



► **ЗУЕВА Ольга Николаевна**

Доктор экономических наук, доцент,
заведующая кафедрой товароведения
и экспертизы

**Уральский государственный
экономический университет**
620144, РФ, г. Екатеринбург,
ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45
Тел.: (343) 221-27-59
E-mail: zuevaon@mail.ru



► **СИДОРЕНКО Александр Михайлович**
*И.о. заведующего кафедрой
транспорта и дорожного строительства*

**Уральский государственный
лесотехнический университет**
620100, РФ, г. Екатеринбург,
Сибирский тракт, 37
Тел.: (343) 262-97-16
E-mail: genasor1977@gmail.com



► **ГАЛАКТИОНОВ Александр Дмитриевич**
*Кандидат химических наук,
доцент кафедры бизнес-информатики*

**Уральский государственный
экономический университет**
620144, РФ, г. Екатеринбург,
ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45
Тел.: (343) 267-18-48
E-mail: adgal@km.ru

JEL classification

C63, L92, R42

Имитационное моделирование доставки грузов с помощью сменных кузовов

Аннотация

Повышение эффективности организации грузоперевозок является ключевым вопросом развития экономики. Действие случайных факторов при доставке грузов, принятие решений в условиях неопределенности приводит к снижению устойчивости логистических процессов. В этой связи особую актуальность приобретает создание имитационных моделей. В области автомобильных перевозок активно развиваются новые подходы, основанные на эстафетной доставке грузов. В работе предложено создание имитационной модели эстафетной доставки грузов в среде AnyLogic с применением библиотеки моделирования процессов. Такой подход позволяет представлять логистические активности как последовательность операций и отображать их в процессных диаграммах. Компьютерные эксперименты, выполненные при различных значениях параметров модели, позволяют повысить качество принимаемых управленческих решений по нахождению оптимального режима организации грузоперевозок. Контейнеры в модели представлены агентами типа Cont, в качестве параметров которых определены основные характеристики груза. Бизнес-процессы перецепки контейнеров представляются стейтчартами и настраиваются для каждого перегона в отдельности. Для продвижения контейнеров по фрагментам сети создаются ресурсы типа Truck. Количество ресурсов устанавливается планом смен. В модели учитываются ограничения продолжительности рабочего дня для водителей, скоростные режимы движения на отдельных фрагментах маршрутной сети и другие факторы.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная стратегия России предполагает внедрение инновационных товаротранспортных технологий, соответствующих лучшим мировым достижениям, что обеспечит оптимизацию технологического взаимодействия различных видов транспорта и всех участников транспортного процесса¹. Ставится задача «достичь скорости продвижения товаров автотранспортом до 1400 км/сут и времени движения товаров до 16–20 часов в сутки». Это обеспечит увеличение производительности в 2–4 раза и снижение издержек в 2–3 раза.

В затратах на производство доля транспортных расходов зависит от количества уровней поставщиков. Чем сложнее продукция, тем больше таких уровней. Государство планирует уходить от сырьевой экономики, и если не принять дополнительных мер, доля транспортных расходов в промышленности будет расти. При этом высокие транспортные расходы являются барьером на пути создания сложных производств.

Во всем мире в настоящее время активно развивается ролкерная (накатная) логистическая транспортно-технологическая система перевозок, обработка грузов в которой осуществляется без ис-

пользования кранового оборудования. Применение горизонтальной погрузочно-выгрузки по сравнению с крановой дает экономию энергозатрат в 30–40%. При этом повышается производительность труда и безопасность работ [5].

Интенсивно развивается система доставки грузов сменными кузовами. По динамике роста объемов перевозок эта система демонстрирует высокие конкурентные преимущества и составляет около половины мировых перевозок.

Современные технологии грузоперевозок – основа транспортной логистики. Инновационной системой доставки грузов является эстафетный метод. Активные работы в этом направлении выполняются в ПАО «КАМАЗ» совместно с Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН) [4]. Экономический эффект от применения этой технологии состоит в существенном сокращении простоя грузов в пути, времени доставки грузов, потребности в транспорте и, как следствие, общих затрат на перевозку.

По мнению исследователей, основная причина, по которой эстафетный метод доставки грузов является перспективным на территории РФ, – территориальная разобщенность российского бизнеса, вследствие чего среднее плечо доставки грузов составляет 1200–1800 км. В Европе среднее плечо доставки не более 200 км и при этом имеется

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. <http://rosavtodor.ru/documents/transport-strategy2030/>.

Multi-Agent Simulation for Freight Transportation with Swap Bodies

Abstract

Improving the efficiency of freight services is the core issue in the economic development. The emergence of unexpected events in the process of freight transportation and taking decisions in the conditions of uncertainty impairs the sustainability of logistic processes. In this regard, the creation of simulation models is becoming increasingly topical. The sphere of motor vehicle transport is witnessing the development of new approaches that apply the multi-agent freight system. In the paper, we develop a multi-agent simulation model in *AnyLogic* environment using the process modelling library. This approach allows us to represent logistic activities as a sequence of operations and display them in process diagrams. Computer experiments performed at different values of the model parameters make it possible to enhance the quality of managerial decisions taken to find the optimal mode of organization of freight transportation. In the model, swap bodies are represented by *Cont* agents, and their parameters correspond to the cargo's main characteristics. Business processes of swapping containers take the form of statecharts and are configured to every hauling individually. To move the containers through the network segments, *Truck* resources are added. The shift plan sets the number of resources. The model takes into account the duration of working day for drivers, speed limits of individual parts of the route network and other factors.

сложившаяся сеть логистических терминалов.

Целью исследования является разработка имитационной модели эстафетной доставки груза, выполнение компьютерных экспериментов при различных параметрах системы для нахождения оптимальных режимов работы транспортной сети.

Для достижения поставленной цели в качестве среды моделирования выбран пакет *AnyLogic*. Модель создавалась с помощью библиотеки моделирования процессов. Данные грузопотока хранились в базе данных *AnyLogic* и передавались в параметры агента типа *Cont*. В дополнение к функциональности разработанной модели привлекался пакет визуальной бизнес-аналитики *QlikSense 3.2*.

СИСТЕМА ЭСТАФЕТНОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

По состоянию на сегодняшний день система эстафетной доставки груза в автомобильных перевозках является инновационной и имеет высокие технико-экономические показатели. На территории РФ применение такой системы перевозок особенно эффективно по причине территориальной разобщенности производств. Пионерские работы по эстафетной доставке груза на территории РФ выполняются ПАО «КАМАЗ» и находятся в стадии пилотного проекта.

В настоящее время в России развивается система эстафетной доставки грузов

«Каматейнер»¹, которая базируется на использовании многолетнего опыта различных стран. В нашей стране система «Каматейнер» реализована на базе тягача КамАЗ с пневматической подвеской и съемным кузовом-контейнером. Контейнер имеет выдвижные «ноги», которые фиксируются в верхнем положении. С помощью пневмоподвески автомобиль опускается и выезжает из-под контейнера. Далее контейнер ставится на следующий тягач, «ноги» фиксируются в транспортном положении. На следующем перегоне операция повторяется. После доставки контейнера до следующего пункта перецепки тягач транспортирует другой контейнер в обратном направлении. Эстафетные перевозки по системе тяговых плеч позволяют добиться перемещения груза на 1400 км в сутки при снижении затрат вдвое. Такое технологическое решение позволяет продвигать контейнер практически без остановок [6].

Автомобильные доставки грузов с использованием съемных контейнеров (*Swap Body*) являются принципиально новой технологией грузоперевозок, обеспечивающей достижение значительных технико-экономических преимуществ. Станции перецепки контейнеров выступают узлами маршрутной сети, к которым приписаны водители и тягачи.

¹ Официальный сайт ПАО «КАМАЗ». Каматейнер. URL: <http://www.kamaz.ru/production/related/kamateyner/>. См. также [15].

Olga N. ZUEVA

Dr. Sc. (Econ.), Associate Professor, Head of Commodity Science and Examination Dept.

Ural State University of Economics
620144, RF, Yekaterinburg,
8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45
Phone: (343) 221-27-59
E-mail: zuevaon@mail.ru

Aleksandr M. SIDORENKO

Deputy Head of Transport and Road Construction Dept.

Ural State Forest Engineering University
620100, RF, Yekaterinburg,
Sibirsky Highway, 37
Phone: (343) 262-97-16
E-mail: genasor1977@gmail.com

Aleksandr D. GALAKTIONOV

Cand. Sc. (Chemistry), Associate Professor of Business Informatics Dept.

Ural State University of Economics
620144, RF, Yekaterinburg,
8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45
Phone: (343) 267-18-48
E-mail: adgal@km.ru

Ключевые слова

ЛОГИСТИКА
ЭСТАФЕТНАЯ ДОСТАВКА ГРУЗОВ
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
КОНТЕЙНЕРЫ

Keywords

LOGISTICS
MULTI-AGENT FREIGHT SYSTEM
SIMULATION
SWAP BODY

JEL classification

C63, L92, R42

	data	name	n	status	address
1	01-01-2017 08:00:00	счет-фактура1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель1
2	01-01-2017 09:00:00	счет-фактура2	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель1
3	01-01-2017 10:00:00	счет-фактура3	3	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель1
4	01-01-2017 11:00:00	счет-фактура4	4	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель1
5	01-01-2017 12:00:00	счет-фактура5	5	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель1
6	01-01-2017 13:00:00	счет-фактура6	6	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель1
7	02-01-2017 08:00:00	счет-фактура7	7	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель2
8	02-01-2017 09:00:00	счет-фактура8	8	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель2
9	02-01-2017 10:00:00	счет-фактура9	9	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель2
10	02-01-2017 11:00:00	счет-фактура10	10	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель2
11	02-01-2017 12:00:00	счет-фактура11	11	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель2
12	02-01-2017 13:00:00	счет-фактура12	12	<input checked="" type="checkbox"/>	Получатель2

Рис. 1. База данных характеристик грузов в системе AnyLogic

Маршрутная сеть формируется с учетом ограничения рабочего времени каждого водителя (8 часов). В пунктах перецепки происходит смена водителя и тягача. Таким образом, достигается минимизация простоя грузов в узлах сети.

Система эстафетной перевозки грузов может рассматриваться в качестве технологической основы для создания транслогистической платформы [2; 14], технологическую базу которой образуют развитая транспортная инфраструктура как основа для сопряжения всех видов транспорта и организации мультимодальных перевозок, складское и терминальное хозяйство, IT-инфраструктура, обеспечивающая функционирование бизнес-процессов и контроль в режиме реального времени.

Интегрированная логистика также обеспечивает продвижение продукции через непрерывную и последовательную цепь пошагового добавления стоимости. При этом технология управления бизнес-сетью сводится к планированию оптимального времени отгрузок из множества различных пунктов маршрутной сети в краткосрочной и долгосрочной перспективе с учетом пропускной способности ее элементов.

Одна из основных трудностей моделирования и внедрения современных логистических методов состоит в том, что любая система перевозок функционирует в условиях неопределенности и риска [8].

Моделирование подобных динамических систем связано с решением целого ряда сложных задач по разработке топологии маршрутной сети, определению количества и мест расположения станций перецепок, расчету оптимального количества тягачей и водителей, маршрутизации перевозок грузов по сети, составлению оптимального расписания перевозок грузов между пунктами

маршрутной сети и т.д. Алгоритмический подход к решению подобных задач вызывает серьезные трудности. Одним из возможных методов решения может быть имитационное моделирование, которое для проведения исследований предполагает создание виртуальной копии (модели) будущей реальной действительности [7; 9]. Имитационное моделирование, в отличие от аналитических методов проектирования, может учитывать многие случайные события, например, выход из строя оборудования, ремонтные работы дорожного полотна, создание очередей, погодные условия, нарушение расписания, состояние здоровья водителей и др. Наибольшее распространение в настоящее время приобрело мультиагентное имитационное моделирование [1; 10–13].

Мультиагентное имитационное моделирование активных систем – это новая концепция интеллектуальных информационных технологий. Она ориентирована на совместное использование моделей и методов естественного и искусственного интеллекта для виртуального исследования, идентификации и прогнозирования состояния и поведения активных систем в заданной среде. Принципиальным отличием новой концепции моделирования является введение и формализация сенсорных связей (переменных) между взаимодействующими активными элементами динамической системы [3].

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУЗОПОТОКА

Из большого числа методов моделирования транспортных потоков, как было сказано выше, наиболее перспективным является метод имитационного моделирования, который может учитывать стохастичность и нелинейность логистических

процессов, порождаемых отклонением от расписания движения, состоянием дорожного полотна, опытом водителя, погодными условиями и т.д. Аналитические модели не в состоянии учесть эти факторы в динамике. Оригинальность подхода заключается в создании процессной модели на основе библиотеки моделирования процессов, в отличие от, например, агентной модели, созданной в ПАО «КАМАЗ». К сожалению, информация по эстафетной доставке грузов в автомобильных перевозках носит весьма ограниченный характер и относится в основном к ПАО «КАМАЗ».

В данной работе рассмотрены особенности создания имитационной модели, а также результаты компьютерных экспериментов эстафетной доставки грузов в среде AnyLogic с применением библиотеки моделирования процессов. Такой подход позволяет представлять логистические активности как последовательность операций и в логически понятной форме отображать их в процессных диаграммах.

Расстояние тяговых плеч между станциями перецепки определялось из расчета 4 часа при средней скорости движения для данной зоны обслуживания. Контейнеры и тягачи задавались как агенты и ресурсы с параметрами базы данных AnyLogic.

Параметр *data* включает дату и время отправления контейнера. Параметр *name* содержит информацию о грузе, включенную в счет-фактуру (наименование груза, грузополучатель/грузоотправитель, вес, стоимость, таможенные документы и т.д.). Параметр *n* подразумевает порядковый номер контейнера. Параметр *status* определяет состояние контейнера (наличие или отсутствие груза). Параметр *address* включает реквизиты грузополучателя (рис. 1).

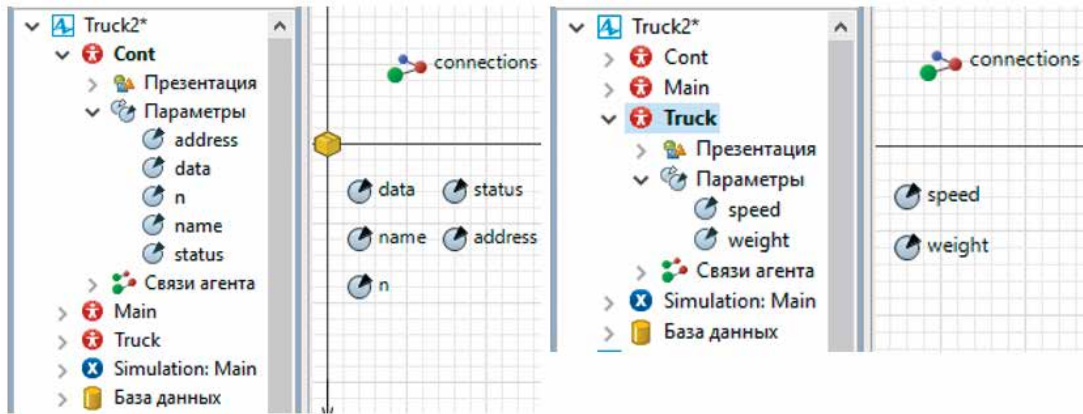


Рис. 2. Агенты типа Cont и ресурсы типа Truck

Таким образом, в параметрах содержится вся необходимая информация для сопровождения грузов, доступная в любой точке маршрута следования. Для продвижения контейнеров по маршрутной сети создается тип ресурса с определенным именем.

Контейнеры определялись как агенты типа *Cont*, а тягачи как ресурсы типа *Truck* с соответствующими параметрами, задаваемыми базами данных (рис. 2).

Рассмотрим транспортную сеть с четырьмя перегонами. Каждый перегон может настраиваться с учетом особенностей движения. Перецепка контейнеров отнесена к компетенции следующей зоны ответственности (после объекта *enter*). Объект *exit* извлекает агента *Cont* из текущего положения (перегона) и помещает его в следующий перегон в зону перецепки контейнера с помощью действия при выходе *enter.take(agent)*. Одновременно в консоль передаются все параметры агента, получившие свое значение к этому моменту времени (текущее время, зона обслуживания, счет-фактура, порядковый номер контейнера, его статус и адрес получателя). Выполняется перецепка контейнера.

Управление перецепкой осуществляется стейтчартами (рис. 3), которые производят проверку очереди (*queue*) и, если она не пуста, привлекают ресурс для выполнения работ. Стейтчарт переходит в состояние «Занят». Время выполнения работ в минутах задается по треугольному закону распределения *triangular(3,5,7)*.

После окончания работы выполняется действие *hold.setBlocked(false)* и объект *hold* дает разрешение на движение контейнера в пределах зоны своей ответственности и переводит стейтчарт в состояние «Свободен». После прохождения контейнера объект *hold* снова переходит

в состояние блокировки, ожидая перецепки следующего контейнера. Каждый стейтчарт может настраиваться индивидуально в зависимости от особенностей инфраструктуры.

Продвижение контейнера по маршруту осуществляется несколькими блоками по следующему алгоритму.

Блок *Seize (seizeRP)* захватывает для агента *Cont* заданное количество ресурсов из указанного блока *ResourcePool (RP)*. Можно захватить любое количество различных ресурсов необходимых для операции сборки. Объект содержит очередь *Queue*, в которой агенты ожидают, пока запрашиваемые ресурсы не станут доступными. Вначале ресурсы запрашиваются для первого агента из очереди, и пока этот агент не захватит ресурсы, ресурсы для последующих агентов не выделяются. Если агентам нужно захватить несколько независимых ресурсов, то лучше использовать несколько объек-

тов *Seize*. Поведение встроенной очереди *Queue* может быть настроено на конкретную задачу с помощью тайм-аутов, вытеснения и приоритетов.

Блок *ResourceAttach (attachRP)* присоединяет к агенту указанные сетевые ресурсы. После присоединения ресурсы будут перемещаться вместе с агентом (сопровождать агента) до того времени, пока они не будут отсоединены или освобождены агентом. На момент присоединения ресурсы должны быть уже захвачены агентом и располагаться в том же узле сети, что и сам агент. Присоединенные ресурсы отображаются на анимации вместе с анимацией агента.

Блок *MoveTo (moveTopoint1)* перемещает агента в узел сети *point1*. Если к агенту присоединены ресурсы, то они перемещаются вместе с агентом со скоростью, заданной для агента.

Блок *ResourceDetach (detachRP)* отсоединяет от агента ранее присоединен-

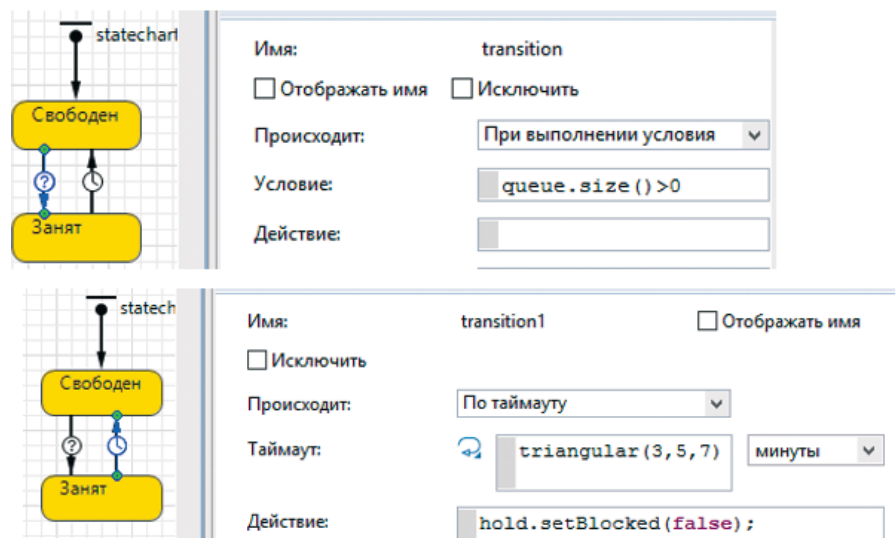


Рис. 3. Управление перецепкой контейнеров

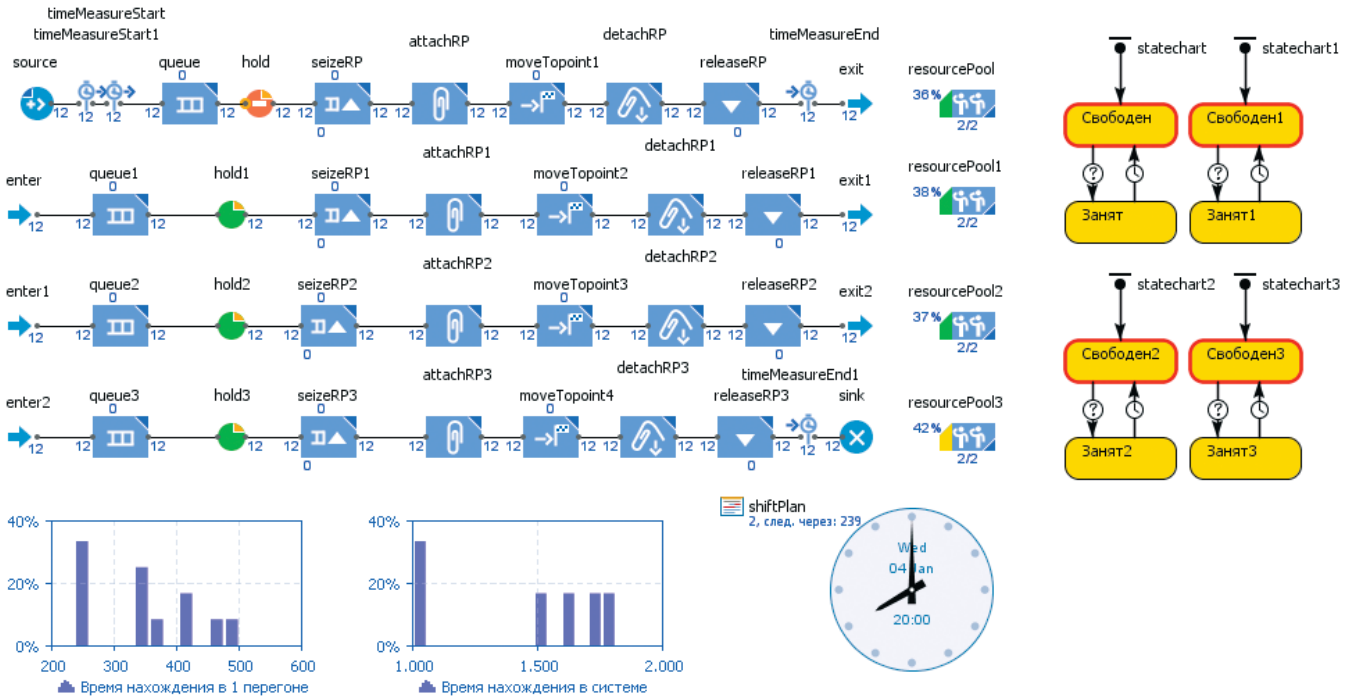


Рис. 4. Компьютерный эксперимент эстафетной доставки грузов (размер смен {2,2})

ные сетевые ресурсы. Отсоединенные ресурсы будут по-прежнему захвачены агентом, но уже не будут сопровождать агента при его перемещении.

Блок *Release* (*releaseRP*) освобождает заданное количество ресурсов, ранее захваченных агентом с помощью объекта *Seize*.

Объекты *exit/enter* осуществляют передачу контейнеров из одной зоны обслуживания в другую. Для измерения времени пребывания груза в отдельных фрагментах сети и в системе в целом применяются объекты *timeMeasureStart/timeMeasureEnd*. Эти данные выводятся на соответствующие гистограммы. Для отображения календарного времени в соответствии с расписанием прибытия агентов используются часы.

В окне «консоли» наблюдаем прохождение каждого контейнера по пунктам перецепки в порядке следования по зонам ответственности ($Z1, Z2 \dots$). Модельное время составляет минуту, что обеспечивает точный контроль движение грузов.

Для управления ресурсами системы создаем объект *Расписание* с именем *shiftPlan*. Например, для двухсменного режима работы: первая смена ($ID=1$) работает с 8:00 до 16:00, вторая смена ($ID=2$) с 16:00 до 24:00 с продолжительностью работы 8 часов. Далее объект *shiftPlan* подключаем к соответствующему ресурсу, а при необходимости создаем объекты *shiftPlan* для каждого перегона в отдельности.

Движение контейнеров в обратном направлении моделируем аналогичным образом. При этом необходимо учесть несимметричность грузопотоков в прямом и обратном направлении, а также количество пустых контейнеров в начальной и конечной точках маршрута, пропускную способность как самой системы, так и транспортной сети. Компьютерный эксперимент эстафетной доставки грузов (размер смен {2,2}) приведен на рис. 4.

В объектах *ResourcePool* отображается занятость ресурсов по каждому перегону в процентах. Соответственно в гистограммах отображается время нахождения контейнеров в первом перегоне и в системе в целом. Выполним компьютерный эксперимент в режиме размера смен {1,1}, т.е. две смены по одному тягачу в смене. В результате занятость ресурсов выросла до 72%, но время прохождения первого перегона и системы в целом возросло более чем в полтора раза. В зависимости от приоритетов при планировании работы транспортной сети можно смоделировать режимы, наилучшим образом учитывающие разнообразные внешние условия (сезонные скорости движения транспорта, состояние дорожного полотна, ремонтные работы на отдельных участках и т.д.), а также оптимальное количество ресурсов в каждом перегоне и время прохождения контейнеров по всем перегонам.

Результаты моделирования отображались в окне консоли в виде истории

прохождения каждого контейнера по пунктам перецепки. Кроме того, модель запускалась в режиме «Записать в лог базу данных». При этом автоматически записывается вся основная статистика выполнения модели по агентам, их параметрам движения, событиям, сообщениям, диаграммам состояний и процессов, использованию ресурсов и т.д.

Далее эти данные могут передаваться в систему визуальной бизнес-аналитики *QlikSense 3.2* для мониторинга всех доступных параметров системы и представляться в облаке для координации движения груза по всей цепочке. В качестве примера на рис. 5 представлены средние и общие значения времени в состоянии «Занят» и «Свободен» стейт-чартов для каждого перегона в системе *QlikSense 3.2* (размер смен {2,2}).

Наблюдаем значительный резерв времени в состоянии «Свободен» по всем перегонам. Учитывая загруженность ресурсов (объекты *ResourcePool*) и резерв времени по станциям перецепки, можно принять управленческое решение по увеличению интенсивности прохождения контейнеров либо искать оптимум по этим двум параметрам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, создана имитационная модель эстафетной доставки грузов. При существующей потребности поступления контейнеров (в соответствии с графиком работы предприятия) можно выполнить исследования и определить

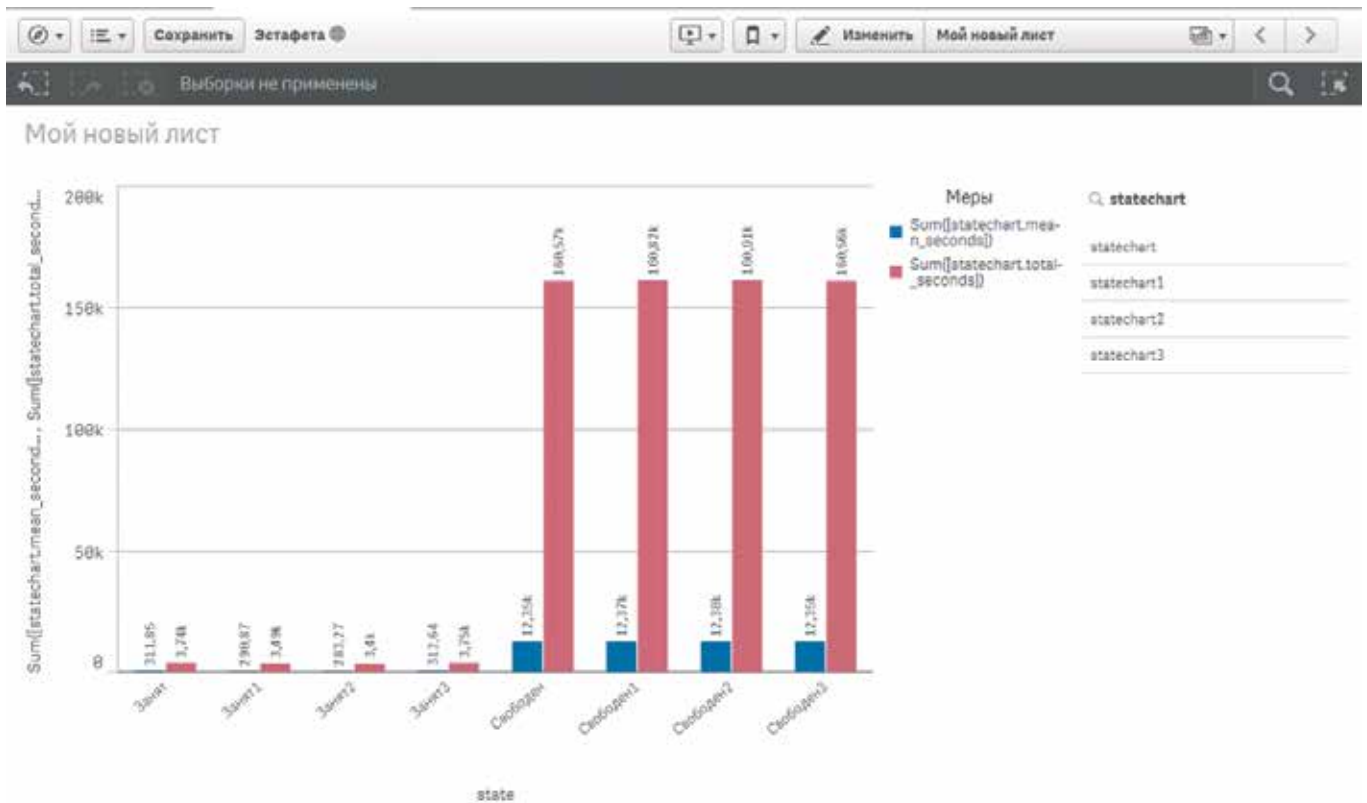


Рис. 5. Средние и общие значения времени в состоянии «Занят» и «Свободен» стейтчартов для каждого перегона в системе QlikSense 3.2 (размер смен {2,2})

количество необходимых тягачей, режимы работы объектов инфраструктуры, пропускную способность системы, учесть особенности транспортной сети и т.д.

В целом автомобильные доставки грузов с использованием сменных кузовов являются новой технологией грузоперевозок, обеспечивающей достижение значительных технико-экономических преимуществ, в том числе ускорение движения грузов, сокращение количества тягачей для перевозки одинакового объема грузов. При междугородных и международных перевозках эти преиму-

щества достигаются за счет перемещения контейнеров эстафетным способом, поэтапно между станциями перецепки разными тягачами. При внутригородских перевозках – за счет сокращения времени на вынужденный простой во время погрузки/разгрузки одних контейнеров, когда тягачи выполняют перевозку других контейнеров. Пионерские работы по эстафетной доставке груза на территории РФ в настоящее время выполняются ПАО «КАМАЗ» и находятся в стадии пилотного проекта. ■

Библиографическая ссылка: Зуева О.Н., Сидоренко А.М., Галактионов А.Д. Имитационное моделирование доставки грузов с помощью сменных кузовов // Управленец. 2017. №6(70). С. 80–86.

For citation: Zueva O.N., Sidorenko A.M., Galaktionov A.D. Multi-Agent Simulation for Freight Transportation with Swap Bodies. *Upravlenets – The Manager*, 2017, no. 6(70), pp. 80–86.

Источники

1. Аксенов К.А., Рудь С.А., Рудь С.И., Неволина А.Л. Применение мультиагентного имитационного моделирования при решении задачи снабжения сети строительных магазинов // Имитационное моделирование. Теория и практика – ИММОД 2015: тр. Седьмой Всерос. науч.-практ. конф.: в 2 т. М.: ИПУ РАН, 2015. Т. 2. С. 13–17.
2. Дунаев О.Н. Потенциал логистики как технологии управления сетевым взаимодействием // Экспертный союз. 2016. № 19. С. 36–41.
3. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3. М.: Лаборатория знаний, 2016.
4. Карсаев О.В., Кулемин В.Ю., Морозов Б.М. Планирование доставки сборных грузов // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 6(37). С. 5–20.
5. Карсаев О.В., Морозов Б.М., Сабитов Р.А. Смирнова Г.С. Технология эстафетной доставки грузов // Экспертный союз. 2016. № 20.
6. Карсаев О.В., Морозов Б.М., Смирнова Г.С., Сабитов Р.А. Моделирование грузоперевозок по технологии каматейнер // Имитационное моделирование. Теория и практика – ИММОД 2015: тр. Седьмой Всерос. науч.-практ. конф.: в 2 т. М.: ИПУ РАН, 2015. Т. 2. С. 139–144.
7. Майоров Н.Н., Ковалев К.Г. Вопросы разработки информационного обеспечения для решения задачи маршрутизации транспортных средств // Системный анализ и логистика. 2013. Вып. 9. С. 21–23.
8. Миротин Л.Б., Гудков В.А., Зырянов В.В. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах. М.: Горячая линия-Телеком, 2010.
9. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. М.: Логос, 2013.
10. Berdegliа G., Cordeau J.-F., Grabkovskaia I., Laporte G. Static pickup and Delivery Problems: a classification scheme and survey // *Top*, 2007. Vol. 15. No. 1. P. 1–31. DOI 10.1007/s11750-007-0009-0.
11. Claes R., Holvoet T., Van Compel J. Coordination in hierarchical pickup and delivery problems using delegate multi-agent systems // *Proceedings of the 4th Workshop on Artificial Transportation Systems and Simulation*. 2010. P. 1–7.
12. Coltin B. Multi-agent Pickup and delivery Planning with Transfers: Doctor of Philosophy in Robotics Thesis. 2014. URL: <http://www.cs.cmu.edu/~mmv/papers/ColtinThesis.pdf>.
13. Coltin B., Veloso M. Optimizing for transfers in a multi-vehicle collection and delivery problem // *Proceedings of the International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS)*, 2012.
14. Hasle G., Kloster O. Industrial vehicle routing. In: *Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization*. Springer, 2007.
15. To the problem of dynamic modelling and management in an integrated environment of the industrial cluster / G. Smirnova, R. Sabitov, N. Elizarova, et al. // *IFAC-PapersOnLine*. 2015. Vol. 43. № 3. P. 1230–1235.

References

1. Aksenov K.A., Rud' S.A., Rud' S.I., Nevolina A.L. [Multi-agent simulation modelling for solving the problem of supplying a network of construction materials stores]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika – IMMOD 2015: Tr. Sed'moy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of 7th All-Russia sci.-pract. conf. "Simulation Modelling. Theory and Practice – IMMOD 2015"]. Moscow, IPU RAN, 2015. Vol. 2. Pp. 13–17.
2. Dunaev O.N. Potentsial logistiki kak tekhnologii upravleniya setevym vzaimodeystviem [Potential of logistics as a technology for managing network interaction]. *Ekspertnyy soyuz – Expert Union*, 2016, no. 19, pp. 36–41.
3. Ivashkin Yu.A. *Mul'tiagentnoe modelirovanie v imitatsionnoy sisteme Simplex3* [Multi-agent modelling in the Simplex3 simulation system]. Moscow, Laboratoriya znaniy Publ., 2016.
4. Karsaev O.V., Kulemin V.Yu., Morozov B.M. Planirovanie dostavki sbornykh грузов [Planning of modular cargoes delivery]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2014, vol. 6(37), pp. 5–20.
5. Karsaev O.V., Morozov B.M., Sabitov R.A. Smirnova G.S. Tekhnologiya estafetnoy dostavki грузов [Technology of relay delivery of goods]. *Ekspertnyy soyuz – Expert Union*, 2016, no. 20.
6. Karsaev O.V., Morozov B.M., Smirnova G.S., Sabitov R.A. [Modelling cargo transportation using the kamatainer method]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika – IMMOD 2015: Tr. Sed'moy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of 7th All-Russia sci.-pract. conf. "Simulation Modelling. Theory and Practice – IMMOD 2015"]. Moscow, IPU RAN, 2015. Vol. 2. Pp. 139–144.
7. Mayorov N.N., Kovalev K.G. Voprosy razrabotki informatsionnogo obespecheniya dlya resheniya zadachi marshrutizatsii transportnykh sredstv [Issues of development of information support for solving the problem of vehicle routing]. *Sistemnyy analiz i logistika – System Analysis and Logistics*, 2013, vol. 9, pp. 21–23.
8. Mirotin L.B., Gudkov V.A., Zyryanov V.V. *Upravlenie грузовыми потоками v transportno-logisticheskikh sistemakh* [Managing freight flows in transport and logistics systems]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2010.
9. Yakimov M.R. *Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnykh modeley gorodov* [Transport planning: the creation of transport models of cities]. Moscow, Logos Publ., 2013.
10. Berdegliа G., Cordeau J.-F., Grabkovskaia I., Laporte G. Static pickup and Delivery Problems: a classification scheme and survey. *Top*, 2007, vol. 15, no. 1, pp. 1–31. DOI 10.1007/s11750-007-0009-0.
11. Claes R., Holvoet T., Van Compel J. Coordination in hierarchical pickup and delivery problems using delegate multi-agent systems. *Proceedings of the 4th Workshop on Artificial Transportation Systems and Simulation*, 2010. Pp. 1–7.
12. Coltin B. *Multi-Agent Pickup and delivery Planning with Transfers: Doctor of Philosophy in Robotics Thesis*. 2014. Available at: www.cs.cmu.edu/~mmv/papers/ColtinThesis.pdf.
13. Coltin B., Veloso M. Optimizing for transfers in a multi-vehicle collection and delivery problem. In: *Proceedings of the International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS)*, 2012.
14. Hasle G., Kloster O. Industrial vehicle routing. In: *Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization*. Springer, 2007. Pp. 397–435.
15. Smirnova G., Sabitov R., Elizarova N., et al. To the problem of dynamic modelling and management in an integrated environment of the industrial cluster. *IFAC-PapersOnLine*, 2015, vol. 43, no. 3, pp. 1230–1235.