

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ GPSS STUDIO
ДЛЯ ИМИТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК**

**В.В. Девятков (Казань), М.П. Филяев (Санкт-Петербург),
Д.Н. Маряшина, И.А. Девятков (Казань)**

Введение

Система материально-технического обеспечения (МТО) войск является важнейшей составляющей любой армии мира. Она обеспечивает поддержание войск и сил в постоянной готовности к выполнению функциональных задач, как в военное, так и в мирное время. В условиях постоянной трансформации, информационно-технического развития армии, быстро изменяющейся обстановки, непрерывного усложнения проводимых учений и необходимости прогнозирования гипотетически возможных ситуаций осуществлять планирование и принимать рациональные решения по управлению МТО войск становится все сложнее. В этой связи актуальность использования новых информационных технологий, в том числе и имитационного моделирования (ИМ), чрезвычайно возрастает. Этому способствует и то обстоятельство, что современное состояние инструментов ИМ позволяет быстро и качественно решать значительный ряд задач, связанных с управлением процессами МТО войск.

Постановка задачи

В данной статье рассматривается пример реализации имитационной модели обеспечения формируемой группировки войск одним из основных видов материальных средств (ресурсов) – горючим.

Суть моделируемого процесса в формализованном виде заключается в обеспечении потребителей $\Pi_i (i=1, k)$, временно распределённых для решения краткосрочных функциональных задач в группы G_j (где $j=1, n$), определенными видами ресурсов ($B, Д, К$ – бензином, керосином, дизельным топливом). Запасы ресурсов хранятся на складах четырех видов с условными названиями: региональных $Сr_i$, областных $Сo_j$, групповых $Сг$ и складах на выгрузочных железнодорожных станциях u_k (где $i=1, m; j=1, q$ и $k=1, l$). Каждый областной склад обслуживает лишь определенную группу потребителей (рисунок 1).

Доставка ресурсов с региональных складов на областные склады осуществляется только железнодорожным транспортом. Между складами областного уровня и складами групп потребителей доставка ресурсов может производиться как железнодорожным транспортом через выгрузочные железнодорожные станции, так и автомобильным.

Доставка ресурсов непосредственно до потребителей осуществляется либо автомобильным транспортом самих потребителей $Ti (i=1, k)$, либо транспортом групп ($Tг$), за которыми закрепляются на обслуживание определенные потребители.

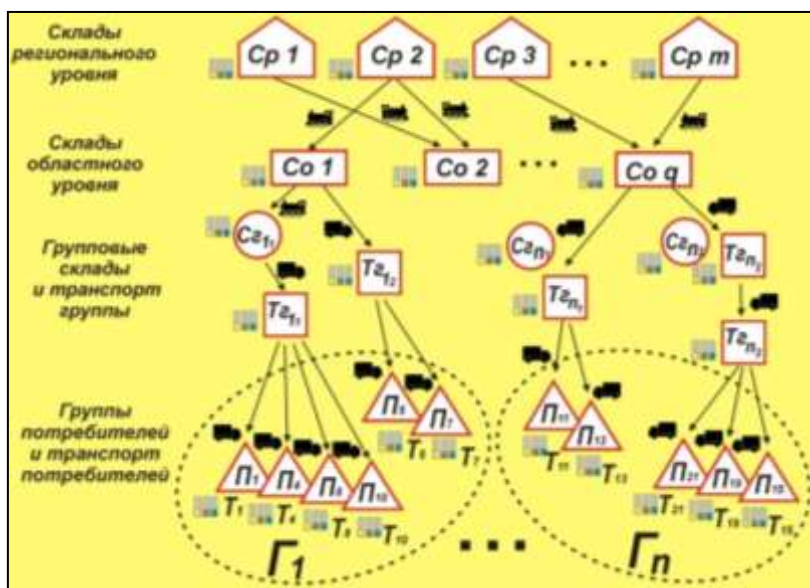


Рис.1 – Структура моделируемого процесса и маршруты поставок горючего

Основная задача имитационной модели – определение множества допустимых вариантов распределения ресурсов – $\{B_{дон}\}$, при реализации которых не возникло бы следующих внештатных ситуаций:

- превышен допустимый уровень загрузки областного склада – $V_{co_i} > V_{max_i}$, в момент разгрузки ресурса, прибывшего со склада регионального уровня;
- превышен допустимый уровень загрузки группового склада $V_{cg_i} > V_{max_i}$ в момент разгрузки ресурса, прибывшего железнодорожным транспортом с областного склада;
- уровень загрузки областного склада в момент выдачи ресурса автомобильному транспорту недостаточен и не может обеспечить требуемый объем – $V_{co_i} < V_{mg_i}$;
- уровень запасов, хотя бы по одному ресурсу, у потребителей V_{ng_i} ниже требуемого $V_{ng_i}^{min}$ и снижается в течение некоторого времени, что свидетельствует о несоответствии возможностей транспортных компаний по доставке определенных ресурсов потребителям – если логическое выражение $(V_{ng_1} < V_{ng_1}^{min}) \wedge (V_{ng_2} < V_{ng_2}^{min}) \wedge \dots \wedge (V_{ng_k} < V_{ng_k}^{min})$ истинно.

Затем, по возможности, нахождение среди множества допустимых вариантов оптимального по некоторым критериям. Например, наименьшего по материальным затратам варианта $\{B_{дон}\} \rightarrow B_{дон}^{min}$.

Инструмент моделирования и разработка модели

Ранее подобного типа задача была решена с использованием системы моделирования AnyLogic [1]. Результат разработки был положительным, но требовалось найти инструмент ИМ, который решал бы подобные задачи и входил в единый Реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, а после соответствующих сертификационных процедур и возможных доработок мог бы использоваться в интересах решения задач Министерства обороны. В качестве такого инструментального средства была выбрана среда имитационного моделирования GPSS Studio [2].

Весь процесс обеспечения горючим формируемой группировки войск был описан в виде совокупности композитных и элементарных типовых блоков (ТЭБ),

соединенных друг с другом в соответствии с логикой процесса МТО. Так, на первом уровне иерархии имитационной модели (рисунок 2) выделены три композитных ТЭБа: «Склады», «Функционирование потребителей» и «Функционирование транспорта», представляющие собой основные объекты моделирования, представленные на рисунке 1.



Рис.2 – Верхний уровень иерархии структурной схемы

На рисунках 3–5 представлен второй уровень иерархии структурной схемы. Композитный ТЭБ «Склады» детализируется до трех композитных блоков. ТЭБ «Функционирование потребителей» разбивается на три элементарных типовых блока, а ТЭБ «Функционирование транспорта» на два композитных и один элементарный блок.



Рис.3 – Второй уровень иерархии. ТЭБ «Функционирование транспорта»



Рис.4 – Второй уровень иерархии структурной схемы. Композитный ТЭБ «Склады»

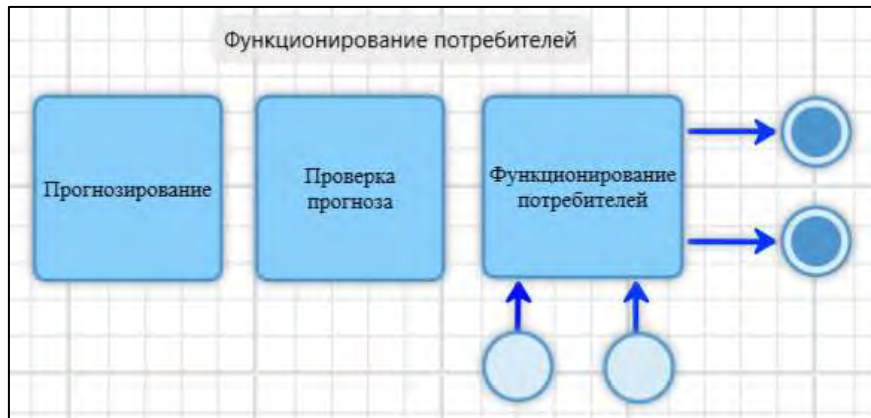


Рис. 5 – Второй уровень иерархии структурной схемы. Композитный ТЭБ «Функционирование потребителей»

Третий уровень иерархии структурной схемы составила декомпозиция ТЭБов «Погрузка ресурсов в транспортные средства», «Пополнение складов», «Отправка транспорта для пополнения складов», «Отправка транспорта для доставки ресурсов потребителям» и «Поставка ресурсов с региональных складов» (рисунок 6).



Рис. 6 – Элемент третьего уровня иерархии. ТЭБ «Поставка ресурсов с региональных складов»

Структурная схема имеет дополнение в виде множества структурированных ТЭБов данных и ТЭБов матриц. Они содержат переменные, показатели и другие объекты модели, а также автономный сегмент для управления временем в процессе моделирования (рисунок 7).

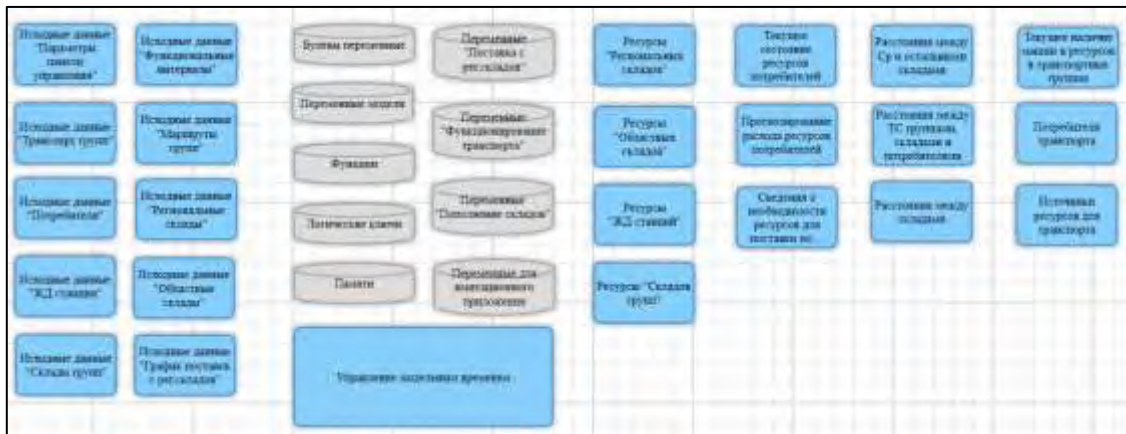


Рис.7 – Описание данных в имитационной модели

Для каждого элементарного ТЭБа, была реализована логика его функционирования в виде фрагмента модели на языке GPSS World. Пример модели ТЭБа «Областные склады» показан на рисунке 8. После предварительной отладки и сборки всех ТЭБов, автоматически генерируется имитационная модель.

На основе отлаженной и правильно работающей модели средствами среды было разработано предметно-ориентированное приложение. Это независимый от среды моделирования исполняемый модуль, предназначенный для проведения полномасштабного имитационного исследования – ввода исходных данных, планирования одиночных и серий экспериментов и их реализации. В процессе исследования формируется база данных всех результатов моделирования. Выбирая необходимые результаты, пользователь может постепенно сформировать основу будущего отчета о результатах исследования посредством их автоматического экспорта в файл MS World.

Экземпляр ТЭБа - Областные склады		Общие	GPSS модель	GPSS объекты	Входы	Выходы	Параметры	Состояния
Warehouse_Co_source		;начало-загрузка ресурсов и их последующая доставка на склад пополнения ADVANCE p27 SAVEVALUE K_cars_group_C_source-,1 SAVEVALUE K_cars_group_Co_source_locate+,1 ASSIGN 25-,(p22#p28)						
met230			TEST NE p2,0,met230 ASSIGN 27,(p2/mx\$I_Mx_Co(p214,10)#24) ADVANCE p27 MSAVEVALUE Mx_resource_Co-,p214,2,p2					
met231			TEST NE p3,0,met231 ASSIGN 27,(p3/mx\$I_Mx_Co(p214,10)#24) ADVANCE p27 MSAVEVALUE Mx_resource_Co-,p214,3,p3					
met232			TEST NE p4,0,met232 ASSIGN 27,(p4/mx\$I_Mx_Co(p214,10)#24) ADVANCE p27 MSAVEVALUE Mx_resource_Co-,p214,4,p4					
Warehouse_Co_popolnenie		;начало-пополнение склада ADVANCE p27 SAVEVALUE K_cars_group_C_popolnenie-,1 SAVEVALUE K_cars_group_Co_popolnenie_locate+,1 ASSIGN 25-,(p23#p28)						
met233			TEST NE p2,0,met233 ASSIGN 27,(p2/mx\$I_Mx_Co(p211,11)#24) ADVANCE p27 MSAVEVALUE Mx_resource_Co+,p211,2,p2 ASSIGN 2,0					
met234			TEST NE p3,0,met234 ASSIGN 27,(p3/mx\$I_Mx_Co(p211,11)#24) ADVANCE p27 MSAVEVALUE Mx_resource_Co+,p211,3,p3 ASSIGN 3,0					
met235			TEST NE p4,0,met235 ASSIGN 27,(p4/mx\$I_Mx_Co(p211,11)#24) ADVANCE p27 MSAVEVALUE Mx_resource_Co+,p211,4,p4 ASSIGN 4,0					
Warehouse_Cr_popolnenie		;конец-загрузка ресурсов и их последующая доставка на склад пополнения MSAVEVALUE Mx_resource_Co,p211,23,0 ASSIGN 27,(p24/p26) SAVEVALUE K_cars_group_Co_popolnenie_locate-,1 TRANSFER ,Warehouse_Cr_popolnenie						
		;конец-пополнение склада MSAVEVALUE Mx_resource_Co,p211,23,0 ASSIGN 27,(p24/p26) SAVEVALUE K_cars_group_Co_popolnenie_locate-,1 TRANSFER ,Vozvrat_posle_popolnenie						

Рис.8 – Фрагмент модели на языке GPSS World, описывающий логику функционирования ТЭБа «Областные склады»

Примеры создания специализированных диалоговых форм ввода данных, планирования экспериментов и представления результатов см. на рисунках 9-11. Конструировать эти формы может сам пользователь, максимально приближая терминологию диалогов к предметной области МТО. Диалоговые формы запуска эксперимента универсальны для всех моделей.

Задание исходных данных в приложении может быть осуществлено двумя способами: для небольшого количества основных параметров – вручную, с использованием диалоговых секций ввода; для полного объема всех варьируемых параметров – посредством импортирования данных из заранее подготовленных Excel-файлов.

Склады	Потребители
Кол-во складов регионального уровня (Ср)	Количество потребителей
Кол-во областных складов (Со)	Количество групп потребителей
Кол-во складов на жд станциях (Сж)	
Кол-во групповых складов (Сг)	

Поезда	Автомобильный транспорт
Количество жд цистерн	Количество транспортных групп
Объем жд цистерн в куб.метрах	
Максимальное кол-во цистерн в одном эшелоне	
Удельная плотность ресурса Б	
Удельная плотность ресурса Д	
Удельная плотность ресурса К	

Рис.9 – Форма ввода имитационного приложения

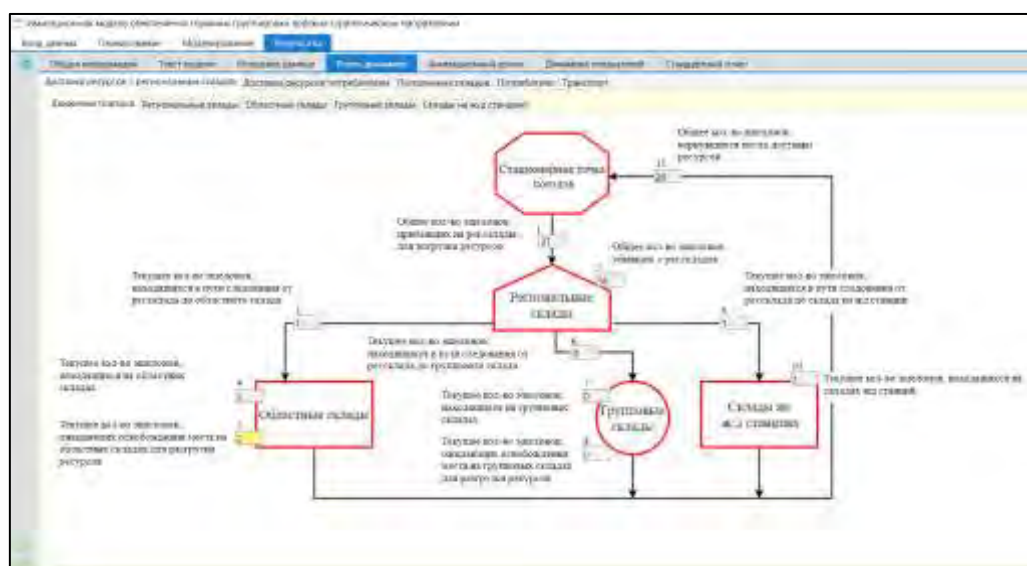


Рис.10 – Форма вывода «Ролик динамика». Движение поездов



Рис.11 – Форма вывода «Ролик динамика». Доставка ресурсов на областные склады

В настоящий момент разработана базовая версия имитационного приложения. Совершенствование приложения продолжается. В частности, для реализации возможности визуализации моделируемого процесса на карте ГИС разработан отдельный модуль в среде программирования С# и в настоящий момент завершается его полная интеграция с GPSS Studio. Пример ввода исходных данных по локации складов различного уровня для данного приложения приведен на рисунке 12.



Рис.12 – Графическая визуализация структуры складов и потребителей

Разработанное имитационное приложение позволяет автоматизировать весь процесс имитационного исследования:

- отображать на карте графические обозначения моделируемых стационарных объектов (складов, потребителей, транспортных компаний) в соответствии с задаваемыми координатами их расположения;

-
- задавать динамические объекты (автомобильный транспорт, железнодорожные составы, перевозящие ресурсы) и логически привязывать их к складам и потребителям;
 - задавать маршруты движения автоколонн по координатам промежуточных точек;
 - задавать временные интервалы расхода ресурсов с различной интенсивностью потребителям в зависимости от решаемых функциональных задач;
 - визуализировать моделируемый процесс на карте ГИС: отображать движение автотранспортных средств при осуществлении доставки ресурсов, отображать динамику изменения запасов любого вида ресурсов на рассматриваемых объектах (на складах, у потребителей, в транспортных компаниях).

Заключение

По результатам разработки можно сделать следующие выводы:

1. среда моделирования GPSS Studio позволяет решать поставленную задачу в полном объеме;
2. создание различных библиотек типовых блоков предметной области МТО предоставляет аналитику возможность быстрого создания приложений, ориентированных на решение конкретных задач;
3. пример подсоединения ГИС показывает, что при необходимости среда моделирования может быть дополнена новым функционалом, требуемым для прогнозирования систем МТО.

Для создания более функциональной и адекватной модели планируется дальнейшая доработка имитационной модели и приложения, которые позволят:

- определять состав групп потребителей и их отображение на карте в задаваемом координатами районе в установленный день и час;
- учитывать невозможность проезда через отдельные районы;
- осуществлять построение различных вариантов цепей поставок ресурсов от складов до групп потребителей (с оптимизацией по времени, расстоянию или стоимости);
- вести учет возможных аварийных ситуаций и надежности техники при движении автотранспорта групп и выхода его из строя при интенсивной эксплуатации.

Литература

1. **Филяев М.П., Воробьев А.А.** Технология создания специализированных инструментальных средств имитационного моделирования логистических процессов / В сборнике: «Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности». Труды конференции. 2019. – С. 580-586.
2. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов: под общ. ред. В.В. Девяткова. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 283 с.