

УДК: 004.942

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК

А.И. Паняев, М.П. Филияев (Санкт-Петербург)

Одним из актуальных направлений повышения эффективности подготовки военных специалистов в современных условиях продолжает оставаться внедрение в образовательный процесс компьютерных технологий и программно-реализованных на их основе методов математического моделирования [1]. До настоящего времени в части подготовки военных специалистов материально-технического обеспечения (МТО) это ограничивалось, как правило, только разработкой и применением программных средств, которые успешно используются при проведении занятий, но позволяют решать лишь отдельные узконаправленные задачи [2]. В этой связи стал весьма актуальным проблемный вопрос создания комплексных программных продуктов, включающих в себя разноплановые программные компоненты, такие как имитационные модели (ИМ) изучаемых процессов, расчетные и информационные задачи (ИРЗ) [3], как показано на рис. 1.

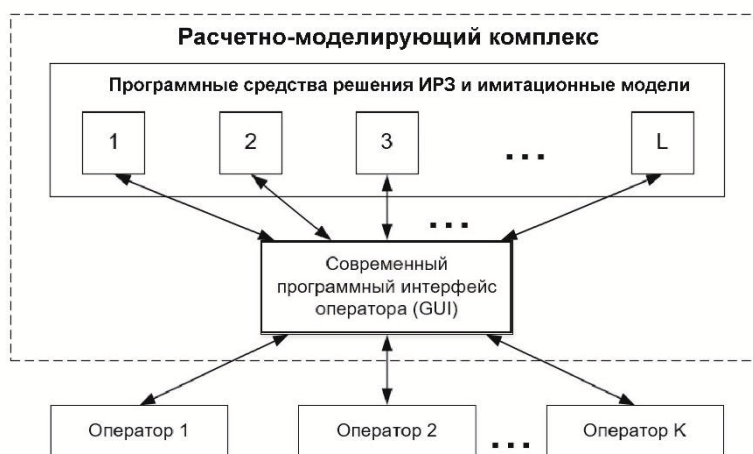


Рис. 1. Объединение программных средств решения ИРЗ и ИМ процессов МТО на основе разработки развитого программного интерфейса оператора

Очевидно, что указанные программные продукты должны иметь не только развитый интерфейс пользователя (оператора), но и обеспечивать возможность учета особенностей и последовательности проводимого занятия. Наибольшей трудоемкостью здесь по-прежнему характеризуется этап создания именно имитационной модели изучаемого процесса. Особенности разработки имитационных моделей процессов МТО на основе применения известных инструментальных программных сред AnyLogic [4], GPSS Studio [5] и возникающие при этом проблемные вопросы достаточно полно рассмотрены в [6], в том числе была обоснована и актуальность создания специализированной среды имитационного моделирования (СИМ) процессов МТО.

Как отмечается в работе [6], опыт применения универсальных инструментальных сред моделирования показал, что возможности этих сред применительно к задачам имитационного моделирования процессов МТО являются, с одной стороны, избыточными, а с другой стороны, не в полной мере отвечают

имеющимся потребностям, так как не позволяют описывать эти процессы с требуемым уровнем детализации на основе предоставляемых логических процедур и библиотек.

В связи с этим в Научно-исследовательском институте Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева в настоящее время ведется разработка указанной выше специализированной СИМ с целью обеспечения полнофункционального моделирования действий сил и средств МТО в задаваемых условиях обстановки. В основе построения рассматриваемой СИМ принята гибридная технология, предполагающая совместное применение как дискретно-событийного, так и статистического моделирования. Принятый подход обусловлен тем, что в целом моделируемые процессы МТО носят логистический характер, но их реализация сопровождается воздействием значительного числа случайных внешних факторов, определяющих одновременно и их вероятностный характер.

Разрабатываемая СИМ с некоторыми ограничениями базируется на концепции распределённого имитационного моделирования. Этот подход предполагает использование высокоуровневой архитектуры *HLA (High Level Architecture)*, соответствующей международному стандарту моделирования и имитации *IEEE 1516-2010* (далее - *IEEE 1516*) [7, 8].

На текущий момент стандарт *IEEE 1516* является общепризнанным в области моделирования военных систем, так как обеспечивает полностью «прозрачную» совместимость между различными тренажерными и имитационными средствами. Его использование обусловлено жёсткими требованиями военных ведомств зарубежных стран к интеграции имитационных решений, что позволяет объединять разнородные системы в единую среду моделирования. Вместе с тем, стандарт *IEEE 1516* все чаще находит применение и в гражданских сферах. Его активно используют в обучении операторов сложных технических систем, в авиационной и космической отраслях, на транспорте и в других высокотехнологичных областях.

Основными элементами стандарта *IEEE 1516* являются:

- *Объект* – это модель какого-либо реального явления или процесса. В рамках СИМ объект представляет собой набор данных, описывающих его текущее состояние. Однако в отличие от традиционного объектно-ориентированного программирования в стандарте *IEEE 1516* объект не содержит методов для обработки данных – он только хранит информацию о своем текущем состоянии;
- *Атрибут* – это характеристика объекта, которая может изменяться во времени. Например, для модели транспортного средства атрибутами могут быть его скорость, местоположение и уровень топлива. В каждый момент времени объект определяется конкретным набором значений атрибутов;
- *Федерат* – это программный или аппаратный компонент СИМ, который моделирует поведение объектов. Федераты могут управлять объектами, изменяя их атрибуты, или получать информацию о текущем состоянии объектов. Федератами могут быть имитаторы, тренажеры, реальные устройства или специализированное программное обеспечение;
- *Федерация* – это совокупность всех федератов, участвующих в имитационном моделировании. Федерация представляет собой единую среду, в которой взаимодействуют разные модели и системы;
- *Интеракция* – это мгновенное событие или сообщение, не привязанное к конкретному объекту или федерату. В отличие от атрибутов объектов, которые изменяются и сохраняются во времени, интеракции являются разовыми и существуют только в момент их отправки.

Главным требованием для распределённых имитационных систем на основе стандарта *IEEE 1516* является обеспечение единого интерфейса для взаимодействия всех компонентов, реализованного в виде подписки, как показано на рис. 2.

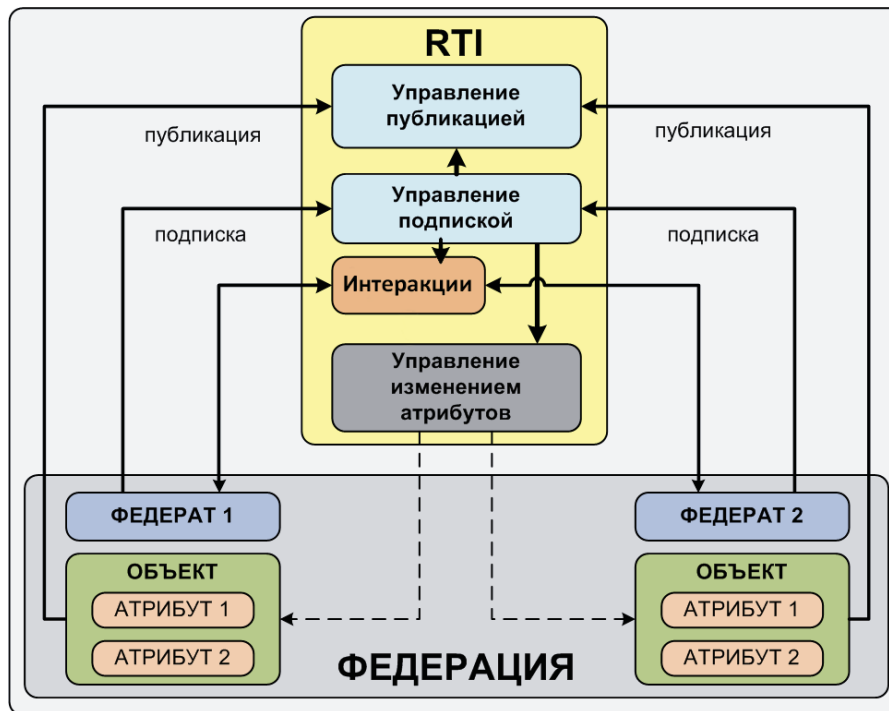


Рис. 2. Распределенная система имитационного моделирования на основе стандарта *IEEE 1516-2010*

Для этого используется механизм *RTI (Runtime Infrastructure)*, который управляет обменом данными между элементами СИМ. Федерат, применяемый в работе с атрибутами определенных объектов в ходе выполнения отдельных интеракций, должен подписаться на них через *RTI*, причем со стороны *RTI* все федераты являются логическими элементами системы и неважно, виртуальный это объект или реальный.

Следует подчеркнуть:

- все федераты рассматриваются *RTI* как логические элементы системы, независимо от того, являются ли они программными моделями, физическими устройствами или тренажерами;
- каждый федерат, который будет получать значения атрибутов определённых объектов или оповещения об интеракциях, должен подписаться на них;
- *RTI* обрабатывает подписки и передаёт необходимые данные соответствующим федератам.

Таким образом, благодаря *RTI* обеспечивается гибкость и масштабируемость распределённых имитационных систем, позволяя интегрировать в единую среду как виртуальные, так и реальные компоненты, а использование стандарта *IEEE 1516* в СИМ позволяет построить специализированную СИМ, способную объединять различные имитационные комплексы, обеспечивать совместимость с международными стандартами и находить применение не только в военной, но и в гражданской сфере.

Опираясь на вышеописанную концепцию распределённого имитационного моделирования, определим основные компоненты СИМ (соотнося их с терминологией стандарта *IEEE 1516*):

- интеракция – событие, возникающее в ходе моделирования;
- объект – объект моделирования, обладающий набором атрибутов, доступных

для чтения и редактирования;

- атрибуты объекта – свойства объекта моделирования;
- федераты – процессы, которые оформляют подписку на определённые свойства объектов и события модели, изменяют свойства объектов и публикуют события;

- *RTI* – блок управления ходом моделирования.

Структурно-логическая схема СИМ представлена на рис. 3.

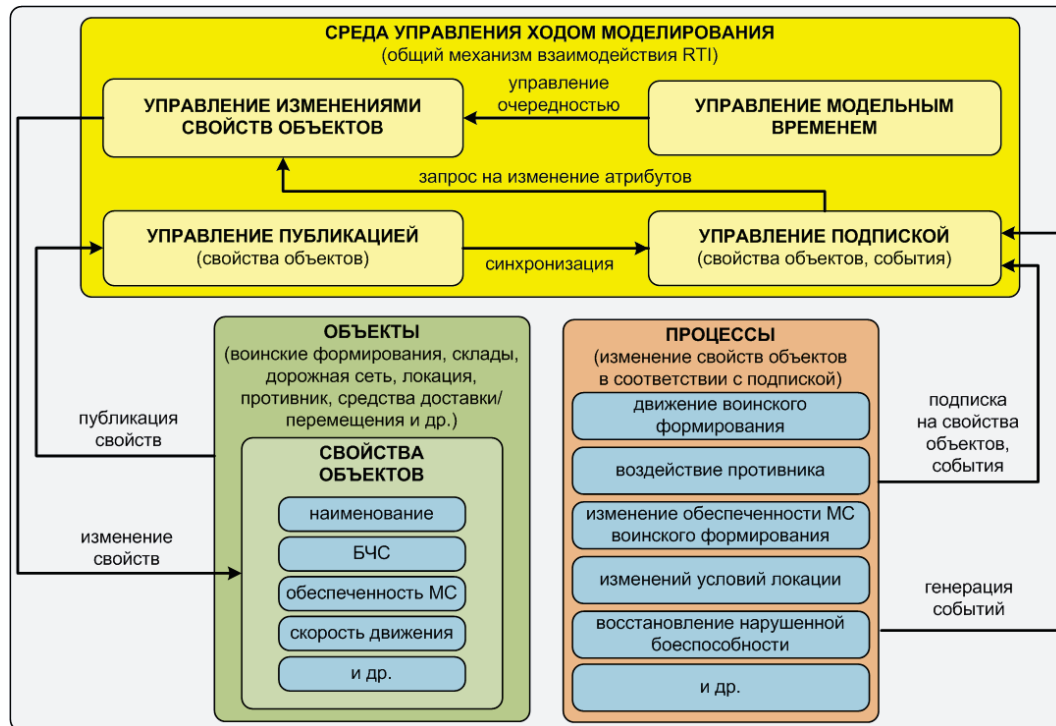


Рис. 3. Структурно-логическая схема специализированной СИМ

Объектами моделирования, исходя из его целей и задач, являются силы и средства МТО, различные объекты МТО (базы, склады и т.д.), объекты транспортной инфраструктуры, дорожная сеть (автодороги, железнодорожная сеть и водные пути), объекты противника, а также любые другие, существенно оказывающие влияние на выполнение задач МТО войск. Каждый объект обладает своим набором свойств, однозначно характеризующим его состояние во времени. Данные свойства прописываются как доступные или же недоступные к изменению на этапе регистрации объекта в механизме управления ходом моделирования. В отдельных случаях они выступают показателями эффективности реализации процессов МТО.

Федераты, влияющие на состояние объектов моделирования, есть не что иное, как алгоритмы, описывающие изменение свойств объекта (группы объектов) моделирования в зависимости от складывающихся условий (например, метеоусловия или время суток), состояния других объектов (например, обеспеченность горючим средств доставки материальных средств (МС)), а также от других факторов. Как правило, указанные алгоритмы используют при реализации вероятностный подход.

Примером описанного процесса может служить, например, воздействие противника на дорожную сеть путем ракетно-артиллерийского удара. Результативность удара в данном случае будет зависеть от варианта действий противника в целом, действий средств противодействия разведке противника, проведенных мероприятий маскировки и т.д. и повлияет на скорость средств доставки МС (свойство объекта

моделирования) определенным воинским формированиям и, соответственно, на их обеспеченность (свойство объекта моделирования).

Как только федерат проходит регистрацию в блоке управления ходом моделирования, он подписывается на возможность изменения свойств объектов моделирования, а также оповещения о событиях других федератов. Вышеуказанное действие производится только после регистрации всех федератов и объектов.

Описания объектов и их свойств, а также процессов создаются и хранятся в базе исходных данных (БИД) и используются в блоке подготовки и настройки имитационного эксперимента.

Блок управления ходом моделирования – это основной компонент СИМ, на который возлагаются функции управления модельным временем; публикацией объектов и их свойств, а также их изменением; подпиской процессов на события и возможность изменения свойств объектов; очередностью событий и общей синхронизацией в соответствии с течением модельного времени, как показано на рис. 4.

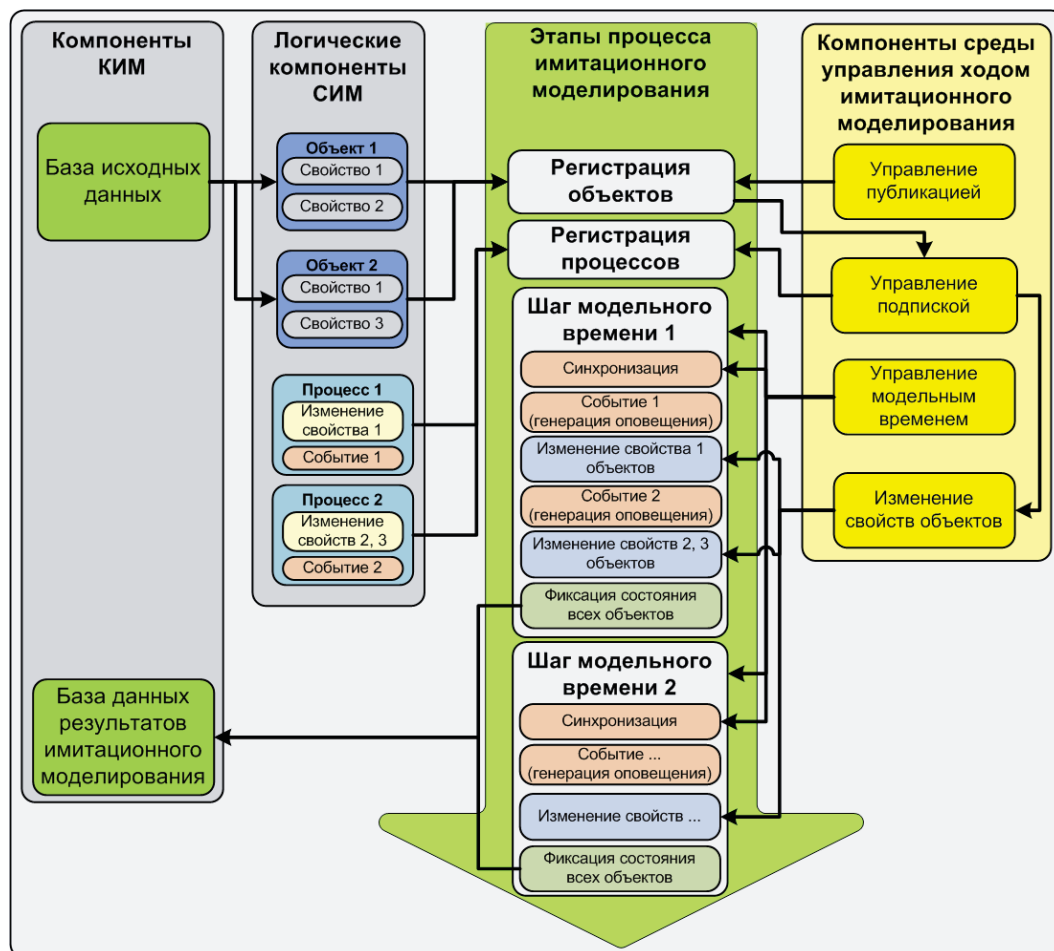


Рис. 4. Логическая схема функционирования специализированной СИМ

Алгоритм работы СИМ при проведении имитационного эксперимента включает два этапа.

1. Этап формирования и регистрации логических компонентов СИМ, на котором формируется совокупность этих компонентов, а именно – совокупность объектов моделирования и процессов, после чего они регистрируются в блоке управления ходом моделирования. На рис. 4 данная совокупность состоит из двух объектов и двух процессов. Каждый объект обладает двумя свойствами (одно из которых у объектов одинаковое), каждый процесс способен изменять определенные

свойства у объектов и генерировать событие. Совокупность объектов и процессов формируется с помощью БИД, из которой и выбираются путем запроса необходимые для проведения имитационного эксперимента компоненты, а также другие необходимые параметры. Сформированные объекты и процессы регистрируются в СИМ, причем процесс регистрации объектов включает в себя процесс публикации свойств, доступных к изменению, а процессов – подписку на возможность изменения свойств объектов и события в среде управления ходом имитационного моделирования путем задействования модулей управления публикацией и подпиской.

2. Этап имитационного моделирования, включающий задействование модуля управлением модельным временем и модуля изменения свойств объектов, который взаимодействует с модулями управления публикацией и подпиской. На этом этапе реализуется дискретно-событийная сущность разработанной имитационной модели, так как в модельном времени с заданным шагом формируется дискретная последовательность событий. На каждом шаге модулем управления модельным временем осуществляется синхронизация, заключающаяся в распределении работы процессов по времени в соответствии с их приоритетом. Далее каждый зарегистрированный процесс по очереди может сгенерировать событие, которое, в соответствии с подпиской, может оказать влияние на другие процессы, а также изменить свойства объектов, также в соответствии с подпиской. Каждый процесс, как отмечалось ранее, есть математическое описание поведения объекта (группы объектов) моделирования и может носить вероятностный характер, что позволяет реализовать статистическую сущность имитационной модели. В конце каждого шага фиксируется состояние всех объектов в базе данных результатов имитационного эксперимента.

Основным итогом работы специализированной СИМ является совокупность выходных данных, содержащих информацию о состоянии объектов на различных этапах имитационного эксперимента. Повторное проведение имитационных экспериментов с различными входными параметрами и сценариями позволяет формировать новый обширный массив данных. Это даёт возможность осуществлять объективный статистический анализ, который может использоваться для выявления закономерностей, оценки эффективности различных стратегий и оптимизации решений.

На основе полученных выходных данных моделирования возможно скорректировать, в том числе, результаты оперативно-тактических расчётов (решения ИРЗ), а также разработать предложения по МТО в заданных условиях обстановки.

Вместе с тем накопленный массив выходных данных может использоваться не только в рамках конкретных оперативно-тактических расчётов, но и в более широком спектре решаемых задач. Например, в качестве синтетических данных для обучения систем искусственного интеллекта (ИИ) [9], предназначенных для прогнозирования параметров, оптимизации логистики или автоматизированного принятия решений, а также в исследовательских целях, таких как анализ сценариев развития событий, выявление критических факторов, влияющих на устойчивость системы, или тестирование новых методик оперативного планирования.

Таким образом, результаты реализации ИМ в рассматриваемой СИМ представляют собой ценный дополнительный источник информации, который в перспективе может применяться как в реальном управлении МТО войск, так и при разработке систем поддержки принятия решений с элементами ИИ.

В настоящее время специализированная СИМ успешно апробирована на ряде разработанных ИМ процессов МТО войск. Результаты апробации подтвердили её основные преимущества по сравнению с известными универсальными инструментальными средствами имитационного моделирования в части возможности

высокой степени детализации моделируемых процессов и, соответственно, достигаемого уровня достоверности и точности результатов.

Литература

1. **Макарихин И.В., Александров В.И., Большаков Ю.Н., Чурсин О.В.** Совершенствование системы военного образования и подготовки военных специалистов // Актуальные исследования. 2021. №2(60). С. 67-69.
2. **Лабец В.В., Блинова Н.П.** Совершенствование учебной и методической деятельности по формированию у слушателей профессиональных компетенций моделирования процессов материально-технического обеспечения // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. 2023. № 1 (27). С. 63-71.
3. **Цельковских А.А., Бычков А.В., Филяев М.П.** Применение имитационных моделей процессов материально-технического обеспечения войск (сил) при обучении военных специалистов // Военная мысль. 2023. № 10. С. 81-89.
4. **Хроль Е.В., Уварова А.Г., Кужиный А.В.** Разработка имитационных моделей с помощью AnyLogic // Современные инновации, системы и технологии. 2023. № 3. С.119-128.
5. **Девятков В.В.** Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под ред. докт. экон. наук В.В. Девяткова. – М.: ИНФРА-М. 2018. – 283 с.
6. **Бычков А.В., Батов В.Ю., Филяев М.П.** Проблемные вопросы применения программных инструментальных средств при разработке имитационных моделей процессов материально-технического обеспечения войск (сил) // Вторая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в военной сфере «Имитационное моделирование систем военного назначения, действий войск и процессов их обеспечения» («ИМСВН-2022»): труды конференции, 20 октября 2022 г., Санкт-Петербург. – СПб.: ВА МТО; М.: РИОР, 2022. 199 с. – С. 61-67.
7. Стандарт IEEE для моделирования и имитации (M&S) Архитектура высокого уровня (HLA) – Структура и правила, в IEEE Std 1516-2010 (пересмотр IEEE Std 1516-2000), стр. 1–38, 18 августа 2010 г., DOI.
8. 1516-2010 – IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Framework and Rules. [Электронный ресурс]. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/5553440> (дата обращения: 23.08.2025).
9. **Гусев А.С.** Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в имитационном моделировании процессов материально-технического обеспечения войск(сил) / А.С. Гусев, А.И. Паняев, И.Н. Безгина // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. 2023. № 1(27). – С. 16-25.