

ОПЫТ СОЗДАНИЯ СРЕДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Беляев Сергей Алексеевич,

к.т.н., доцент, советник заместителя
генерального директора по развитию акционерного общества
«Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского
электротехнического университета»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
beliaev@nicetu.spb.ru

Матросов Валерий Витальевич,

к.т.н., системный архитектор акционерного общества
«Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского
электротехнического университета»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
matrosov.valeriy@nicetu.spb.ru

АННОТАЦИЯ

Обоснована актуальность имитационного моделирования в современных условиях, описана задача построения среды моделирования и ключевые требования к ней на основе международного стандарта IEEE 1516-2010. Приведены принципы построения и актуальные стандарты архитектуры высокого уровня. Для подтверждения актуальности используются ссылки на работы по использованию для описания задач языков (сверх) высокого уровня. Сформулированы понятия федерата и федерации, приведены основные правила их функционирования. Перечислены основные сервисные службы, которые должны присутствовать в каждой реализации стандарта, приведён перечень существующих реализаций. Сформулированы требования реализации системы имитационного моделирования на основании архитектуры высокого уровня. Данные требования позволяют изложить формулировки стандарта в терминах, реализуемых в рамках программных комплексов. Описана обобщенная схема взаимодействия созданной системы на двух этапах: во-первых, подготовка модельного эксперимента, во-вторых, проведение модельного эксперимента. Рассмотрен основной цикл функционирования. Приведён пример федерации из трёх федератов: радиолокационной станции С-400, пусковой установки С-400, F-22 Raptor. Авторы ограничились промежутком времени от регистрации F-22 Raptor до пуска ракеты. На данном примере описана последовательность сообщений, обрабатываемых системой в процессе функционирования. Указаны задачи, которые могут решаться с использованием рассматриваемой среды имитационного моделирования, как в интересах военных, так и гражданских заказчиков. Приводятся перспективы её развития, предложены подходы по визуализации результатов с учётом различных задач, решаемых при проведении экспериментов. Сделаны выводы о возможных сферах применения систем имитационного моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование; автоматизированная система; high level architecture; промежуток времени регистрации; международный стандарт.

Для цитирования: Беляев С.А., Матросов В.В. Опыт создания среды имитационного моделирования // I-methods. 2018. Т. 10. № 3. С. 14–22.

Мировая экономика стоит на пороге шестого экономического уклада [1, 2], который характеризуется нацеленностью на развитие и применение наукоёмких технологий, таких как робототехника, геновая инженерия, нанотехнологии, искусственный интеллект и т.п. При разработке вооружения и военной техники и при проектировании сложных технических систем активно используются технологии из основ шестого технологического уклада, а именно – математическое моделирование, которое позволяет существенно повысить

качество выпускаемой продукции благодаря моделированию поведения изделий и снизить себестоимость за счёт уменьшения количества натуральных испытаний. Современные подходы к математическому моделированию реализуются с использованием проверенных методов и алгоритмов, воплощённых в многочисленных программных продуктах, таких как Aegoshape-3D, MrCCI Vizualizer, ANSYS и т.п. Создание и расчёт математических моделей помогает конструкторам создавать изделия, отвечающие вызовам современности.

При проектировании изделий активно используется численное моделирование, которое позволяет оценивать поведение продукции в различных условиях: потоки воздуха, жидкости, температурные изменения, напряжённости и т.п. Это можно сделать в условиях, когда известны математические модели изделий, материалов и сред и их можно рассчитать их поведение в различных условиях взаимодействия. Однако такой подход не всегда оказывается применим в связи с тем, что в модели появляется вероятностная составляющая, которая не позволяет точно определить результаты взаимодействия или даже поведения объекта. В этом случае предполагается использовать имитационное моделирование, которое имитирует большое количество экспериментов с учётом случайной составляющей. Такой подход позволяет с учётом количества проведённых экспериментов получить не только среднее значение результата, но и определять законы распределения результатов экспериментов.

Сам эксперимент при этом может описываться с использованием языков (сверх) высокого уровня, которые официально были формализованы в рамках системы C4ISR (command, control, communications, computers, intelligence, surveillance, and reconnaissance – командование, контроль, связь, компьютеры, разведка, наблюдение и рекогносцировка) [3]. Использование таких систем позволяет проводить распределённое моделирование и имитацию в интерактивном режиме в условиях неопределённости отдельных событий. Для систематизации подходов по созданию систем имитационного моделирования на основе языков (сверх) высокого уровня в последнем десятилетии двадцатого века принят стандарт, определяющий высокоуровневую архитектуру и открытый стандарт распределённого моделирования – High Level Architecture (HLA), обеспечивающую взаимодействие моделей всех уровней и согласование с системой C4I (Command, Control, Communication, Computers, Intelligence) [3]. HLA определяет техническое решение, которое следует использовать при создании систем имитационного моделирования. Целью введения HLA является обеспечение переносимости отдельных элементов моделей и возможность их совместного использования. HLA построен на основании структурированного языка XML (Extensible Markup Language).

При разработке HLA учитывались следующие принципы:

- простые «монолитные» имитационные модели не могут удовлетворить потребности продвинутых пользователей;
- все возможные сферы применения имитационного моделирования заранее неизвестны;
- должны быть предусмотрены возможности произвольного комбинирования отдельных симуляторов в сложные имитационные модели;
- архитектура распределённого моделирования должна быть максимально открыта для будущих технологий моделирования и имитации.

К основным особенностям HLA, как архитектуры, можно отнести [4]:

- объектно-ориентрованную структуру;
- гибкость;
- широту функциональных возможностей;
- масштабируемость.

Актуальная версия HLA разработана в рамках IEEE 1516-2010 [5, 6] и включает в себя:

- IEEE 1516-2010 – Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации.

Структура и правила.

- IEEE 1516.1-2010 – Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации. Спецификации федерального интерфейса.
- IEEE 1516.2-2010 – Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации. Спецификация шаблона объектной модели.
- IEEE 1516.3-2003 – Рекомендуемая практика разработки HLA федерации и процесс использования.

– IEEE 1516.4-2007 – Рекомендуемая практика для проверки и аккредитации федерации, как надстройка над разработкой HLA федераций и процессом использования.

– IEEE 1730-2010 – Рекомендуемая практика моделирования и процесс использования

HLA обеспечивает отделение специфических функциональных возможностей моделирования от общих. Для поддержки последних, разработана универсальная инфраструктура RTI (Real-Time Infrastructure). RTI, подобно распределенной операционной системе, обеспечивает функциональность, необходимую для взаимодействия объектов внутри распределенной системы [7]. При описании HLA введены следующие понятия:

– федерат – отдельно взятый модуль модельного эксперимента, обычно реализующий уникальную математическую модель, который реализуется в рамках объектной модели федерата SOM (Simulation Object Model);

– федерация – совокупность федератов в едином информационном пространстве, которая реализуется в рамках объектной модели федерации FOM (Federation Object Model).

В качестве федератов могут рассматриваться [4]:

- имитационные модели и системы имитации – конструктивные системы;
- тренажеры и модели, интерактивно управляемые людьми – виртуальные системы;
- реальные образцы техники или системы связи и управления – натурные системы;
- специальное программное обеспечение для визуализации или для сбора и обработки информации.

Для федератов установлены следующие правила:

- каждый федерат должен иметь свою объектную модель SOM;
- каждый федерат должен уметь обновлять и/или отображать значения атрибутов объектов, равно как посылать и/или получать интеракции, в соответствии с тем, как это сформулировано в его модели SOM;

- каждый федерат должен уметь динамически во время исполнения федерации передавать и/или получать владение атрибутами в соответствии с описанием, содержащимся в его модели SOM;

- федераты должны уметь изменять условия (например, переустанавливать уровни порогов), при которых они обновляют атрибуты, находящиеся в их владении, в соответствии с моделями SOM;

- модельное время у каждого федерата в общем случае свое. Чтобы синхронизировать обмен данными с другими членами федерации, федераты должны иметь возможность управлять локальным временем своих моделей.

Для федераций установлены следующие правила:

- каждая федерация должна иметь свою объектную модель FOM, задающую описание и взаимосвязи классов всех потенциально возможных в данной федерации объектов;

- в каждой федерации все объекты должны находиться только в ее федератах, но не в RTI;
- во время «исполнения» федерации обмены данными напрямую между федератами запрещены, все обмены осуществляются только через RTI;

- федераты должны взаимодействовать с RTI только в соответствии со спецификацией интерфейсов HLA;

- во время работы федерации федераты изменяют значения атрибутов объектов.

Все интерфейсы разбиты на шесть основных сервисных служб [6]:

- управление федерацией;
- управление декларациями;
- управление объектами;
- управление владением;
- управление временем;
- управление распределением данных.

Благодаря возможностям HLA вычисления могут проводиться не только на отдельных компьютерах, но и в распределенной среде, что увеличивает возможности по моделированию взаимодействия большого числа федератов.

Ядром системы является RTI и интерфейсы взаимодействия с ним. В настоящее время существует множество реализаций [8], как коммерческих, например, CAE RTI, Chronos RTI,

HLA Direct, SimWare RTI, Openskies RTI, Pitch pRTI, Mitsubishi ERTI, СПО PCPM и свободно распространяемых, например, BH-RTI, MATREX RTI, CERTI, EODiSP HLA, The Portico Project, Open HLA, OpenRTI, RTI-S, Rendezvous RTI. Перечисленные реализации соответствуют большинству требований стандарта HLA, но большинство реализаций являются разработками, созданными за пределами Российской Федерации.

При создании собственной реализации HLA были сформулированы ключевые требования, которым она должна удовлетворять:

- организация взаимодействия между компонентами моделирующих систем;
- интеграция моделирующих систем в единые моделирующие комплексы и построение распределенных моделирующих систем на основе поддержки стандарта распределенного моделирования;
- взаимодействие имитационных моделей и RTI в локальном режиме функционирования;
- обеспечение динамического подключения имитационных моделей, выполненных в виде модулей расширения;
- обеспечение унифицированного взаимодействия имитационных моделей в рамках моделирующей системы;
- запуск, остановка, продолжение модельного эксперимента, его протоколирование с возможностью последующего воспроизведения, а также управление модельным временем;
- управление федерациями;
- управление декларациями;
- управление объектами;
- управление владением атрибутами;
- управление логическим временем;
- управление распространением данных;
- обеспечение запуска, остановки, продолжения модельного эксперимента, а также управление модельным временем;
- предоставление разработчику оболочки для написания приложения-федерата и коллекции базовых классов для интеграции моделей;
- создание, просмотр и коррекция библиотек объектных моделей;
- генерация исходных кодов интерфейсов классов на основе объектных моделей;
- формирование конфигурации распределенной моделирующей системы;
- обеспечение отладки распределенной моделирующей системы;
- обеспечение мониторинга состояния распределенной моделирующей среды и ее диагностики;
- отбор необходимых результатов моделирования в виде данных объектной модели федерации и сохранение отобранных данных.

Обобщённая схема взаимодействия разработанной среды моделирования приведена на рис. 1. В ней выделяется два этапа: подготовки модельного эксперимента и его проведение. На этапе подготовки ключевую роль играют редактор объектных моделей, который обеспечивает конфигурирование и сохраняет результаты в формате XML, и редактор распределённой среды моделирования, описывающий параметры проведения эксперимента в формате XML. При проведении модельного эксперимента ключевую роль играет управляющий федерат, который на основании конфигурации POM и реализации моделей в JAR-архиве организует проведение эксперимента в RTI. Базовый федерат обеспечивает запуск и инициализацию модели, контроль её состояния, обеспечивает взаимодействие модели с RTI и с управляющим федератом. Указанная схема построена на основании базовой реализации Open HLA [9], она распространяется с лицензией Apache License V2.0, и её исходный код был доработан до требуемой функциональности. Особенностью HLA является то, что она не зависит от конкретной реализации, главное, чтобы выполнялись базовые требования, какой дополнительный функционал используют разработчики – значения не имеет.

В процессе имитационного моделирования осуществляется следующая последовательность действий.

Оператор выбирает и загружает в управляющий федерат конфигурацию, которая будет использоваться для моделирования.

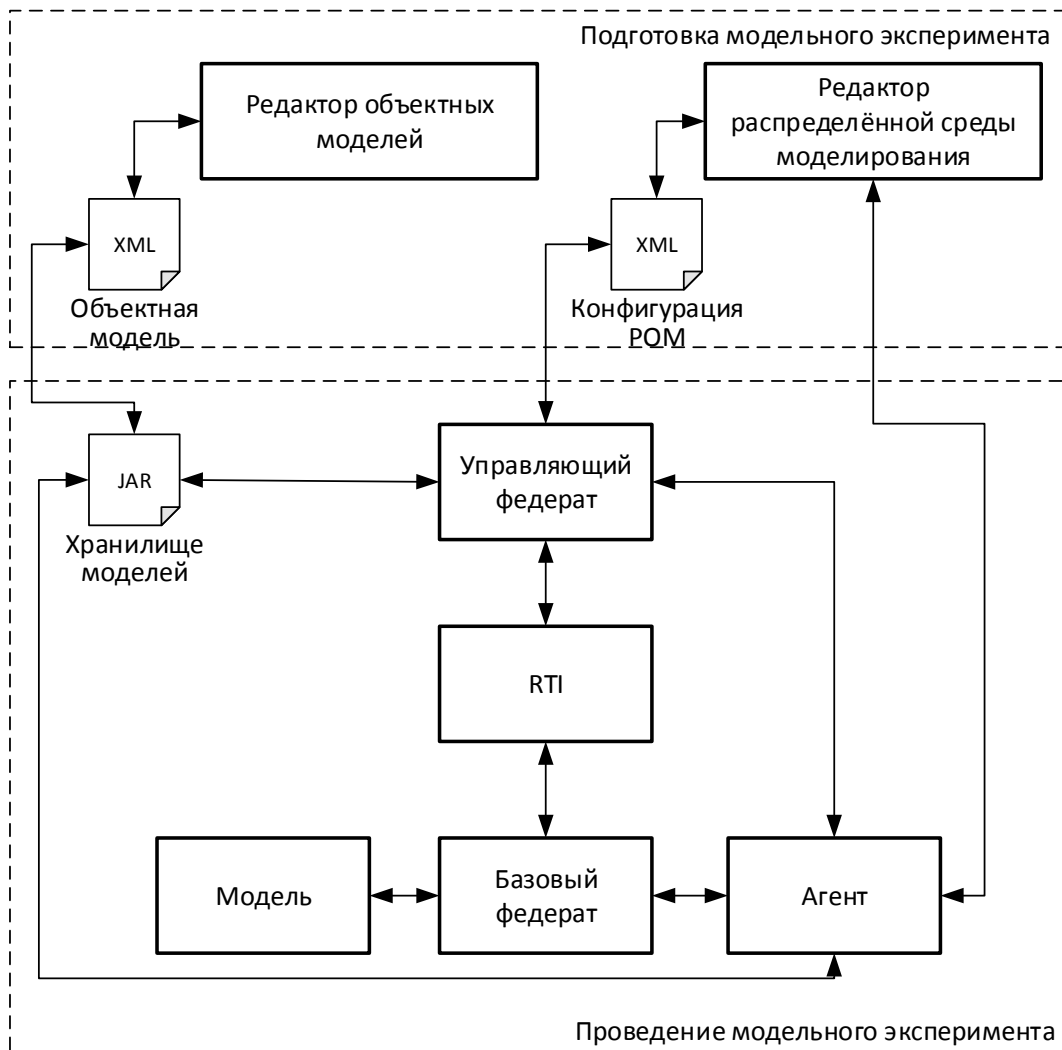


Рис.1. Обобщённая схема взаимодействия среды моделирования.

Управляющий федерат проверяет конфигурацию и ищет агентов, требуемых для её выполнения. Управляющий федерат получает и проверяет список доступных агентов для данного эксперимента.

Управляющий федерат рассылает исполняемые модули агентов на вычислительные узлы (в общем случае осуществляется распределённое моделирование).

Управляющий федерат даёт команду на запуск федератов, агенты обращаются к базовому федерату, инициализируются модели для проведения эксперимента.

Агенты осуществляют запуск и подключаются к федерации в RTI.

Оператор запускает эксперимент.

Управляющий федерат создаёт в RTI федерацию.

Управляющий федерат разрешает продвижение модельного времени.

RTI обеспечивает продвижение модельного времени и передаёт управление базовому федерату, все модели выполняют шаг моделирования.

RTI предоставляет управляющему федерату и оператору новое модельное время.

Шаги с 9 по 11 повторяются до команды оператора о завершении модельного эксперимента.

Управляющий федерат запрещает RTI дальнейшее продвижение модельного времени.

Управляющий федерат даёт команду о завершении модельного эксперимента агентам, они в свою очередь завершают работу базового федерата и выполняют деинициализацию моделей.

Управляющий федерат отображает оператору результаты модельного эксперимента.

С учётом неопределённости, заложенной в имитационные модели, эксперимент в общем случае запускается многократно для получения выборки результатов.

Предложенное решение предлагает визуальные редакторы документов объектных моделей (FOM и SOM) в отличие от многих других сред имитационного моделирования. Визуальный редактор повышает удобство и скорость работы, а также минимизирует возможные ошибки за счет использования специфичных для объектных моделей форм представления и ввода данных. Разработанная среда моделирования обеспечивает визуальную разработку схемы модельного эксперимента в три этапа: построение логической схемы, построение сетевой схемы и проверка корректности разработанной схемы.

Пример схемы моделирования и сигналов, передаваемых между федератами, приведён на рис. 2. В приведённом примере опущен процесс моделирования в части полёта ракеты и поражение цели, рассмотрены только полёт цели, её обнаружение и пуск ракеты. Описана одна федерация, в которую входят три федерата: моделирующий федерат радиолокационной станции С-400, моделирующий федерат пусковой установки С-400, моделирующий федерат F-22 Raptor. Получена следующая схема проведения эксперимента:

- F-22 Raptor предоставляет информацию о своей позиции (высота, широта, долгота).
 - RTI предоставляет позицию всех F-22 Raptor.
 - С-400 РЛС с заданной в модели вероятностью формирует список целей и предоставляет информацию по целям.
 - RTI предоставляет информацию по целям С-400 ПУ, в которой формируется список целей.
 - С-400 ПУ формирует команду на пуск.
 - Информация о пуске поступает федерату F-22 Raptor, который регистрирует угрозу.
- Среда имитационного моделирования позволяет обеспечивать взаимодействие моделей

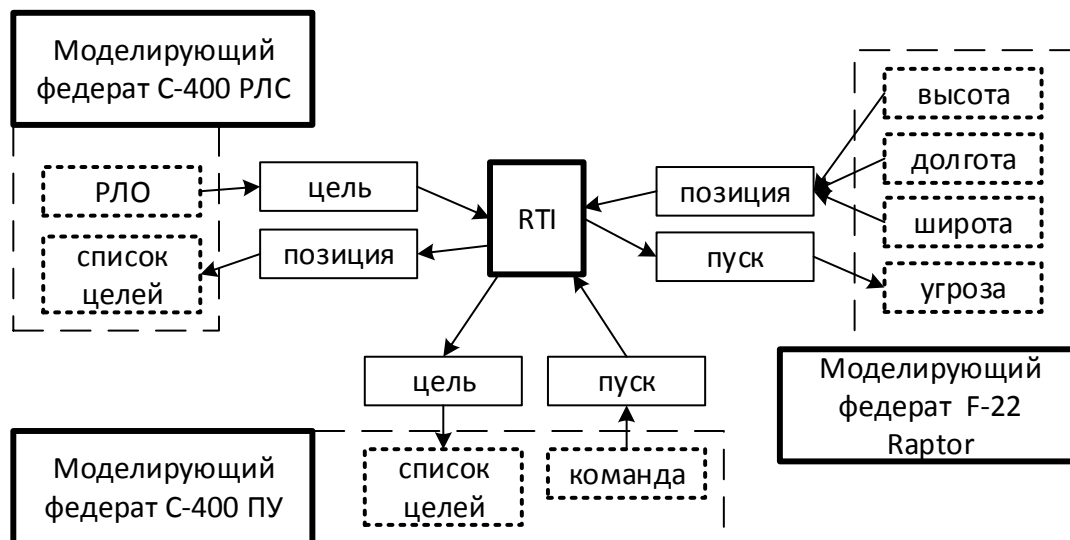


Рис.2. Пример схемы моделирования

между собой во время эксперимента, упрощает разработку новых и интеграцию существующих моделей и обеспечивает их повторное использование в других экспериментах.

Имитационное моделирование может использоваться для решения всех задач, в которых для каждого участника эксперимента описана не только его модель функционирования, но и модели взаимодействия с другими участниками. В зависимости от сложности имитируемых процессов ход времени модельного эксперимента может отличаться от реального времени. В частности, для представленного примера с учётом добавления федерата ракеты с учётом некоторого упрощения физических моделей моделирование может проводиться за время существенно меньшее, чем реальное применение изделий по назначению.

Современные среды имитационного моделирования активно развиваются в рамках военных институтов в том числе с целью имитации ведения боевых действий, моделируя единое виртуальное поле боя [7]. Практика показывает, что даже сутки сложного многопозиционного боя могут быть смоделированы за считанные десятки минут. Данные решения могут использоваться в том числе для проведения моделирования различных испытаний вооружения и военной техники, а также оборудования гражданского назначения. В частности, при проведении ремонта двигателя воздушного судна или замены части его элементов необходимо проводить большое количество испытаний и различных видов контроля [10, 11]. В частности, при производстве двигателей для Sukhoi Superjet 100 активно используются комплексы, моделирующие процессы, происходящие в двигателе. [12].

В зависимости от решаемой задачи при выполнении моделирования требуются разные способы представления информации: графики, диаграммы, блок-схемы и т.п. При моделировании действий на местности целесообразно визуализировать результаты с использованием геоинформационных систем. В связи с этим система должна поддерживать возможность использования различных средств визуализации и предлагать пользователю конструктор из набора стандартных инструментов наглядного представления данных.

Разработанная среда моделирования позволяет воспроизводить поведение исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между её элементами, фактически являясь симулятором исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов. Данное решение может использоваться, когда дорого или невозможно проводить эксперименты на реальном объекте, невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, следствие, нелинейности, стохастические переменные или необходимо сымитировать поведение системы во времени.

Литература

1. *Каблов Е.* Шестой технологический уклад. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/17800/> (дата обращения 05.10.2017).
2. *Прохоров И. А.* Начало 7-го технологического уклада. URL: <http://www.energoinform.org/pointofview/prohorov/7-tech-structure.aspx> (дата обращения 05.10.2017).
3. *Ракитин А.Н.* «Что день грядущий нам готовит...» (новые технологии разработки компонентов больших технических систем). Апрель 2017 г. URL: <https://cont.ws/@archan/599646> (дата обращения 05.10.2017).
4. *Суражнев С.* Технология HLA - High Level Architecture URL: <https://prezi.com/nym97nzuhhfn/hla-high-level-architecture/> (дата обращения 05.10.2017).
5. 1516-2010 - IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5553440/> (дата обращения 05.10.2017).
6. High-level architecture URL: https://en.wikipedia.org/wiki/High-level_architecture (дата обращения 05.10.2017).
7. *Лебедевка Е.* Облако в погонах: военные системы распределённого моделирования URL: <http://old.computerra.ru/vision/648544/> (дата обращения 05.10.2017).
8. Run-time infrastructure (simulation) URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_\(simulation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_(simulation)) (дата обращения 05.10.2017).
9. *Бродский Ю.И.* Лекции по математическому и имитационному моделированию. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. 240 с.
10. *Замятина Е.Б.* Современные теории имитационного моделирования: специальный курс URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/717/41717/18875> (дата обращения 05.10.2017).
11. Open HLA URL: <https://sourceforge.net/projects/ohla/> (дата обращения 05.10.2017).
12. *Созинов М.* Технологии ОАО «НПО РусБИТех» в области моделирования вооруженного противоборства URL: https://primesoftpro.ru/blog/informatsionnye/material_11/ (дата обращения 05.10.2017).
13. *Стешенко И.Г., Панов В.А.* Ремонт авиационных двигателей и его концепция в условиях современ-

ного производства на заводах-изготовителях и в центрах восстановления исправности двигателей // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011. №3(27). С.16-19.

14. Шибанов Г. П. Испытания авиационной техники URL: Проблемы безопасности полетов. <http://www.aviahumanfactor.ru/index.php?sid=1436> (дата обращения 05.10.2017).

15. Шартогашева А. Как собирают двигатели для Sukhoi Superjet 100 URL: <https://www.popmech.ru/technologies/364402-kak-sobirayut-dvigateli-dlya-sukhoi-supejet-100/> (дата обращения 05.10.2017).

THE EXPERIENCE OF CREATING A SIMULATION ENVIRONMENT

Sergei A. Beliaev,
St-Peterburg, Russia,
beliaev@nicetu.spb.ru

Valerii V. Matrosov,
St-Peterburg, Russia,
matrosov.valeriy@nicetu.spb.ru

ABSTRACT

Substantiate the relevance of simulation in modern terms, describe the task of building the simulation environment and key requirements based on international standard IEEE 1516-2010. The principles of construction and relevant standards of high level architecture are given. For confirm the relevance links to materials to describe tasks languages (ultra) high level are used. Formulated the concept of federate and Federation, are the basic rules of their functioning. Are the basic service that must be present in each implementation of the standard, a list of available implementations. The requirements of the implementation of the system simulation based on high level architecture. These requirements allows to state the wording of the standard in terms of being implemented through software. Described General scheme of interaction of the created system in two stages: first, preparation of a model experiment, and secondly, carrying out of model experiment. Considered the main cycle of operation. An example of a Federation of three federates: radar station s-400 launchers s-400, F-22 Raptor. The authors were limited to the period of time from the reception of the F-22 Raptor before the missile launch. This example describes the sequence of messages processed by the system during operation. Lists the tasks that can be solved with the use of the simulation environment as in the interests of military and civil customers. Given the prospects of its development, approaches for the visualization of the results taking into account the different tasks performed in the experiments. The conclusions about possible applications of simulation systems.

Keywords: simulation; automated system; high level architecture; S-400; IEEE 1516-2010.

References

1. Kablov E. *Shestoi tehnologicheskii uklad* [The sixth technological way]. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/17800/> (date of access 05.10.2017). (In Russian)
2. Prohorov I. A. *Nachalo 7-go tehnologicheskogo uklada* [The beginning of the 7th technological way]. URL: <http://www.energoinform.org/pointofview/prohorov/7-tech-structure.aspx> (date of access 05.10.2017). (In Russian)
3. Rakitin A.N. «*Chto den' griadushhij nam gotovit...*» (*novye tehnologii razrabotki komponentov bol'shih tehnicheskikh sistem*) [New technologies for the development of large technical systems]. URL: <https://cont.ws/@archan/599646> (date of access 05.10.2017). (In Russian)
4. Sirazhev S. *Tehnologija HLA - High Level Architecture* [Technology HLA - the high level architecture]. URL: <https://prezi.com/nym97nzuhfn/hla-high-level-architecture/> (date of access 05.10.2017). (In Russian)
5. *1516-2010 - IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules*. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5553440/> (date of access 05.10.2017).
6. *High-level architecture*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/High-level_architecture (date of access

05.10.2017).

7. Lebedenko E. *Oblako v pogonah: voennye sistemy raspredelionnogo modelirovanija* [Military cloud computing: the military system for distributed simulation]. URL: <http://old.computerra.ru/vision/648544/> (date of access 05.10.2017). (In Russian)

8. *Run-time infrastructure (simulation)*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_\(simulation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_(simulation)) (date of access 05.10.2017).

9. Brodskii U.I. *Lekcii po matematicheskomu i imitacionnomu modelirovaniju* [Lectures on mathematical and simulation modeling]. Moscow-Berlin: Direkt-Media, 2015. 240 p. (In Russian)

10. Zamiatina E.B. *Sovremennye teorii imitacionnogo modelirovanija: special'nyi kurs* [The modern theory of simulation: special course]. URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/717/41717/18875> (date of access 05.10.2017). (In Russian)

11. Open HLA URL: <https://sourceforge.net/projects/ohla/> (date of access 05.10.2017)

12. Sozinov M. *Tehnologii OAO «NPO RusBITeh» v oblasti modelirovanija voozuzhennogo protivoborstva* [The technology of JSC “Research Production Association Russian Basic Information Technology” in the modeling of an armed confrontation.]. URL: https://primesoftpro.ru/blog/informatsionnye/material_11/ (date of access 05.10.2017). (In Russian)

13. Steshenko I.G., Panov V.A. Remont aviacionnyh dvigatelei i ego koncepcija v uslovijah sovremenogo proizvodstva na zavodah-izgotoviteljah i v centrakh vosstanovlenija ispravnosti dvigatelei // *Vestnik of Samara State University*. 2011. Vol. 27. No. 3. Pp. 16-19. (In Russian)

14. Shibanov G P. *Ispytanija aviacionnoi tehniki. Problemy bezopasnosti poletov* [Testing aeronautical engineering. Problems of safety flying]. URL: <http://www.aviahumanfactor.ru/index.php?sid=1436> (date of access 05.10.2017). (In Russian)

15. Shartogasheva A. *Kak sobirajut dvigateli dlia Sukhoi Superjet 100* [How engines for the Sukhoi Superjet 100 are made]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/364402-kak-sobirayut-dvigateli-dlya-sukhoi-supejet-100/> (date of access 05.10.2017). (In Russian)

Information about authors:

Beliaev S.A., PhD, Docent, adviser of Deputy General Director to Development of Joint-stock company Research and Engineering Center of Saint-Petersburg Electro-Technical University,

Matrosov V.V., PhD, system architect of Joint-stock company Research and Engineering Center of Saint-Petersburg Electro-Technical University

For citation: Beliaev S.A., Matrosov V.V. The experience of creating a simulation environment. *I-methods*. 2018. Vol. 10. No. 3. Pp. 14–22. (In Russian)