



Юрий Толуев
 Фраунгоферский институт IFF, Магдебург,
 Институт транспорта и связи, Рига,
 профессор, д.т.н.



Татьяна Змановская
 Рижский технический университет, Рига,
 магистр инж. наук

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Часть II

Аннотация. В работе рассматриваются практические способы решения задач оптимизации транспортно-складских систем с применением их имитационных моделей. Описываются особенности разработки и применения моделей транспортно-складских систем, приводится пример решения задачи оптимизации сложного подвешного монорельсового конвейера.

Ключевые слова. Транспортно-складские системы, имитационное моделирование, методы поисковой оптимизации.

ANNOTATION. The article explains the practical methods for solving of optimization problems in transport and storage systems using their simulation models. The features of transport and storage systems models development and application, and an example of the optimizing the complex suspended monorail conveyor problem solving are described in this article.

KEY WORDS. Transport and storage systems, computer simulation, search methods for optimization.

Имитационные модели

Вместо термина «имитационные модели» в заголовке статьи можно было бы использовать термин «имитационное моделирование», однако первый вариант был выбран по той причине, что имитационное моделирование есть процесс создания или применения модели, а имитационная модель есть законченный программный продукт, который годится для применения в описанных процедурах оптимизации транспортно-складских систем (ТСС). Данный акцент приходится делать потому, что некоторые авторы как научных, так и рекламных публикаций часто лишь свято верят в то, что они занимаются имитационным моделированием, хотя в лучшем случае они графически изображают какие-то блок-схемы алгоритмов и при этом никогда не создавали законченной компьютерной программы в среде пакета ИМ или с помощью какого-то универсального языка программирования. Исполни-

мая компьютерная программа, достаточно адекватно отображающая объект моделирования, с помощью которой можно проводить эксперименты по исследованию этого объекта, – единственная форма существования имитационной модели!

В отличие от рассмотренных выше двух типов математических моделей только имитационные модели позволяют как угодно подробно отображать процесс функционирования исследуемой ТСС в течение заданного времени, например, в течение часа, рабочей смены или целой календарной недели. Результаты моделирования формируются путем фиксации и обработки данных, связанных с отдельными событиями и операциями. Например, для определения коэффициента загрузки крана-штабелера в модели фиксируются моменты начала и окончания каждой операции, вычисляются длительности этих операций, которые в сумме составляют время наработки крана-штабелера в течение рабочей смены. Коэффици-

ент загрузки вычисляется как отношение этого времени к продолжительности рабочей смены.

Главное преимущество моделей данного типа заключается в том, что аналогичным образом в модели может быть реализована процедура вычисления практически любого сконструированного разработчиком модели показателя функционирования исследуемой системы. На рис. 2 (см. часть I статьи в журнале «ЛОГИСТИКА» № 1 за 2016 год) эти показатели называются первичными, и их множество обозначается как вектор \bar{Y} . Чтобы показатели \bar{Y} демонстрировали свою зависимость от каких-то параметров \bar{X} , эти параметры надо определить в модели в виде конкретных переменных, значения которых задаются перед запуском прогона модели. Например, можно исследовать зависимость коэффициента загрузки крана-штабелера от значений средней скорости движения вдоль всех трех координатных осей X , Y и Z при фиксированном потоке заданий на загрузку и вы-

грузку поддонов. Для этого в модели должны быть определены три входные переменные $X_1 = v_x$, $X_2 = v_y$ и $X_3 = v_z$. В результате реализованного исследователем плана экспериментов можно получить таблицы и диаграммы, показывающие, как изменяется коэффициент загрузки крана-штабелера при изменении одного или сразу нескольких параметров X_1 , X_2 и X_3 . В подавляющем большинстве случаев имитационные модели процессов, наблюдаемых в ТСС, создаются на базе парадигмы (основных принципов, философии) моделирования с названием «моделирование процессов с дискретными событиями». Парадигма «системная динамика по Форрестеру» обычно не применяется для моделирования конкретных технологических процессов, наблюдаемых в течение нескольких часов или дней. Агентное моделирование чаще всего применяется в рамках диссертационных и других исследовательских работ, и в области исследования ТСС применение таких моделей можно себе представить для ситуаций, когда отдельные объекты системы (грузы, транспортные и другие средства обработки грузов) начнут активно взаимодействовать друг с другом, в том числе и путем прямых переговоров, т.е. возникнет Интернет вещей. ТСС являются одним из самых распространенных объектов ИМ в области производства и логистики. В экономическом развитых странах ежегодно разрабатываются сотни моделей такого типа на коммерческой основе. Для реализации имитационных моделей ТСС существует значительное число как универсальных, так и специализированных программных пакетов. К наиболее часто применяемым универсальным пакетам, поддерживающим моделирование процессов с дискретными событиями, относятся AnyLogic, Arena, AutoMod, Delmia Quest, Enterprise Dynamics, ExtendSim, Flexsim, Plant Simulation, ProModel, Simio, Simul8 и Witness. В качестве примера специализированных пакетов, ориентированных на моделирование складских систем, можно назвать Atlet Logistics Analyzer (ALA) и PROCESS LS. Как было сказано выше, практически все современные пакеты ИМ имеют в своем составе программные модули, позволяющие организовать процесс автоматического поиска оптимальных значений входных параметров модели, кото-

рые предварительно объявляются как варьируемые.

Процесс исследования ТСС с помощью ИМ состоит из трех основных этапов:

- а) разработка концептуальной модели;
- б) реализация модели в виде компьютерной программы;
- в) планирование и реализация экспериментов с моделью, направленных на решение задач анализа и оптимизации исследуемой системы.

При решении практических задач проектирования и реконструкции ТСС с использованием имитационных моделей под оптимизацией чаще всего понимается подход 1.1, показанный на рис. 1 (см. часть I статьи в журнале «ЛОГИСТИКА» № 1 за 2016 год), т.е. разрабатывается и реализуется план экспериментов с моделью, с помощью которого исследуются и сравниваются между собой конкретные возможные варианты организации системы. Часто применяется также направленный поиск оптимального, т.е. наилучшего из тех, которые удается проверить, варианта в ручном режиме.

Полностью автоматическая оптимизация ТСС с помощью ИМ проводится относительно редко не только из-за отмеченной выше большой трудоемкости процесса, но и потому, что сравнительно сложные ТСС оцениваются с помощью нескольких, в том числе и противоречивых, критериев, а стандартные процедуры поиска работают только с одним критерием.

В качестве варьируемых параметров в экспериментах с моделями могут применяться следующие внутренние и внешние факторы, влияющие на выходные показатели функционирования ТСС:

- количество и технические характеристики технических средств, предназначенных для транспортировки, перемещения и обработки различных видов груза;
- планы размещения участков хранения, перевалки и обработки грузов в помещениях и на территории предприятия;
- планы разделения на зоны пространства склада;
- конфигурация конвейерных линий и других подъемно-транспортных машин непрерывного действия;
- характеристики входных материальных потоков и потоков за-

казов на выполнение операций по обслуживанию клиентов;

- варианты алгоритмов диспетчеризации внешних и внутренних заказов на выполнение операций;
- варианты алгоритмов управления потоками транспортных средств;
- варианты стратегий отбора товаров при комплектации заказов;
- число и квалификация персонала на отдельных рабочих местах, на участках комплектации заказов, участках приемки и отправки грузов и товаров;
- организация рабочих смен, в том числе для отдельных дней рабочей недели.

Сложность и размерность имитационной модели соответствуют аналогичным характеристикам рассматриваемой ТСС. Палитра применяемых на практике моделей очень широка. Сравнительно простыми могут быть модели отдельных фрагментов больших ТСС. Например, моделироваться может только работа одного крана-штабелера в проходе стеллажного склада или нескольких смежных секций ленточного транспортера, на которых автоматически регулируется скорость транспортировки с целью получения заданного минимального интервала между единицами груза. В направлении усложнения моделей границ не существует: известные модели сложных высотных автоматизированных складов или больших логистических центров, включающих несколько грузовых фронтов и складов.

В качестве примера модели ТСС, разработанной авторами, на рис. 1 показан фрагмент модели подвешенного монорельсового конвейера в окрасочном цехе тракторного завода. В модели отображаются 150 управляемых секций конвейера и около 60 тележек, одновременно находящихся на конвейере. Голубые блоки модели, обозначенные буквой «М», есть программы на внутреннем языке программирования пакета Plant Simulation, написанные разработчиками модели. В модели насчитывается около 130 таких программ. Модель выдает таблицу с результатами моделирования, которая содержит 35 показателей. Целями оптимизации модели были проверка и настройка алгоритмов управления потоками раз-

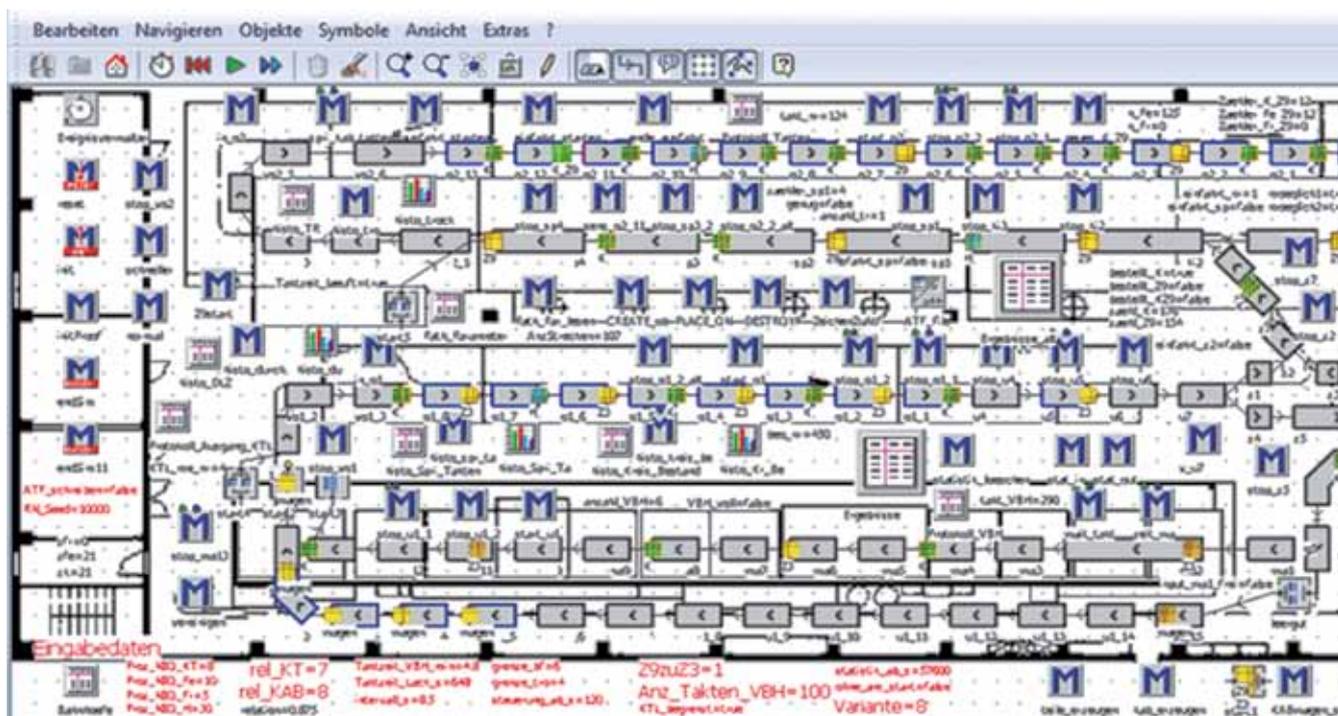


Рисунок 1. Фрагмент имитационной модели подвешенного монорельсового конвейера

народных изделий, обеспечивающих максимальную производительность системы, измеряемую количеством готовых изделий в час.

Заключение

Цель данной работы – не научить читателя, как надо проводить оптимизацию ТСС с использованием ее имитационной модели, а показать, о чем нужно знать и думать, принимая решение о необходимости проведения такой оптимизации. Хотя многие отдельные принципы и понятия, упомянутые в данной статье, можно найти в специальной литературе и Интернете (понятию «Интернет вещей» посвящена статья в Википедии), выбранная авторами форма их изложения соответствует их собственному опыту работы в области ИМ. Только за последние 10 лет были разработаны более 30 проектов с применением ИМ для исследования ТСС различного размера и назначения. Разумеется, авторы хорошо себе представляют состояние науки и практики в области ИМ производственных и логистических систем. Например, в [2] описываются основы ИМ таких систем и дается большой список статей, посвященных ИМ цепей поставок и опубликованных на ежегодной Зимней конференции по имитационному моделированию (Winter Simulation

Conference) с 1998 по 2007 год. В [3] дается обзор 18 статей, специально посвященных вопросам оптимизации имитационных моделей. В докладе [4], прочитанном в 2013 году в Казани, подробно излагаются все вопросы создания имитационных моделей производственных и логистических систем. С опытом применения ИМ для исследования складских систем можно ознакомиться, обратившись к статьям [5] или [6]. Описания интересных и элегантных моделей складских систем можно увидеть на сайтах российской фирмы AnyLogic по адресам [7] и [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смехов А.А. Автоматизация управления транспортно-складскими процессами: Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1985.
2. Толуев Ю.И. Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. – 2008. – № 2 (25). – С. 53–63.
3. Zvirgzdiņa V., Tolujevs J. Simulation-Based Metaheuristic Optimization of Logistics Systems // Proceedings of the 12th International Conference «Reliability and Statistics in Transportation and Communication». 17–20 October 2012. Riga, Latvia. – P. 221–226.

4. Толуев Ю.И. Стандартные этапы создания имитационных моделей производственных и логистических систем // 6-я Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД–2013). – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ, 2013. – Т. 1. – С. 80–89.
5. Тимченко В.С. Перспективы применения имитационного моделирования при оценке мероприятий по развитию транспортного комплекса Арктической зоны РФ // Интернет-журнал «Мир науки». – 2015. – № 1; <http://simulation.su/uploads/files/default/2015-timchenko-1.pdf>.
6. Долганов К.Б., Зуев В.А. Особенности создания имитационной модели распределительного центра // 7-я Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД–2015). – М.: ИПУ РАН, 2015. – Т. 2. – С. 110–114.
7. <http://www.anylogic.ru/case-studies/choosing-the-right-warehouse-layout-for-a-leading-fmcg-retailer>.
8. <http://www.anylogic.ru/case-studies/modeling-operations-at-pharmaceutical-distribution-warehouses>.