



УДК 656.073

АНАЛИЗ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

В.Е. Таратун, ассистент кафедры системного анализа и логистики ГУАП.

В статье приведен сравнительный анализ ведущих средств имитационного моделирования для оптимизации транспортных потоков.

Ключевые слова: имитационная модель; системный анализ; материальный поток.

На сегодняшний день происходит значительное развитие различных направлений деятельности человека. Большую роль в современном мире играет логистическая составляющая. Как для рядового предпринимателя, так и для государства в целом логистическая составляющая является элементом прибыли и признаком развитости.

Что же такое логистика и для чего она нужна? Какие основные функции она выполняет?

Под логистикой понимается – наука о планировании, контроле и управлении транспортированием, хранением и другими материальными и нематериальными операциями, совершаемыми в процессе доведения сырья и материалов до производственного предприятия, внутризаводской переработки сырья, и материалов и полуфабрикатов, доведения готовой продукции до потребителя в соответствии с интересами и требованиями последнего, а также передачи, хранения и обработки соответствующей информации.[1]

Другими словами логистика занимается планированием оптимального перемещения материального потока и сопутствующего ему информационного потока до потребителя.

Одним из основных критериев является оптимальность перемещения. Под оптимальностью подразумевается уменьшение стоимости перемещения материального потока до конечной точки доставки.

В общем виде данную задачу можно представить в виде кортежа [5]:

$$X_i = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\},$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – внешние факторы которые влияют на функцию стоимости перемещения материального потока.

Сама же функция имеет вид:

$$F(X_i) \rightarrow \min$$

Для решения данной задачи используются различные методики оптимизации. Многообещающим подходом является применение имитационного моделирования для управления транспортными потоками.

На сегодняшний день существует две лидирующие компании, которые как предоставляют услуги в области имитационного моделирования для решения ряда задач, так и предоставляют программные средства имитационного моделирования.

Таковыми компаниями являются: A+S Consult и Anylogic.



A+S - это инновационный проектный институт, работающий на рынке СНГ с 2003 года. Головной офис располагается в Дрездене (Германия). A+S осуществляет свою деятельность не только в СНГ и Европе, но и по всему миру.

Основная задача - трансфер немецких технологий в области транспортного проектирования и генерального планирования, их локализация и адаптация к условиям стран СНГ. Помимо этого, A+S выполняет весь комплекс работ по транспортному планированию, моделированию, проектированию объектов дорожной инфраструктуры, а также комплексной визуализации. A+S является эксклюзивным поставщиком и разработчиком ведущих программных продуктов в области транспортного моделирования и проектирования.

Программным продуктом, который презентует компания A+S Consult является PTV Vision VISSIM.

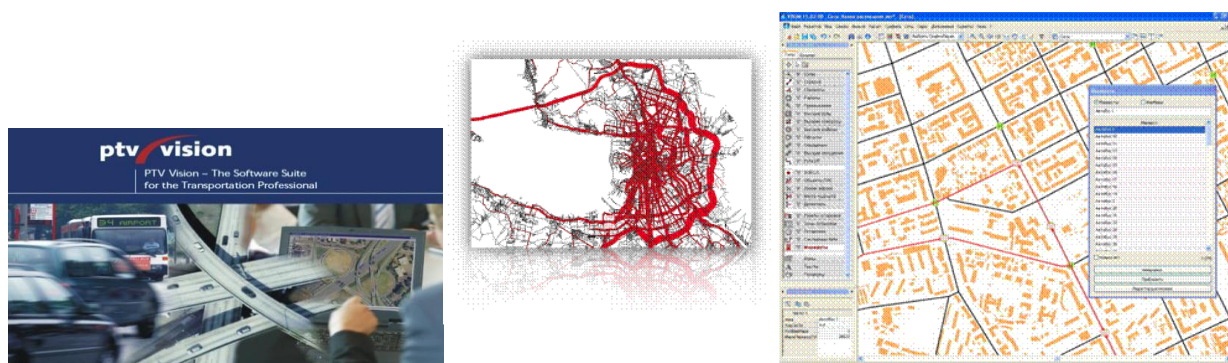


Рис. 1

Программный комплекс VISUM/VISSIM от немецкой компании PTV Vision является одной из самых популярных и мощных разработок для моделирования транспортных потоков.

VISUM представляет собой обширную, гибкую систему для транспортного планирования, расчета спроса на транспорт (матрицы корреспонденций для общественного и индивидуального транспорта), анализа транспортной сети, расчет себестоимости общественного транспорта и прогноза запланированных мероприятий и их последствий. VISUM используется по всему миру для транспортного планирования и оптимизации общественного транспорта: в городах, регионах, мегаполисах, отдельно взятых районах и т.д.

Разработанный для мультимодального транспортного анализа, VISUM интегрирует всех участников движения (например: автомобили, пассажиры, грузовики, автобусы, трамваи, пешеходы, велосипедисты и пр.) в единую математическую транспортную модель.

Область применения транспортных моделей включает следующий список задач:

- хранение обширной базы данных транспортных и социально-экономических показателей;
- расчет объемов существующих транспортных потоков;
- расчет транспортной потребности городов и регионов;

Оценка различных транспортных ситуаций и вариантов развития транспортной инфраструктуры по заданной системе показателей. Такая оценка дает возможность управлять транспортными потоками на основе сравнимых количественных значений, повышая тем самым качество принимаемых управленческих решений.



Оценка работы транспортной сети в целом по разработанной системе показателей качества. Такими показателями могут быть, например, транспортная обеспеченность территории, оценки транспортной доступности территорий для различных групп населения.

- Систематизация и наглядное представление данных по транспортной системе города, региона, страны (например, для визуальной оценки и разработки предложений).

Прогнозирование:

- а) транспортной потребности;
 - б) пассажиропотоков;
 - в) интенсивностей движения на участках сети.
- Технико-экономическое обоснование различных инвестиционных проектов в развитие транспортной инфраструктуры моделируемого региона:
 - а) строительство/реконструкция автомобильных дорог;
 - б) реорганизация работы общественного транспорта;
 - в) строительство крупных промышленных, торговых, развлекательных объектов на территории моделируемого региона с точки зрения транспортных проблем.
- Оптимизация потоков индивидуального транспорта:
 - а) легковой транспорт;
 - б) грузовой транспорт;
- Оптимизация работы общественного транспорта:
 - а) расчет объема перевозок по видам транспорта с целью, например, государственного заказа на перевозки общественным транспортом;
 - б) оценка себестоимости общественного транспорта;
 - в) разработка предложений по совершенствованию тарифной системы и ее обоснование;
 - г) анализ геометрии сети общественного транспорта и оценка ее доступности;
 - д) оптимизация интервалов и расписания движения;
 - е) обоснование ввода новых маршрутов и удаление существующих.
- Разработка комплексных программ - транспортной стратегии - развития транспортной сети, включающей все виды транспорта.



Пакет AnyLogic – отечественный профессиональный инструмент нового поколения, который предназначен для разработки и исследования имитационных моделей. Разработчик продукта – компания «Экс Джей Текнолоджис» (XJ Technologies), г. Санкт-Петербург.

AnyLogic был разработан на основе новых идей в области информационных технологий, теории параллельных взаимодействующих процессов и теории гибридных систем. Благодаря этим идеям чрезвычайно упрощается построение сложных имитационных моделей, имеется возможность использования одного инструмента при изучении различных стилей моделирования.

Программный инструмент AnyLogic основан на объектно-ориентированной концепции. Другой базовой концепцией является представление модели как набора взаимодействующих, параллельно функционирующих активностей. Активный объект в AnyLogic – это объект со своим собственным функционированием, взаимодействующий с окружением. Он может включать в себя любое количество экземпляров других активных объектов.

Графическая среда моделирования поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов, оптимизацию параметров относительно некоторого критерия.

При разработке модели можно использовать элементы визуальной графики: диаграммы состояний (стейтчарты), сигналы, события (таймеры), порты и т.д., синхронное и асинхронное планирование событий, библиотеки активных объектов.

Удобный интерфейс и многочисленные средства поддержки разработки моделей в AnyLogic делают не только использование, но и создание компьютерных имитационных моделей в этой среде моделирования доступными даже для начинающих.

При разработке модели на AnyLogic можно использовать концепции и средства из нескольких классических областей имитационного моделирования: динамических систем, дискретно-событийного моделирования, системной динамики, агентного моделирования. Кроме того, AnyLogic позволяет интегрировать различные подходы с целью получить более полную картину взаимодействия сложных процессов различной природы.

Бесспорно данные системы являются лидерами в своем сегменте распределения и для более точной оценки необходимо прежде всего рассмотреть основные методологии, применяемые в имитационном моделировании.

Под моделированием какой-либо системы обычно понимается воспроизведение и исследование другого объекта, подобного оригиналу, в форме, удобной для исследования, и перенос полученных сведений на моделируемый объект [2].

Существует несколько методов имитационного моделирования:

- метод системной динамики;
- дискретно-событийный метод;
- агентный метод моделирования.

Метод системной динамики

Это метод моделирования, использующийся для создания точных компьютерных моделей сложных систем для дальнейшего использования с целью проектирования более эффективной организации и политики взаимоотношений с данной системой. Микромиры- симуляторы, где пространство и время могут быть сжаты и замедлены, помогут нам изучить последствия наших решений,



быстро освоить методы и понять структуру сложных систем, спроектировать тактики и стратегии для большего успеха.

Системная динамика была создана в середине 1950-х Джейм Форрестером из МТИ. Системно-динамическая модель состоит из набора абстрактных элементов, представляющих некие свойства моделируемой системы. Выделяются следующие типы элементов:

- *уровни*, характеризующие накопленные значения величин внутри системы. Это могут быть товары на складе, товары в пути, банковская наличность, производственные площади, численность работающих. Уровни применимы не только к физическим величинам. Например, уровень осведомленности существен при принятии решения. Уровни удовлетворения, оптимизма и негативных ожиданий влияют на экономическое поведение. Они представляют собой значения переменных, накопленные в результате разности между входящими и исходящими потоками. На диаграммах изображаются прямоугольниками;
- *потоки* – скорости изменения уровней, например потоки материалов, заказов, денежных средств, рабочей силы, оборудования, информации, изображаются сплошными стрелками;
- *функции решений (вентили)* – функции зависимости потоков от уровней. Функция решения может иметь форму простого уравнения, определяющего реакцию потока на состояние одного или двух уровней, например, производительность транспортной системы может быть выражена количеством товаров в пути (уровень) и константой (запаздывание на время транспортировки);
- *каналы информации*, соединяющие вентили с уровнями (изображаются штриховыми стрелками);
- *линии задержки (запаздывания)* служат для имитации задержки потоков. Характеризуются параметрами среднего запаздывания и типом неустановившейся реакции. Вторым параметром характеризует отклик элемента на изменение входного сигнала;
- *вспомогательные переменные* располагаются в каналах информации между уровнями и функциями решений и определяют некоторую функцию.

Системно-динамические модели используются в долгосрочных, стратегических моделях и принимают высокий уровень абстракции. Люди, продукты, события и другие дискретные элементы представляются в моделях системной динамики не как отдельные элементы, а как система в целом. Если же отдельные элементы модели важны, то для полной или частичной обработки модели используется агентный или дискретно-событийный метод моделирования.

Дискретно-событийный метод (процессно-ориентированный)

Мир вокруг нас является скорее «непрерывным», чем «дискретным»: большинство наблюдаемых нами процессов – это непрерывные изменения во времени. Однако для анализа этих процессов иногда имеет смысл абстрагироваться от их непрерывной природы и рассматривать только некоторые «важные моменты» («события») в жизни моделируемой системы. Подход к построению имитационных моделей, предлагающий аппроксимировать реальные процессы такими событиями, и называется «дискретно-событийным» моделированием.



В этом методе функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий. Событие происходит в определенный момент времени и знаменует собой изменение состояния системы.

Кроме переменных, определяющих состояние системы, и логики, определяющей, что произойдет в ответ на какое-то событие, система дискретно-событийного моделирования содержит компоненты, перечисленные ниже.

1. Часы. Основной компонент системы, синхронизирующий изменения системы, т. е. возникновение событий.

2. Список событий. Система моделирования поддерживает, по крайней мере, один список событий моделирования.

Однопоточные системы моделирования, основанные на мгновенных событиях, имеют только одно текущее событие, в то время как многопоточные системы моделирования и системы моделирования, поддерживающие интервальные события, могут иметь несколько текущих событий.

3. Генераторы случайных чисел. Дискретно-событийные модели делятся на детерминированные и стохастические, в зависимости от того, каким образом генерируются события и основные характеристики очередей: время наступления событий, длительность обслуживания, количество клиентов, поступающих по очереди в единицу времени. Стохастические дискретно-событийные модели отличаются от детерминированных моделей наличием вероятности наступления события.

4. Статистика. Основные данные, которые собираются в системах дискретно-событийного моделирования:

- средняя занятость (доступность) ресурсов;
- среднее количество клиентов в очереди;
- среднее время ожидания в очереди.

5. Условие завершения.

Условием завершения могут выступать:

- возникновение заданного события (например, достижение 10-минутного времени ожидания в очереди);
- прохождение заданного числа циклов по часам системы моделирования.

Метод агентного моделирования

Это метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу-вверх»).

Традиционные подходы имитационного моделирования рассматривают служащих компании, проекты, продукты, клиентов, партнеров как среднее арифметическое или как пассивные заявки/ресурсы в процессе. Например, модели системной динамики полны предположений, таких как «у нас есть 120 служащих, они могут проектировать приблизительно 20 новых продуктов в год», или «у нас есть 1200 грузовиков, они могут перевезти определенное количество груза в месяц, и 5 % из них списываются каждый год и заменяются новыми». В процессном моделировании (также известном как дискретно-событийное моделирование) организация рассматривается как различные процессы, такие как: «клиент звонит в телефонный информационный центр, звонок обрабатывается



оператором А, который тратит в среднем 2 минуты на вызов, после чего 20 % запросов должны быть переадресованы ...».

Эти методы превосходят аналитическое моделирование в возможности рассматривать динамику предприятия, нелинейности, но они игнорируют тот факт, что все эти люди, проекты, продукты, оборудование и активы являются различными – они имеют собственную историю, намерения, желания, свойства, а также сложные отношения. Например, люди могут быть с различными карьерами и доходами, они могут иметь разную производительность труда; проекты взаимодействуют и конкурируют, могут зависеть один от другого; у самолетов есть индивидуальные графики технического обслуживания, при несоблюдении которых машина может выйти из строя; потребители могут консультироваться с членами своей семьи, прежде чем принять решение о покупке. Агентное моделирование не обладает такими ограничениями, поскольку оно предполагает сосредоточение непосредственно на отдельных объектах, их поведении и коммуникации.

Агентная модель – это ряд взаимодействующих активных объектов, которые отражают объекты и отношения в реальном мире, упрощают понимание и управление совокупностью сложных социальных и бизнес-процессов.

Исходя из основных принципов имитационного моделирования, рассмотренных выше – имеем сравнительную характеристику систем, представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика программного обеспечения для выполнения имитационного моделирования транспортных потоков

№	Vissim	ANYLOGIC
1. 3 Вида имитационного моделирования	-	+
2. Возможность моделирования на всех трех уровнях планирования	-	+
3. Открытая архитектура	-	+
4. Анимация	+	+
5. Переносимые модели, работающие в web-браузере	-	+
6. Анализ	+	+
7. Возможность проведения оптимизации параметров модели	-	+
8. Встроенные библиотеки для моделирования с возможностью коррекции создания дополнительных элементов	+/-	+



Каждая из систем имеет ряд превосходств и недостатков. К примеру для моделирования движения автомобильного вида транспорта на микроуровне актуальнее использовать систему Vissim, так как она позволяет быстрее и точнее построить модель, но если данная задача связана с анализом нестандартных показателей транспортных потоков, то актуальнее выбрать Anylogic. Ввиду открытости архитектуры и возможности коррекции структурных элементов, Anylogic позволяет строить нестандартные модели со сложными элементами сборки статистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фетисов В.А., Майоров Н.Н. Моделирование транспортных систем // СПб.: ГУАП, 2011. – 165 с.
2. Фетисов В.А., Майоров Н.Н., Таратун В.Е. Моделирование транспортных процессов // СПб.: ГУАП, 2013. – 31 с.
3. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 // СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
4. Кельтон, В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб. : Питер, 2004. – 847 с.
5. Майоров, Н. Н. Системный анализ: учеб. пособие / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, В. Е. Таратун, В. А. Романек - СПб. : ГУАП, 2016. - 137 с.