

---

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК ПО ТЕХНОЛОГИИ КАМАТЕЙНЕР****Карсаев О.В., Б.М.Морозов, Г.С.Смирнова, Р.А.Сабитов**

**Введение.** Технология грузоперевозок с использованием съемных контейнеров, которая получила название «КАМАТЕЙНЕР» [1] и начинает развиваться в ПАО «КАМАЗ», является основой транспортной логистики, которая может совершить революционные изменения в грузоперевозках. В качестве обоснования такого утверждения достаточно перечислить всего лишь основные ожидаемые технико-экономические эффекты: сокращение затрат на перевозки в 2 раза, сокращение времени доставки грузов в 3 раза, сокращение потребности в транспорте в 3 раза.

Суть данной технологии перевозок заключается в том, что съемный контейнер в течении считанных минут может быть снят с тягача и поставлен на опоры на землю, и/или погружен на тягач. Эта технологическая возможность позволяет создавать принципиально новую логистику грузоперевозок. В сегментах перевозок на короткие расстояния, перевозки внутри города и области или внутри предприятий, эта возможность позволяет избегать простоя тягачей. После доставки контейнера к месту погрузки или разгрузки тягач без потери времени может сразу же использоваться для выполнения следующего заказа. В текущей практике тягач вынужден простаивать в течении времени выполнения погрузо-разгрузочных операций. В сегменте междугородных и международных грузоперевозок доставка может выполняться эстафетным методом - перевозка грузов на тяговых плечах 250-300 км, с использованием съёмных контейнеров. Груз доставляется одним тягачом до конца плеча, затем следующий доставляет его на следующем участке по пути следования груза. Таким образом, съёмный контейнер доставляется по эстафете до пункта своего назначения.

С целью обеспечения воплощения данной технологии в реальную практику было проведено имитационное моделирование данной технологии перевозок. Были разработаны две системы имитационного моделирования: внутригородских и областных перевозок, и перевозок грузов эстафетным методом. Для разработки этих систем использовалась среда AnyLogic [2] и многоагентный подход, реализованный в данной среде. Краткое описание этих систем и результатов экспериментов является предметом данной статьи.

**Моделирование внутригородских и областных перевозок**

В качестве примера для моделирования таких перевозок рассматривался реальный процесс доставки комплектующих изделий со складов поставщиков на склад сборочного конвейера ПАО «КАМАЗ», которые территориально расположены в городе Набережные Челны и ближайших окрестностях (Рис.1). В текущей практике для выполнения данных доставок ежедневно используется порядка 70 грузовиков, выполняющих около 200 рейсов. Целями разработки системы имитационного моделирования было получение количественных оценок тягачей и контейнеров, необходимых для выполнения этих же перевозок при использовании технологии КАМАТЕЙНЕР, и оценки влияния различных факторов на эффективность перевозок.

В разработанной модели были реализованы следующие решения, которые в дальнейшем предполагается использовать в качестве основы организации логистики

перевозок. В начале рабочего дня контейнеры могут располагаться как на складе сборочного конвейера, так и на некоторых складах поставщиков. Это обеспечивает возможность выполнения загрузки контейнеров до прибытия тягачей на площадки. В соответствии с этим в ходе перевозок рассматриваются две схемы рейсов тягачей. Первая схема - тягач доставляет на склад поставщика пустой контейнер, забирает нагруженный контейнер и доставляет его на склад конвейера. Вторая схема – тягач доставляет на склад поставщика пустой контейнер, а нагруженный контейнер забирает с ближайшей площадки, на которой раньше, чем на других, заканчивается погрузка контейнера. Для перевозок грузов с некоторых площадок поставщиков используются тягачи с прицепами, что позволяет в рамках одного рейса доставлять два контейнера с грузом.

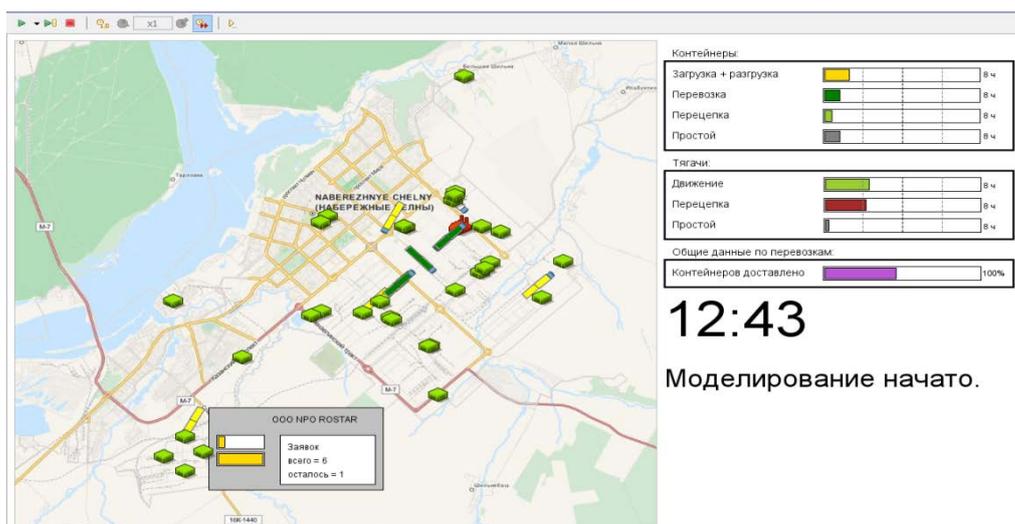


Рис.1. Моделирование внутригородских перевозок

В модели рассматривались следующие факторы, влияющие на эффективность перевозок:

- скорость движения тягачей,
- время погрузки контейнера на площадке поставщика,
- время разгрузки контейнера на складе сборочного конвейера,
- время снятия контейнера с тягача и время установки контейнера на тягач,
- количество пустых контейнеров на начало дня на складе сборочного конвейера,
- количество пустых контейнеров на начало дня на каждой площадке поставщика,
- количество постов загрузки контейнеров на каждой площадке поставщика,
- количество постов разгрузки контейнеров на складе сборочного конвейера,
- время работы каждой площадки,
- количество прицепов и список площадок поставщиков, которые могут посещать тягачи с прицепами,
- время работы водителей.

В качестве основной целевой задачи в зависимости от различных значений факторов было необходимо оценить:

- минимальное количество тягачей для перевозки всех грузов,

- минимальное количество контейнеров для перевозки, и
- стоимость перевозок.

При разработке модели и алгоритма планирования рейсов тягачей также рассматривалась дополнительная задача, которая состояла в следующем. В существующей практике время отгрузки заказов в основном определяется поставщиками комплектующих. Это негативно сказывается на ритмичности работы склада конвейера и конвейера. В связи с этим при переходе на технологию КАМАТЕЙНЕР рассматривается переход к организации перевозок, когда временные требования по доставке комплектующих устанавливаются складом сборочного конвейера.

Архитектура модели состоит из агентов тягачей, агентов склада конвейера и агентов складов поставщиков. Разработанная модель обеспечивает визуальную анимацию (Рис.1) и расчет необходимых показателей процесса перевозок. Визуальная анимация включает отображение складов на карте, движение тягачей, процесс загрузки контейнеров на складах поставщиков. В результате отчета о моделировании рассчитываются необходимые показатели. В частности в качестве показателей работы складов:

- максимальное время простоя пустого контейнера на складе поставщика в ожидании начала загрузки,
- максимальное время простоя груженого контейнера в ожидании отправки,
- время отправки последнего груженого кузова,
- и другие.

В качестве показателей работы каждого тягача

- время окончания последнего рейса,
- количество рейсов,
- время в дороге,
- максимальное и суммарное время простоя на складах поставщиков,
- максимальное и суммарное время простоя на складе конвейера,
- и другие.

В результате проведенных экспериментов были получены следующие оценки и выводы. Для выполнения перевозок при среднестатистических значениях факторов вместо 70 грузовиков достаточно порядка 16 тягачей, 13 прицепов и 80 прицепов. Все доставки выполняются в течении одной рабочей смены, с 8 до 17 часов. Время простоя тягачей составляет всего лишь порядка 3% от рабочего времени. Стоимость перевозок уменьшается в 9 раз. Срок окупаемости перевода перевозок на технологию КАМАТЕЙНЕР без учета реализации используемых грузовиков оценивается в 13 месяцев.

Фактором, оказывающим наиболее существенное влияние на эффективность перевозок, является время снятия и установки контейнеров. Приведенные выше оценки получены при планируемом регламентом времени выполнения этих операций по 5 минут каждая. При увеличении этого времени до 10 минут количество необходимых тягачей возрастает до 22, стоимость перевозок уменьшается в 6 раз, срок окупаемости увеличивается до 20 месяцев.

### Моделирование междугородных и международных перевозок

Разработка системы моделирования применительно для этого сегмента перевозок выполнялась с целью оценки эффективности использования технологии КАМАТЕЙНЕР, и уточнения постановки задачи планирования для разработки на следующей стадии проекта системы оперативного управления перевозками по данной технологии.

Оценка эффективности использования технологии «КАМАТЕЙНЕР» в сегменте междугородных перевозок выполнялась на примере моделирования доставки 7 000 тонн грузов в месяц в рамках транспортного коридора Санкт-Петербург – Набережные Челны – Магнитогорск. Плечи и пункты маршрутной сети данного транспортного коридора, в которых производится перецепка контейнеров, представлены на рисунке 2.

Для достижения данной цели была разработана многоагентная модель, состоящая из агентов пунктов маршрутной сети, агентов тягачей, агентов водителей и агентов контейнеров. Поведение агентов модели соответствовало следующим заданным основным правилам. Каждый тягач, водитель и прицеп приписан к одному пункту сети, и используется для выполнения рейсов только между пунктом приписки и соседними с ним пунктами сети. При выполнении рейса тягач может выполнять доставку одного или двух контейнеров с использованием прицепа. Прицеп может использоваться любым тягачом, имеющим с ним один и тот же пункт приписки. Тягачом попеременно могут управлять приписанные к нему водители (водители, указанные в страховом полисе).

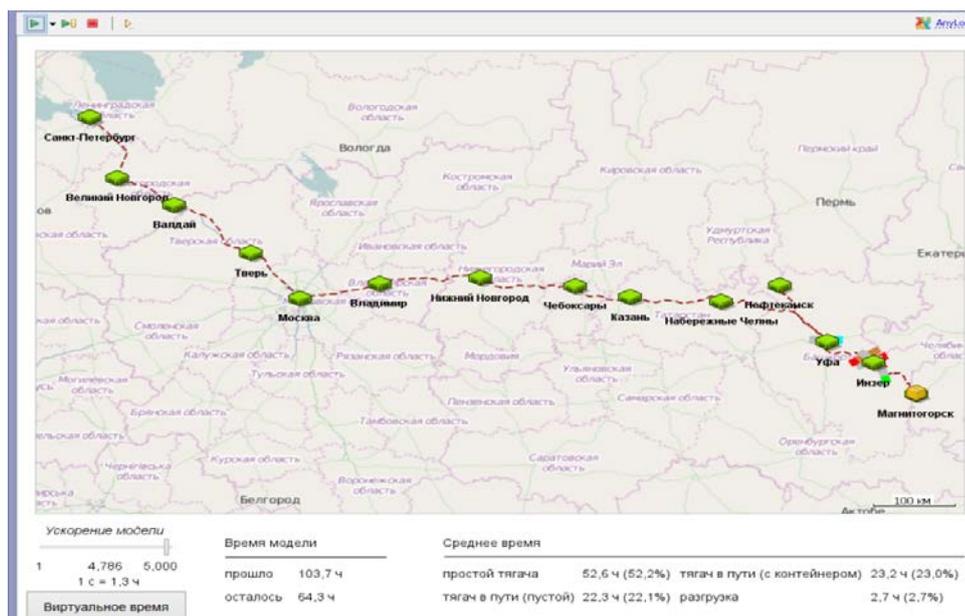


Рис.2. Моделирование междугородных перевозок

В пунктах сети, которые являются начальными пунктами грузопотоков, с указанной в исходных данных частотой генерируются заявки на перевозку контейнеров с грузом. В каждом пункте сети в результате возникновения событий - появление новой заявки или доставка в пункт контейнера, формируется очередь контейнеров для перевозки. Перевозка контейнеров выполняется в соответствии с этой очередью и начинается при наличии в пункте свободного тягача и водителя, время отдыха которого

после окончания предыдущего рейса не меньше 16 часов. Если в пункте в данный момент времени находится тягач, приписанный к пункту, в который надо доставлять первый из очереди контейнер, то его перевозку осуществляет этот тягач.

Результаты моделирования сравнивались с наиболее распространенным в практике вариантом междугородных перевозок с помощью фур (тягачей с полуприцепами) при условии, что фурией управляет один водитель и в течении рабочего дня может находиться за рулем не более 8 часов. В примере рассматривался однонаправленный поток грузов, т.е. с порожним движением в обратную сторону. В этом случае в соответствии с полученными итоговыми результатами моделирования эффективность использования технологии КАМАТЕЙНЕР определяется следующими основными оценками. Необходимо всего лишь 40 тягачей вместо 90, время доставки грузов составляет 1,3 рабочего дня вместо 3,8, общая стоимость перевозок сокращается на 37%.

Уточнение постановки задачи планирования главным образом было связано со следующим обстоятельством. Данная постановка в целом относится к классу задач *Pick-up and Delivery with Transfer*, который в теории относится к числу наиболее сложных задач оптимизации. Уровень сложности в этих задачах обусловлен наличием *проблемы стыковки рейсов*, качество решения которой оказывает принципиальное влияние на качество планирования в целом. В реальной практике основным подходом для решения данной проблемы является составление и использование расписания рейсов. В качестве основных исходных данных для составления расписания, как правило, используются среднестатистические параметры обслуживаемых грузопотоков. Однако, существует множество иных факторов, наличие которых предопределяет комплекс *прочих взаимосвязанных подзадач*, выявление и поиск методов решения которых в целом предопределяет качество составления расписания и решения задачи планирования. В частности, в работе [3] на основе такого подхода предлагается решение по оптимизации перевозок сборных грузов.

Имитационное моделирование технологии КАМАТЕЙНЕР в данном случае послужило эффективным рабочим инструментом для развития данного подхода. Оно позволило выявить и уточнить следующий набор взаимосвязанных подзадач, определяющих в целом содержание задачи планирования и составления расписания: *формирование маршрутной сети, маршрутизация грузоперевозок, расчет схем рейсов в пунктах маршрутной сети, планирование передислокации пустых контейнеров к местам погрузки*. Решение данных подзадач сводит задачу составления расписания к простым арифметическим расчетам, и используется в качестве основы для разработки методов оперативного управления перевозками в случае возникновения различного рода событий, влекущих нарушения выполнения расписания рейсов.

Формирование маршрутной сети в данном случае сводится к определению мест организации пунктов перецепки контейнеров, и маршрутной сети в целом. Маршрутизация грузоперевозок сводится к выбору маршрутов перевозки грузов по заданной маршрутной сети. Разработка формальных алгоритмических методов для решения этих тесно взаимосвязанных задач является нерешаемой, или трудно решаемой задачей. Поэтому разработанная система моделирования для решения этих задач является незаменимым простым и эффективным рабочим инструментом. Получаемые с ее помощью результаты решения этих подзадач являются исходными данными для подзадач расчета схем рейсов и планирования передислокации пустых контейнеров. Для решения этих двух задач были разработаны аналитические методы их

решения. Задача расчета схем рейсов содержательно заключается в том, что на основе параметров грузопотоков для каждого пункта сети выполняется прогноз формирования потребностей в перевозках контейнеров, и на основании этого прогноза и имеющихся ресурсов, приписанных к этому и к соседним пунктам сети, вычисляется оптимальная схема рейсов. При наличии рассчитанной схемы рейсов составление расписания сводится к арифметическому расчету времени начала рейсов. Содержание задачи передислокации пустых контейнеров к местам погрузки является интуитивно понятным, и ввиду ограничения текста более подробно не рассматривается.

### Выводы

Технология КАМАТЕЙНЕР уже вызвала большой интерес у многих крупных транспортных и логистических компаний. В их числе Почта России, ЖелДорЭкспедиция и другие. Эта технология также может явиться эффективным способом для воплощения в реальность автомобильных перевозок грузов по Шелковому пути. Реализация этой перспективы в связи последними событиями, произошедшими в рамках Российско-Китайских отношениях, выглядит достаточно реальной возможностью. В связи с этим в заключение данной статьи необходимо подчеркнуть практическую значимость разработанных систем имитационного моделирования, так как они являются эффективным рабочим инструментом для расчета технико-экономических преимуществ грузоперевозок по технологии КАМАТЕЙНЕР, и оценки необходимых инвестиций для ее продвижения в реальную практику.

### Литература

1. Ресурс <http://www.kamaz.ru/production/related/kamateyner/>
2. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. БХВ-Петербург, 2005, 390 с.
3. О.В. Карсаев, В.Ю. Кулемин, Б.М. Морозов. Планирование доставки сборных грузов. Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 6(37)