

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

М.П. Филяев, А.А. Воробьев (Санкт-Петербург)

Логистические процессы и различные виды логистики в настоящее время свойственны многим сферам человеческой деятельности. В наиболее общем плане логистика сегодня рассматривается как наука об оптимальном управлении потоками, является весьма востребованной и актуальной. Движение потоков в логистике, создание и поддержание запасов инициируют и обеспечивают процессы и операции. В общем представлении процесс (от лат. *processus* – продвижение) – это:

- 1) последовательная смена явлений, состояний в развитии чего-либо;
- 2) совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата [1].

Логистический подход и принципы позволяют значительно снизить издержки, связанные с реализацией самых разнообразных потоков: материальных ресурсов, информации, транспорта и т.д. Логистика позволяет сделать планирование и управление потоковыми процессами более упорядоченным, эффективным и системным. Особую роль в современных условиях логистика как наука приобретает при организации материально-технического обеспечения (МТО) функционирования сложных организационно-технических систем, как в различных отраслях экономики, так и в сфере обороны и безопасности государства.

Эффективность организации МТО прежде всего определяется своевременностью, полнотой и качеством управления запасами на различных уровнях логистической системы, их перемещением, накоплением и потреблением. Аналогично предложенной в работе [2] классификации логистики по функциональным признакам при реализации процессов МТО возможно выделить задачи, решение которых связано с логистикой распределения, логистикой склада, логистикой запасов, транспортной логистикой. Отличительной особенностью процессов МТО является комплексный характер логистических признаков, что не позволяет однозначно относить эти процессы только к одному из указанных видов логистики.

Таким образом, под *логистическим процессом* системы МТО будем понимать организованную во времени и пространстве последовательность выполнения операций, подчиненных достижению целей системы с применением принципов и методов логистики [3]. Под *логистической операцией* будем рассматривать часть процесса (отдельное действие), стабильную по содержанию и имеющую самостоятельную цель. Действие, как правило, характеризуется составом исполнителей, количественными и качественными характеристиками ресурсов, изменяемыми в результате его выполнения, а также местом реализации и используемыми при этом коммуникациями. Например, технологический процесс транспортировки грузов складывается из действий по их подготовке (упаковка, затаривание), погрузке в транспортное средство, перевозке, выгрузке. Одной из важнейших характеристик действия является правило, регламентирующее порядок его реализации и тем самым определяющее длительность его выполнения.

Наиболее эффективным инструментом исследования и оптимизации логистических процессов в настоящее время является математическое моделирование. В условиях стремительного развития информационных технологий роль и место математического моделирования многократно возрастает, так как благодаря применению современных компьютерных средств моделирования существенно снижается трудоемкость построения математических моделей и повышается оперативность получения и обработки результатов моделирования [4].

Под математическим моделированием понимается процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью. В логистике широко применяются два основных вида математического моделирования: аналитическое и имитационное.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Аналитическое моделирование логистических систем и процессов заключается в представлении их составных частей в виде формализованных математических описаний и установлении математических законов их взаимодействия. Аналитические модели служат для решения достаточно простых расчетных и оптимизационных задач, к достоинствам аналитического моделирования относится возможность обобщения и многократность использования. При усложнении логистических процессов исследование их аналитическими методами существенно затрудняется и во многих случаях становится практически невозможным.

В этих условиях для исследования сложных процессов необходимо, наряду с традиционными аналитическими методами, использовать *имитационное моделирование*, позволяющее описывать процессы, не допускающие явного формализованного описания. Имитационная модель, по сути, является логической или логико-математической моделью исследуемого процесса в виде алгоритма ее функционирования, программно-реализуемого на компьютере [5]. Таким образом, под имитационной моделью понимается отдельная программа (совокупность программ, программный комплекс), позволяющая с помощью последовательности вычислений по определенным операционным правилам воспроизводить (имитировать) процессы функционирования отдельного объекта или системы в целом при условии воздействия различных, как правило, случайных факторов.

При имитационном моделировании закономерности, определяющие характер количественных отношений внутри логистических систем, как правило, исследуются не полностью, а до определенного уровня детализации. Отдельные части системы для исследователя остаются «черным ящиком». Основным достоинством имитационного моделирования является то, что этим методом можно решать сложные задачи, так как достаточно просто учитываются случайные воздействия и другие факторы, которые создают трудности при аналитическом исследовании. Имитационное моделирование имеет и ряд недостатков, которые также необходимо учитывать.

Основным из них является то обстоятельство, что исследования с помощью этого метода весьма трудоемки. Для построения модели и экспериментирования над ней необходим высококвалифицированный специалист (системный аналитик, программист). Кроме того, имитационные модели разрабатываются для конкретных условий и, как правило, не тиражируются, что существенно снижает длительность их жизненного цикла.

Тем не менее, в настоящее время вектор развития математического моделирования логистических процессов всё больше смещается в сторону имитационных методов, чему способствует создание и всё более широкое распространение инструментальных программных сред имитационного моделирования.

В работе [6] обосновано применение дискретно-событийного подхода для исследования логистических процессов МТО. Среди наиболее распространенных и доступных для применения программных сред имитационного моделирования, поддерживающих данный подход, в России являются программные среды AnyLogic и GPSS Studio [7, 8]. Фактически они являются универсальными инструментальными средами имитационного моделирования [9], достаточно сложными и дорогостоящими проблемно-ориентированными программными продуктами. Схема процесса разработки имитационных моделей (ИМ) на основе применения универсальных программных сред представлена на рис. 1.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

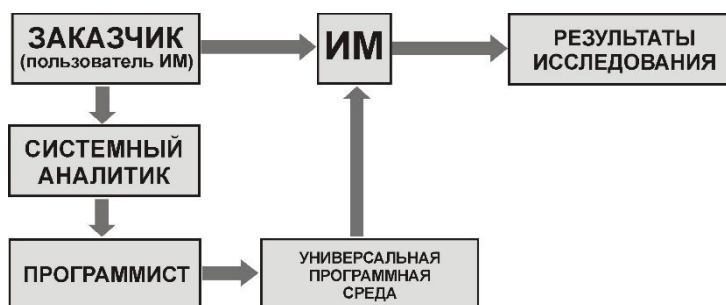


Рис.1 Схема процесса разработки ИМ с использованием универсальной программной среды

Использование таких сред для построения и исследования имитационных моделей сложных специализированных процессов, к которым в полной мере можно отнести и логистические процессы МТО, представляется недостаточно эффективным, так как множество реализованных в них функций, приемов математической формализации процессов и их свойств, практически оказываются недоиспользованными, невостребованными, избыточными. Но для моделирования специфических операций (действий), реализуемых в рамках процессов МТО, они могут оказаться и недостаточными.

Кроме того, их использование обуславливает, с одной стороны, высокие требования к квалификации разработчиков имитационных моделей, а, с другой стороны, возможность применения разработанных моделей специалистами предметной области обеспечивается за счет задания жесткой структуры исследуемых процессов и ограниченного состава варьируемых исходных данных. Модификация модели при этом невозможна без привлечения разработчика.

Одним из направлений решения рассматриваемых проблемных вопросов является создание и применение специализированной программной среды моделирования, ориентированной на исследование логистических процессов МТО и обеспечивающей автоматизацию наиболее трудоемких этапов моделирования – построения имитационных моделей и проведения компьютерных экспериментов (исследование модели). Рассматриваемая специализированная среда должна быть ориентирована на пользователей, не имеющих специальной подготовки в области моделирования и программирования.

Очевидно, что за счет снижения избыточности по функциональным возможностям создание специализированной среды обойдется дешевле универсальной, она обеспечит определенное снижение требований к квалификации разработчиков имитационных моделей (рис.2), но практическая реализация требования ее полной ориентации на пользователей, не имеющих специальной подготовки, вызывает глубокие сомнения. Этот вывод достаточно подробно и обоснованно рассмотрен в [10] и подтверждается опытом разработки имитационных моделей процессов МТО [11].

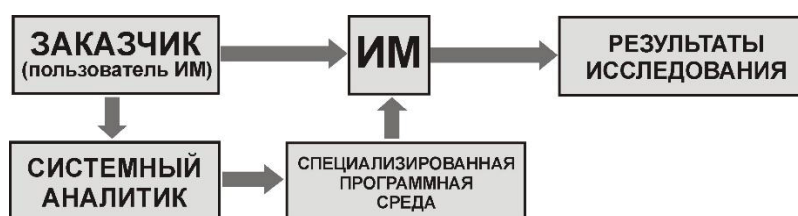


Рис. 2 Схема процесса разработки ИМ с использованием специализированной программной среды

Наиболее реалистичным путем решения рассматриваемой проблемы является сужение предметной области имитационных исследований и создание специализированных инструментальных средств имитационного моделирования типовых логистических процессов МТО. Аналогичный подход был рассмотрен в [12] в отношении моделирования транспортных систем. Он предполагает возможность пользователя без специальной подготовки формировать

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

структуру моделируемого процесса из типовых элементов, реализованных в проблемно-ориентированном инструментальном средстве (рис.3).

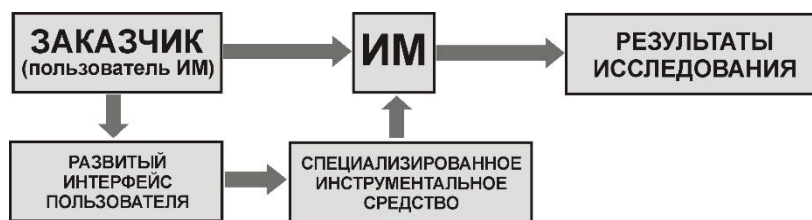


Рис. 3 Схема процесса разработки ИМ с использованием специализированного инструментального средства

Структура ряда логистических процессов МТО является фактически однотипной и различается в основном составом и размещением поставщиков ресурсов (материальных средств) и их потребителей, схемой доставки, вариантами эшелонирования запасов ресурсов и принципами их распределения. Наиболее выражено это проявляется при реализации логистических процессов в сложных организационно-технических системах с жестко регламентированными правилами МТО структурных подразделений. Структурная схема одного из таких процессов, связанных с организацией и использованием цепей поставок ресурсов потребителям в течение ограниченного периода времени, представлена на рис.4.

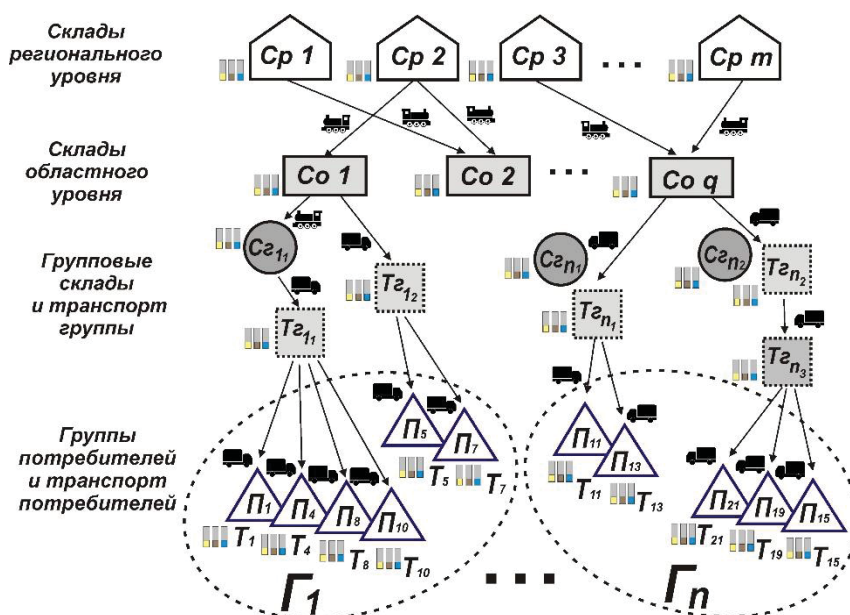


Рис. 4 Схема процесса ресурсного обеспечения на основе организации и использования цепей поставок в ограниченный период времени

В формализованном виде суть моделируемого процесса заключается в обеспечении временно формируемых для решения краткосрочных задач групп Γ_j ($j=1, n$) потребителей Π_i ($i=1, k$) ресурсами X, Y, Z , запасы которых распределяются на складах $Ср$ регионального, $Со$ областного уровней и $Сг$ групповых складах потребителей. Каждая из сформированных групп Γ_j потребителей Π_i закрепляется на обслуживании одному из складов $Со$ областного уровня.

Перемещение запасов ресурсов осуществляется между складами регионального и областного уровней железнодорожным транспортом, между складами областного уровня и групповыми складами – железнодорожным или автомобильным транспортом, от групповых складов до непосредственно потребителей – автомобильным транспортом T_g группы либо автомобильным транспортом T_i ($i=1, k$) каждого потребителя. Транспорт T_g группы может состоять

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

из одной или нескольких компаний, за каждой из которых закрепляются на обслуживание определенные потребители Pi . Групповые C_2 склады создаются при необходимости, в зависимости от удаленности от областных C_0 складов. Текущие запасы ресурсов временно хранятся непосредственно в автомобильном транспорте компаний T_2 группы и T_1 потребителей.

Период моделирования – t суток, модельное время – 1 час. В моделируемый период потребители Pi , распределенные в одну или несколько групп G_j , расходуют ресурсы X, Y, Z с различной интенсивностью по каждому ресурсу и в зависимости от выполняемых функций в пределах задаваемых временных интервалов, на которые делится весь период моделирования. Запасы на складах C_p регионального уровня не пополняются и должны быть полностью распределены в течение t суток для хранения по складам C_0 областного уровня, с которых далее осуществляется обеспечение потребителей, включенных в одну из групп, а также оставшихся и появляющихся новых потребителей, не включенных ни в одну из групп.

На начало моделирования каждый из объектов от складов C_p регионального уровня до конечных потребителей P_i характеризуется запасами по каждому из ресурсов X, Y, Z . Формируются начальные графики поставки ресурсов с региональных складов C_p на областные C_0 железнодорожным транспортом, а также графики поставки ресурсов железнодорожным транспортом с областных C_0 складов на групповые C_2 склады в случае их создания.

Задача моделирования заключается в определении *рациональных вариантов* последующего распределения ресурсов по всем уровням с учетом их ежедневного расхода всеми потребителями в течение t суток. Рациональным считается вариант, если при его реализации не возникло ни одного из критических событий:

- превышен допустимый уровень загрузки склада C_0 областного уровня в момент разгрузки ресурса, прибывшего со склада C_p регионального уровня;
- превышен допустимый уровень загрузки группового склада C_2 в момент разгрузки ресурса, прибывшего железнодорожным транспортом со склада C_0 областного уровня;
- уровень загрузки склада C_0 областного уровня в момент выдачи ресурса автомобильному транспорту T_2 группы недостаточен и не может обеспечить требуемую потребность;
- уровень запасов хотя бы по одному ресурсу из X, Y, Z в группе потребителей ниже требуемого и устойчиво снижается, что свидетельствует о несоответствии возможностей транспорта T_2 группы по доставке соответствующих ресурсов потребителям с областных складов.

Рассмотренная схема организации логистического процесса ресурсного обеспечения актуальна, например, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в районах, значительно удаленных от складской инфраструктуры. Учитывая необходимость периодического проведения имитационных исследований подобных логистических процессов в различных географических районах, на базе одной из универсальных программных сред имитационного моделирования было разработано специализированное инструментальное средство. Этот результат был достигнут на основе применения подхода, представленного на рис.5.



Рис. 5 Подход к организации ввода исходных данных ИМ при разработке специализированного инструментального средства

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

В его основе лежит организация ввода всех исходных данных имитационной модели через внешний интерфейс программной среды моделирования, что обеспечивается возможностью обработки XLS-файлов в данной среде. Эта возможность реализована как в AnyLogic, так и в GPSS Studio. Соответственно, логико-математическая модель исследуемого процесса может быть реализована в любой из указанных программных сред.

Таким образом, все исходные данные вводятся через дружественный интерфейс пользователя с применением понятной ему терминологии и на этой основе формируются иерархические таблицы данных. Размерность таблиц по числу столбцов – фиксированная, что соответствует описанию однотипных моделируемых объектов логистических процессов МТО одинаковыми наборами исходных данных. Размерность таблиц по числу строк – переменная, что обеспечивает описание различных по количественному составу структур исследуемых процессов.

Схема реализации рассматриваемой технологии представлена на рис.6.

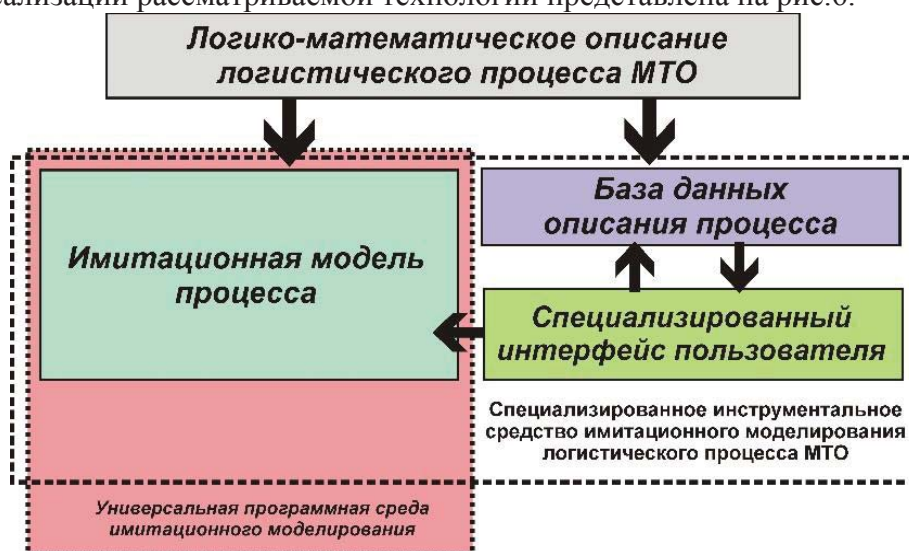


Рис. 6. Технология создания специализированного инструментального средства имитационного моделирования логистического процесса МТО

На основе применения данной технологии в программной среде моделирования AnyLogic разработано специализированное инструментальное средство имитационного моделирования процесса ресурсного обеспечения, который был рассмотрен выше.

Применение специализированного средства моделирования обеспечивает реализацию следующих возможностей:

- отображение на карте геоинформационной системы (ГИС) в автоматизированном режиме графических обозначений моделируемых стационарных объектов в соответствии с задаваемыми координатами их расположения;
- отображение на карте ГИС динамических объектов (транспортных единиц – железнодорожных составов и автоколонн, перевозящих соответствующие объемы ресурсов X, Y, Z);
- задание маршрутов движения автоколонн по координатам промежуточных точек (железнодорожные составы движутся в существующей сети железных дорог по кратчайшему пути);
- выбор состава групп потребителей и их отображение на карте в соответствии с установленным днем начала работы в задаваемых координатами районе;
- построение различных вариантов цепей поставок ресурсов от областных Co складов до групп потребителей Pi ;
- задание временных интервалов с различной интенсивностью расхода ресурса потребителями в зависимости от решаемых функциональных задач и учет этого фактора при моделировании ежедневного расхода ресурса и ряд других.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

Таким образом, предлагаемая технология создания специализированных инструментальных средств имитационного моделирования полностью ориентирована на специалиста предметной области, ее применение позволяет существенно повысить оперативность разработки имитационных моделей и снизить их стоимость.

Литература

1. Большой энциклопедический словарь. М.: Большая российская энциклопедия; СПб.: Норинт, 2002. С. 971.
2. *Галютдинов Р.Р.* Виды логистики и их характеристика // Сайт преподавателя экономики. [2016]. URL: <http://galyautdinov.ru/post/vidy-logistiki> (дата обращения: 15.09.2019).
3. Воробьев А.А., Загодарчук И.В., Филяев М.П. Имитационное моделирование в военном деле / Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации: сборник научных трудов. – СПб: Изд-во Политехнического университета. – 2018. – Вып. 3 (9). – С. 42-49.
4. Филяев М.П., Воробьев А.А. Актуальные вопросы имитационно-аналитического моделирования логистических процессов ракетно-технического обеспечения / В сборнике: Восьмые Уткинские чтения. Труды Общероссийской научно-технической конференции. Сер. "Библиотека журнала "Военмех. Вестник БГТУ"". 2019 - с. 290-296.
5. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие. – М.: Вузовский учеб.: Изд-во ИНФРА-М, 2014. – 254 с.
6. Воробьев А.А., Филяев М.П., Якшин А.С. Дискретно-событийное имитационное моделирование процессов материально-технического обеспечения войск (сил) / Наука и военная безопасность. – Омск: ОАБИИ, вып. 1 (16), 2019 – с. 76-82.
7. Филяев М.П. Повышение эффективности процессов материально-технического обеспечения на основе применения современных инструментальных средств имитационного моделирования / Информационные системы и технологии: теория и практика. Сборник научных трудов. Ответственный редактор А.М. Заяц. – СПб: Изд-во СПбГЛТУ, 2018 – с. 45-50.
8. Филяев М.П., Фесенко И.В., Венедиктов А.В. Имитационное моделирование процессов материально-технического обеспечения войск: методы и инструментальные средства / Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. – СПб: Изд-во Политехнического университета, выпуск 1(7) 2018. – С. 83-89.
9. Власов С. А., Девятков В. В., Девятков Т. В. Универсальная моделирующая среда для разработки имитационных приложений// Информационные технологии и вычислительные системы № 2. – 2009. – С. 5–12.
10. Борщев А.В. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз//Автоматизация в промышленности № 2. – 2016.– С. 51-55.
11. Бычков А.В., Воробьев А.А., Левченко Г.Н., Филяев М.П. Научно-методические подходы к имитационному моделированию процессов материально-технического обеспечения войск (сил) в операциях (боевых действиях) / Сб. трудов Межведомственной научно-технической конференции «Актуальные проблемы применения имитационного моделирования в интересах материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации». – СПб: ВА МТО, 2018 – с.21-34.
12. Малыханов А.А., Черненко В.Е. Среда низкоуровневого имитационного моделирования транспортных систем // Автоматизация в промышленности № 1.–2010.– С.34-37.