

УДК 658.5.012.7

Т.Е. Масликова, С.Г. Редько

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

T.E. Maslikova, S.G. Redko

USE OF SIMULATION APPROACHES TO EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF LOGISTIC PROCESSES

Рассмотрена задача исследования и повышения эффективности логистических процессов с использованием различных подходов имитационного моделирования. На основании анализа различных методов решения логистических проблем проведена сравнительная характеристика подходов имитационного моделирования применительно к логистическим процессам. Обоснована эффективность многоподходного моделирования.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЛОГИСТИКА, УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК, ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СИСТЕМНАЯ ДИНАМИКА, ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫЙ ПОДХОД, АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

The article deals with the problem of studying and improving the efficiency of logistic processes using different approaches of simulation. Three approaches of simulation were studied in a comparative aspect to logistics: system dynamics, discrete-event and agent-based modeling. The efficiency of hybrid simulation is determined.

SIMULATION, LOGISTICS, SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, LOGISTIC PROBLEMS, SYSTEM DYNAMICS, DISCRETE-EVENT APPROACH, AGENT-BASED MODELLING.

В условиях жесткой конкуренции компании сталкиваются с проблемами минимизации затрат, максимизации прибыли, улучшения качества обслуживания клиентов и снижения влияния факторов неопределенности. Логистика является одной из быстро развивающихся сфер деятельности, дающих предприятиям значительные преимущества в конкурентной борьбе. В связи с этим корпоративные структуры имеют сильную мотивацию к повышению эффективности управления логистическими процессами для получения конкурентных преимуществ.

Концепция управления цепями поставок – одно из самых динамично развивающихся направлений научной и практической деятельности на протяжении последних десятилетий. Управление цепями поставок означает управление потоком (материалы, товары, услуги) и обеспечение эффективной интеграции и координации поставщиков, производителей, логи-

стических, торговых компаний и потребителей.

Наиболее сложным этапом в управлении цепями поставок процесс принятия решения, так как необходимо проанализировать множество взаимосвязанных, часто стохастических событий. Для того, чтобы достичь общего снижения затрат в цепи поставок при заданном уровне качества обслуживания конечных потребителей необходимо найти компромисс между стоимостью, сервисом, качеством и временем. Можно выделить три возможных пути решения подобных задач:

аналитические (математические) модели;
физические эксперименты;
имитационные модели.

Очевидно, что физические эксперименты требуют, как правило, больших технических и финансовых затрат. Использование известных аналитических моделей ограничено анализом

относительно простых систем особенно в условиях неопределенности [9].

Целью работы является исследование возможностей многоподходного имитационного моделирования (т. е. использование в моделях различных парадигм имитационного моделирования) для оценки эффективности и улучшения логистических процессов.

Имитационное моделирование позволяет анализировать логистические процессы практически любой сложности [2]. С помощью симуляции уже на этапе проектирования можно сравнить и оценить альтернативы реализации процессов, провести ряд экспериментов с различными показателями («что – если») и сделать наиболее обоснованный и эффективный выбор [3].

позволяет говорить о повышении эффективности управления логистическими процессами в среднем на 10 – 15 % [4]. Представим обобщенную имитационную модель логистической системы в виде «чёрного ящика» (рис. 1). Первичные показатели на выходе модели измеряются с помощью соответствующих физических величин, например, объём перевезённого или обработанного груза, моменты времени начала и окончания операций, суммарный путь, пройденный транспортными средствами, и т.п. Путём использования соответствующих нормативных коэффициентов на базе этих показателей могут быть рассчитаны любые требуемые экономические показатели.

Существует три парадигмы имитационного моделирования (системная динамика, дис-



Рис. 1. Входные данные и результаты имитационного моделирования логистической системы

В индустриально развитых странах имитационное моделирование логистических цепочек используется достаточно широко и считается обычной составной частью проектов по созданию новых или реконструкция существующих логистических цепочек. Такие компании, как BMW, Daimler-Chrysler, Mercedes-Benz, Audi используют имитационное моделирование, как инструмент принятия логистических решений. Мировая статистика принятия решений на основе имитационных моделей

кретно-событийный и агентный подходы), каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Парадигма имитационного моделирования, которая используется в модели управления цепями поставок, во многом зависит от типа задач, которые необходимо решить. Основным критерий, который оказывает важное влияние на разработку имитационной модели логистических процессов, – это уровень декомпозиции (детализации) системы.

Схема имитационной модели, изображенная на рис. 1, может быть реализована любым из подходов имитационного моделирования. Но не все логистические задачи можно решить с использованием только одного подхода, часто необходимо комбинировать подходы в пределах одной модели, чтобы достигнуть желаемого результата.

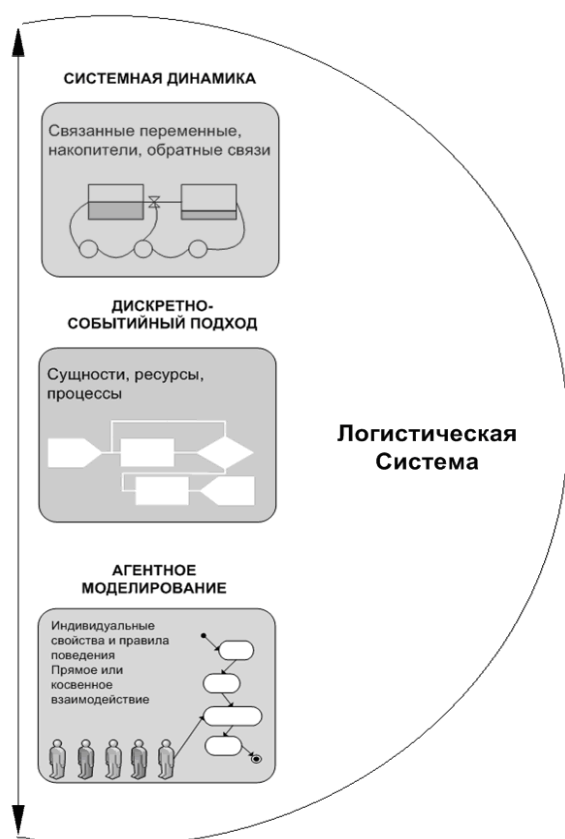


Рис. 2. Уровни реализации комплекса моделирования логистических систем

Отсюда важным является комплексность подхода к моделированию логистических систем, сочетание различных парадигм имитационного моделирования, что позволит использовать преимущество каждой из них. Предлагаемое многоподходное моделирование заключается в реализации комплекса моделей, в котором результаты, полученные с помощью одного типа моделей, могут быть использованы в других моделях.

В создаваемом комплексе моделей можно выделить три интегрированных уровня

(рис. 2), двигаясь по которым «сверху-вниз» или «снизу-вверх» может решать задачи проектирования и оценки эффективности логистических систем.

Уровень 1. Поточковые модели. Применение потоковых моделей системной динамики эффективно для исследования общих свойств цепей поставок, проявляющихся на протяжении длительных периодов времени (например, многих месяцев). Системная динамика позволяет оценить устойчивость цепочки поставок в зависимости от динамического спроса, а также исследовать систему сбалансированных показателей в логистике.

Логистические потоки часто создают обратные связи между участниками цепочки поставок, поэтому системная динамика является наиболее приемлемым подходом имитационного моделирования в данном случае. Экспериментируя с потоковыми моделями логистических процессов, можно сделать вывод о важности тех или иных обратных связей в цепи поставок.

Используя результаты имитационного моделирования на основе системной динамики, можно определить условия, при которых колебания спроса приводят к хаотичному поведению всей цепи поставок (эффект «хлыста»). Модели системной динамики позволяют выделить параметры, к которым чувствительно поведение цепочки поставок, и при их удачной комбинации, например, значительно уменьшить эффект «хлыста» и нестабильность цепи поставок.

Таким образом, основное назначение моделей данного уровня состоит в проектировании общей структуры логистической системы (взаимосвязь логистических процессов).

Уровень 2. Дискретно-событийные модели. Модели данного уровня предназначены для оценки эффективности отдельных процессов как внутренней, так и внешней логистики предприятия. К внутренней логистике относится перемещение объектов внутри всей территории предприятия или в отдельных подразделениях. К внешней логистике относится перевозка грузов между различными географическими пунктами с применением средств

транспортировки: автомобильного, железнодорожного, морского и воздушного.

Дискретно-событийный уровень комплекса моделей можно представить в виде трех типовых видов моделей, охватывающих большинство логистических процессов внутренней и внешней логистики:

базовая модель (1 продукт – 1 клиент):

мультипродуктовая модель (несколько продуктов и клиентов);

многозвенная (multichain) модель (цепочка поставок, многоклиентный поставщик – производитель, дилер, оптовый продавец и потребитель и т. д.)

Рассмотрим мультипродуктовую модель, реализованную в среде имитационного моделирования Arena 13.5. Производственные мощности выпускают три типа продуктов, которые поставляются трем независимым потокам клиентов. Исходный материал (сырье) поступает в производственный процесс, а готовая продукция сохраняется на складе. Заказы клиентов поступают в систему, и если спрос (размер заказа) не может быть удовлетворен текущим запасом готовой продукции, то не обеспеченная часть заказа теряется или задерживается. Каждый продукт имеет собственные настраиваемые параметры спроса и

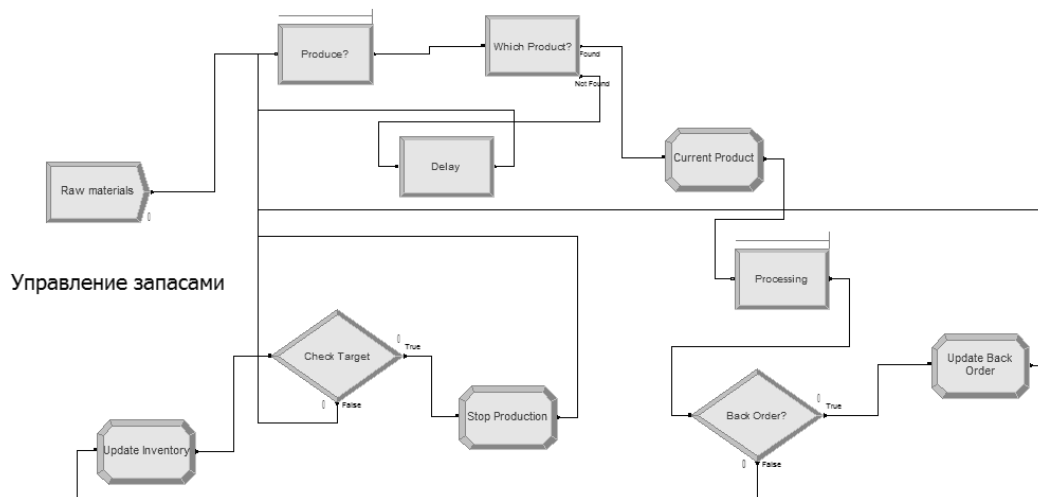


Рис. 3. Сегмент управления запасами

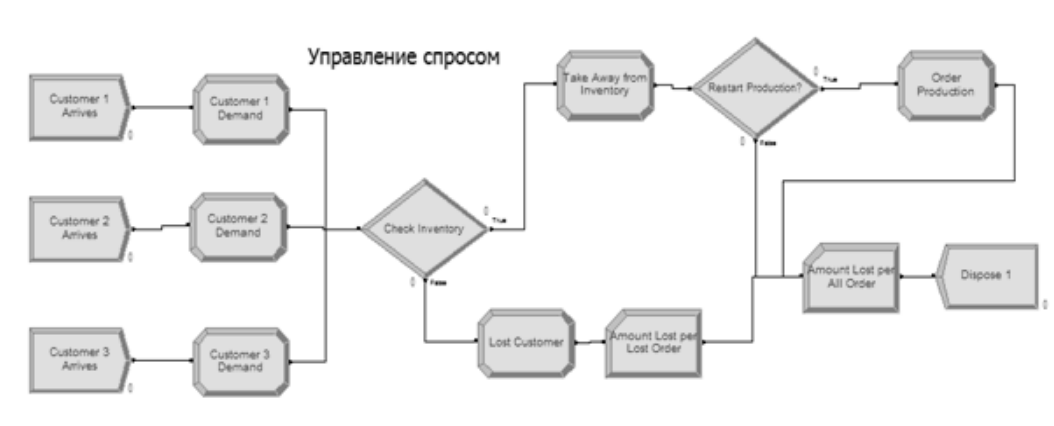


Рис. 4. Сегмент управления спросом

Средний уровень запасов				
Stock on Hand I	73.9237	0.378763452	0.00	105.00
Stock on Hand II	137.73	1.46919	0.00	205.00
Stock on Hand III	180.41	2.53028	0.00	305.00
Вероятность потери (задержки) заказов				
Fill rate I	0.00095801			
Fill rate II	0.00905231			
Fill Rate III	0.05890094			
Число задержанных заказов				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Lost Sales I	5.0939	(Insufficient)	2.9405	9.2637
Lost Sales II	9.8118	(Insufficient)	0.9008	14.9991
Lost Sales III	19.2961	0.610166159	0.02894693	29.9972

Рис. 5. Фрагмент статистики результатов моделирования

хранения. Модель состоит из двух сегментов: управление запасами и управление спросом.

Сегмент управления запасами (рис. 3) моделирует производственные мощности. Модуль Create (имя Raw Material) генерирует одну единственную единицу, которая управляет процессом производства для всех типов продуктов. Модули Hold (имя Produce?) и Search (имя Which Product?) инициируют запуск на производство одного из типов продуктов, включая учет приоритета продуктов.

Модуль Processing имитирует производство текущего вида продукции. Затем в блоках Decide (имя Back Order) и Assign (Update Back order) проверяется выполнение задержанных заказов, блок Update Inventory обновляет уровень текущих запасов и в завершении цикла в модуле Decide (имя Check Target) проверяется достижение целевого уровня запасов.

В сегменте управления спросом (рис. 4) моделируется прибытие заказов на готовую продукцию.

Блоки Create (имя Customer 1, 2, 3 Arrives) генерируют сущности (заказы клиентов) на продукты трех типов, а в модулях Assign (Customer 1, 2, 3 Demand) задаются размеры поступивших заказов. При недостаточном уровне запасов для удовлетворения текущего заказа, заявка переходит с выхода модуля Decide (имя Check Inventory) в модуль Assign (имя Lost Customer), который обновляет статистику по задержанным и невыполненным заказам. При наличии достаточного запаса после обновления текущего уровня запасов в модуле Assign (имя Take Away from Inventory) выполняется проверка в модуле Decide (имя Restart

Production?) необходимости возобновления запасов для данного типа продуктов, если текущий уровень запасов данного типа продукта снизился (меньше или равен) до точки заказа Reorder Level.

В модели можно управлять такими показателями, как начальный уровень запасов на складе, частота поступления заказов и их количество, размер партии и время производства и др., тем самым оценивая (рис. 5):

уровень обслуживания клиентов (например, доля удовлетворенных требований заказчика, Fill rate).

средний уровень запасов (Stock on Hand) и средний уровень задержанных заказов.

скорость (в единицу времени) и общее количество потерянных или задержанных заказов (BackOrder и Lost Sales).

Таким образом, уровень дискретно-событийных моделей используется для улучшения параметров отдельных логистических процессов – процессов физического перемещения во времени и пространстве материальных объектов.

Уровень 3. Агентные модели. При наличии большого числа независимых клиентов или территориально-распределенной цепочки поставок, характеризующейся наличием независимых участников, необходимо использовать агентный подход. Глобальное поведение в такой системе возникает, как результат деятельности агентов, каждый из которых следует своим собственным правилам.

Преимуществом агентного моделирования является возможность оценки эффективности



взаимодействия агентов друг с другом, а именно: агенты обмениваются необходимой информацией (количество заказов, распределение спроса и т.п.) и принимают решения на основании полученных данных, что снижает риск появления эффекта «хлыста». Моделирование общения агентов помогает выявлять положительный или отрицательный эффект от действий одного агента на другого. Например, эксперименты с агентной моделью цепи поставок помогут менеджеру проанализировать влияние обмена информацией партнеров на уровень запасов и выбрать оптимальную стратегию для минимизации затрат на их хранение.

Выводы. В статье рассматривается применение различных подходов имитационного моделирования для оценки эффективности логистических процессов.

Представлена обобщенная структура имитационной модели функционирования логистической системы. Для ее реализации предложено использование трехуровневого комплекса моделей, использующих различные парадигмы имитационного моделирования (системная динамика, дискретно-событийный подход, агентное моделирование).

Определено назначение моделей каждого уровня: системная динамика – для проектирования общей структуры логистической системы; дискретно-событийный подход – для улучшения параметров отдельных логистических процессов; агентное моделирование – для независимой территориально – распределенной цепочки поставок.

Предложен пример реализации уровня дискретно-событийных моделей в виде трех типовых видов моделей. В среде имитационного моделирования Arena разработана мультипродуктовая модель для оценки базовых показателей эффективности логистической системы: уровень обслуживания (Fill rate), средний уровень запасов (Stock on Hand), средний уровень задержанных заказов, общее количество потерянных или задержанных заказов (BackOrder и Lost Sales).

В ходе дальнейшей работы планируется наполнение предложенного комплекса моделей с использованием всех трех подходов имитационного моделирования.

В целом можно сделать вывод, что применение многоподходного моделирования является перспективным и может быть использовано для широкого круга предприятий различных отраслей деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борщев А.В.** Применение имитационного моделирования в России – состояние на 2007 г. // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сб. Третьей всероссийской научно-практической конференции – СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2007. – С. 11 – 13.
2. **Беккер Й.** Менеджмент процессов // Й. Беккер, Л. Вилков, В. Таратухин, М. Кугелер. – М.: ЭКСМО, 2007. – 384 с.
3. **Гаджинский А.М.** Логистика: Учебник для вузов. – 20-е изд., перераб. и доп. // М.: Дашков и К, 2012. – 484 с.
4. **Иванов Д.А.** Управление цепями поставок // СПб.: Изд-во Политехн, ун-та, 2009. – 660 с.
5. **Рожков М.И.** Имитационное моделирование логистических сетей поставщиков в автомобильной промышленности // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 2. – С. 40 – 49.
6. **Стерлигов А.К.** Использование метода имитационного моделирования в прикладных логистических задачах // Логистика сегодня. – 2006. – №1. – С. 40 – 48
7. **Суслов С.А.** Имитационная модель – уже вполне обычная составная часть логистических проектов // Логистика. – 2012. – № 2. – С. 22 – 23.
8. **Толуев Ю.И.** Методология создания моделей логистических сетей на базе стандартных средств имитационного моделирования // Logistics, Supply Chain Management and Information Technologies: Proceedings of the German-Russian Logistics Workshop. Ivanov D., Kuhn A., Lukinsky V. (eds.), St. Petersburg, Publishing House of the State Polytechnic University, 2006. – P. 133-142.
9. **Cachon G., Terwiesch C.** «Matching Supply With Demand: An Introduction To Operations Management» // 2008, McGraw-Hill Higher Education s. 486.
10. **Terzi S., Cavalieri S.** «Simulation in the supply chain context: a survey», // Computers in Industry. – 2004. Vol. 53. P. 3 – 16,

REFERENCES

1. **Borshchev A.V.** Primeneniye imitatsion-nogo modelirovaniya v Rossii – sostoyaniye na 2007g. // Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i praktika: Sb. Tretyey vserossiyskoy nauchno – prakticheskoy konferentsii – SPb.: FGUP TsNII TS. 2007. – S. 11-13.
2. **Bekker Y.** Menedzhment protsessov // Y. Bekker, L. Vilkov, V. Taratukhin, M. Kugeler. – M.: EKSMO, 2007. – 384 s.
3. **Gadzhinskiy A.M.** Logistika: Uchebnik dlya vuzov. – 20-ye izd., pererab. i dop. // M.: Dashkov i K, 2012. – 484 s.
4. **Ivanov D.A.** Upravleniye tsepyami postavok // SPb.: Izd-vo Politekhn, un-ta, 2009. – 660 s.
5. **Rozhkov M.I.** Imitatsionnoye modelirovaniye logisticheskikh setey postavshchikov v avtomobilnoy promyshlennosti // Logistika i upravleniye tsepyami postavok. – 2012. - № 2. – S. 40-49.
6. **Sterligov A.K.** Ispolzovaniye metoda imitatsionnogo modelirovaniya v prikladnykh logisticheskikh zadachakh // Logistika segodnya. – 2006. – № 1. – S. 40–48.
7. **Suslov S.A.** Imitatsionnaya model – uzhe vpolne obychnaya sostavnaya chast logisticheskikh proyektov // Logistika. – 2012. - №2. – P. 22-23.
8. **Toluyev Yu.I.** Metodologiya sozdaniya modeley logisticheskikh setey na baze standartnykh sredstv imitatsionnogo modelirovaniya // Logistics, Supply Chain Management and Information Technologies: Proceedings of the German-Russian Logistics Workshop. Ivanov D., Kuhn A., Lukinsky V. (eds.), St. Petersburg, Publishing House of the State Polytechnic University, 2006. – s.133-142.
9. **Cachon G., Terwiesch C.** «Matching Supply With Demand: An Introduction To Operations Management» // 2008, McGraw-Hill Higher Education s.486
10. **Terzi S., Cavalieri S.** «Simulation in the supply chain context: a survey», // Computers in Industry. – 2004. Vol. 53. P. 3–16.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

РЕДЬКО Сергей Георгиевич – заведующий кафедрой управления проектами института информационных технологий и управления, доктор технических наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: redko@acea.neva.ru

REDKO Sergey G. – St. Petersburg Politechnical University; 195251 Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: redko@acea.neva.ru

МАСЛИКОВА Татьяна Евгеньевна – аспирант; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: t.e.maslikova@gmail.com

MASLIKOVA Tatyana E. – St. Petersburg Politechnical University; 195251 Politekhnikeskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: t.e.maslikova@gmail.com