

.

Количество груженых контейнеров, предъявленных к погрузке в вагоны на *i-*е сутки () зависит от времени накопления транспортной партии по определенным направлениям. Введем параметр  доля контейнеров, поступающих под погрузку в текущие сутки, от общего числа груженых контейнеров под накоплением.



Погрузка груженых контейнеров в вагоны () ограничивается суточной производительностью терминала на погрузку/ выгрузку и наличием вагонов.



Остаток контейнеров на терминале в ожидании погрузки в вагоны переходит на следующие сутки: .

Суточное количество порожних контейнеров, предъявленных погрузке в вагоны (), зависит от спроса на порожние контейнеры на других станциях, нормируемая величина.

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



Остаток контейнеров в ожидании погрузки в вагоны переходит на следующие сутки:.

На данном этапе рассчитывается количество порожних контейнеров, находящихся на терминале: . Данная величина используется для расчета подачи порожних контейнеров на последующие сутки.

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

.

Итак, предложенная имитационная модель региональной контейнерной транспортно-логистической системы позволяет прогнозировать с заданной вероятностью надежности вывода объемы погрузки и выгрузки контейнеров на терминалах, занятость контейнерных площадок, суточное количество контейнеров, ожидающих выгрузки в заданный месяц и год. Изменяя исходные управляемые параметры модели, можем имитировать поведение системы в различных условиях и принимать решения по вопросам организации работы как отдельных терминалов, так и системы в целом.

Литература

1. Васильев Сергей «Мы победили кризис» // Дорожная карта, 2010, № 12 (24). – С. 24–26.

2. Садовский В.Н. Системный анализ в экономике и организации производства / Под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волкова, А.П. Градова и др. – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.

3. В. Н. Спицнадель Основы системного анализа: Учеб. пособие. – СПб.: «Изд. дом «Бизнесс-пресса», 2000. – 326 с.

4. Леонтьев Р.Г. Введение в аксиоматику транспортной логистики. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. – 58 с.

5. Сергеев В.И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов – М : ИНФРА-М, 2008. – стр. 976.

6. Николашин В.М. Логистические транспортно-грузовые системы – М : Издательский центр "Академия", 2003. – стр. 304.

7. 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/contents.asp?issueid=638202). – 2009. – [№ 2](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=638202&selid=12793460). – С. 5–8. ISSN 1518-9400

8. Сай В.М. [Методология построения сетевых организационных структур на железнодорожном транспорте](http://elibrary.ru/item.asp?id=16015013) // Дисс. на соискание уч. степ. д-ра техн. наук / Екатеринбург, 2003

9. Сай В.М., Сизый С.В., Вихарев С.В., Варанкина К.А. [Организация содержания транспортной инфраструктуры в сетях с разделенными интересами с применением математической теории автоматов](http://elibrary.ru/item.asp?id=17041712) // Вестник УрГУПС. – 2009. – № 3. – С. 42–53. ISSN 2070-0392

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

11. Тарифное руководство № 4 (ред. от 28.11.2008, с изм. от 22.02.2011) "Книга 2 "Часть 1. Алфавитный список железнодорожных станций"

12. Югова Д.И., Сизый С.В., Сай В.М. Имитационная модель контейнерного терминала – элемента региональной транспортно-логистической сети // Транспорт Урала. 2011. № 2 (29). С. 31 – 38. ISSN 1815–9400.