

---

**ВИЗУАЛИЗАЦИОННО-ИНТЕГРИРУЮЩАЯ ПЛАТФОРМА «АЛЬКОР» ФГУП  
«РФЯЦ-ВНИИЭФ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО  
РАСПРЕДЕЛЁННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.**

**К.В.Задорожный, А.А.Анищенко, Е.Е.Санталова, П.В.Ермаков, К.В. Иванов,  
А.С.Санталов, И.В.Евтушенко, А.В.Голяков, А.И.Сайфуллин, И.А.Елисеев,  
С.С.Касаткин, А.А. Ильченко, В.Н.Дюпин, А.П.Ермаков,  
М.В.Вершинин, А.И.Малыгин  
(Саров)**

Визуализационно-интегрирующая платформа (ВИП) «АЛЬКОР» предназначена для создания на её основе систем распределённого имитационного моделирования поведения объектов и прохождения процессов для различных предметных областей. Она обеспечивает программное сопряжение компьютерных моделей, разработанных независимо разными организациями.

Платформа разрабатывалась ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» с 2013 года в рамках ряда проектов. Степень готовности платформы позволяет успешно использовать её для разработки программно-аппаратных имитационных комплексов, моделирующих сложные технические системы. Например, для моделирования вооружённого противоборства в космической, воздушной, наземной и морской сферах, моделирования транспортной, энергетической инфраструктуры, и т.д. В архитектуру платформы заложены максимально универсальные механизмы сопряжения, позволяющие разрабатывать новые и интегрировать/адаптировать ранее созданные имитационные моделирующие комплексы (ИМК).

Благодаря этим и другим преимуществам платформа обеспечивает **решение следующих задач:**

- объединение в единый моделирующий комплекс разнородных моделей, созданных независимо разными разработчиками, которые использовали разные языки программирования, разные среды разработки (и, возможно, не закладывали поддержки взаимодействия с другими моделями);
- моделирование поведения большого числа (десятков тысяч и более) объектов, что обеспечивается поддержкой параллельных вычислений на базе высокопроизводительной вычислительной техники;
- возможность исследования влияния изменений, касающихся отдельных объектов (изменения характеристик, логики поведения, логики взаимодействия) на поведение и эффективность системы в целом, что обеспечивается использованием мультиагентного подхода<sup>1</sup> к имитационному моделированию;
- разработка настраиваемых рабочих мест операторов, позволяющих проводить интерактивное моделирование в состязательной форме и отрабатывать оптимальные формы и способы взаимодействия, а также правила принятия решений в критических ситуациях;
- удобный препроцессинг, позволяющий пользователю в интерактивном режиме задавать и редактировать сценарии моделирования, программы поведения и

---

<sup>1</sup> Агентное моделирование (от англ. agent-based model) – метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов, поведение которых определяется на индивидуальном уровне, а глобальное поведение системы возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу-вверх»).

взаимодействия агентов (т.е. активных моделируемых объектов), запускать процесс моделирования и контролировать его;

- вмешательство оператора в процесс моделирования посредством (расширяемого) набора предусматриваемых моделирующей системой воздействий;
- отображение результатов моделирования в 2-х и 3-х мерных представлениях для обеспечения эффективного контроля и анализа полученных результатов, как в on-line режиме в процессе моделирования, так и после его окончания (постобработка).

С учётом вышесказанного, обозначим ряд основных функций платформы с точки зрения пользователя. Это:

- настройка рабочего места оператора на выполнение определенной роли в вычислительном эксперименте;
- конструирование типов моделируемых объектов,
- задание правил взаимодействия агентов в графическом редакторе;
- подготовка исходных данных для расчета; создание, сохранение, редактирование сценариев моделирования;
- решение комплекса информационно-расчётных задач (ИРЗ) в интересах подготовки исходных данных для моделирования и анализа результатов моделирования;
- развёртывание модельных задач на удалённых узлах ЭВМ с распределённой памятью;
- мониторинг аппаратной загрузки;
- предоставление единого хранилища данных для сценариев моделирования, тактико-технических характеристик (ТТХ) моделей, результатов моделирования, геоинформационных данных;
- поддержка единого геоинформационного пространства;
- гибкая настройка графических пользовательских интерфейсов компьютерных моделей (КМ);
- визуализация в ходе моделирования;
- обработка и подготовка к анализу результатов моделирования.

Для разработчика платформа предоставляет такие функции, как:

- создание и изменение программ поведения агентов, задание правил их взаимодействия;
- задание возможных воздействий со стороны оператора и реакции на них агентов;
- сопряжение разнородных моделей в единой среде моделирования;
- расширение, гибкая настройка и интеграция графических интерфейсов;
- поддержка для доступа и обработки гео- и картографических данных,
- и т.д.

#### **Особенности и преимущества:**

- кроссплатформенность (Windows XP/7/8, Astra Linux, Scientific Linux и т.д.);
- трёхуровневая схема параллельного счета (ABU<sup>2</sup>, MPI<sup>3</sup>, OpenMP<sup>4</sup>) [1-7];
- использование высокопроизводительных многопроцессорных супер-ЭВМ;

---

<sup>2</sup> Архитектура высокого уровня (от англ. High Level Architecture).

<sup>3</sup> От англ. Message Passing Interface – интерфейс передачи сообщений, программный интерфейс обмена сообщениями между процессами, выполняющими одну задачу.

<sup>4</sup> От англ. Open Multi-Processing – открытый стандарт программирования многопоточных приложений на многопроцессорных системах с общей памятью.

- многопользовательский режим работы, в том числе при подготовке единого сценария;
- высокая степень интеграции компьютерных моделей в платформу: на уровне графических интерфейсов, общего информационного пространства, единого геоинформационного обеспечения;
- возможность использования мультиагентного подхода к имитационному моделированию, с использованием следующих решений и технологий:
- библиотеки стандартных агентов, связанных с конкретной инфраструктурой,
- каждый агент обладает своим набором свойств и моделью поведения;
- возможность интерактивного вмешательства во время моделирования;
- возможность добавлять новых агентов, как непосредственно для моделирования, так и для координации поведения других агентов.
- иерархичность моделирования и представления агентов;
- 2D и 3D визуализация в едином информационном пространстве на геоинформационном фоне;
- модульность и масштабируемость.

### Состав и структура

Интегрирующую платформу можно представить, как объединение следующих основных функциональных блоков (Рисунок 1):

- ПреПостПроцессора;
- системы хранения данных (СХД);
- среды моделирования.

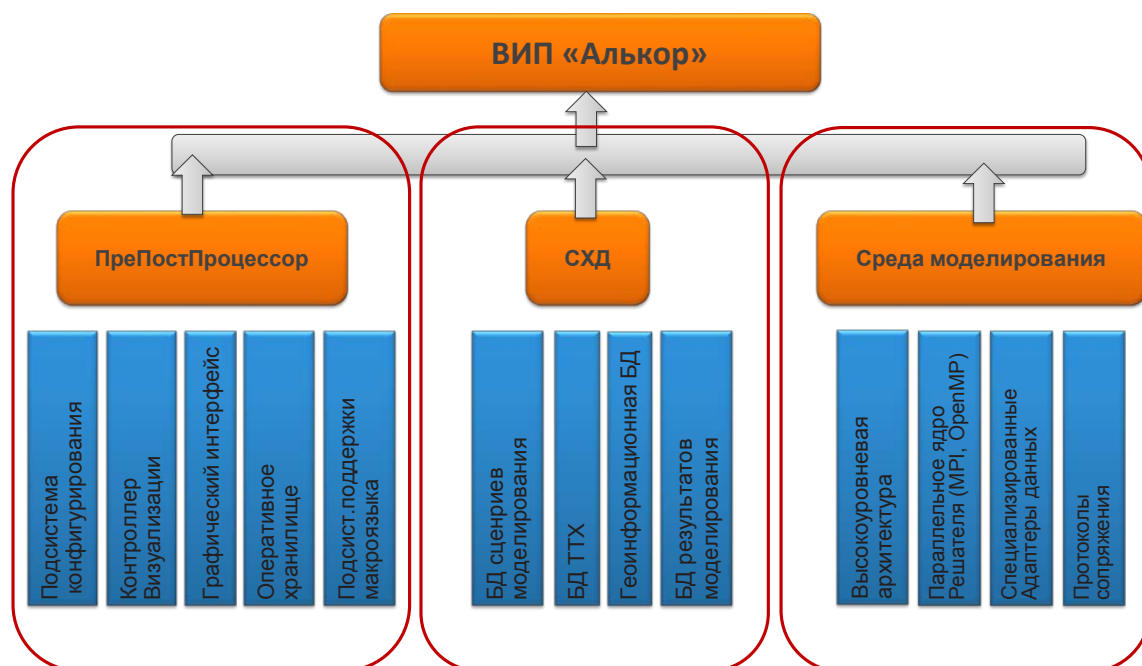


Рисунок 1. Структура и состав визуализационно-интегрирующей платформы «АЛЬКОР»

### ПреПостПроцессор

ПреПостПроцессор (ППП) — является единственным средством взаимодействия с пользователем. Внешний вид графического интерфейса пользователя ППП представлен ниже – Рисунок 2.

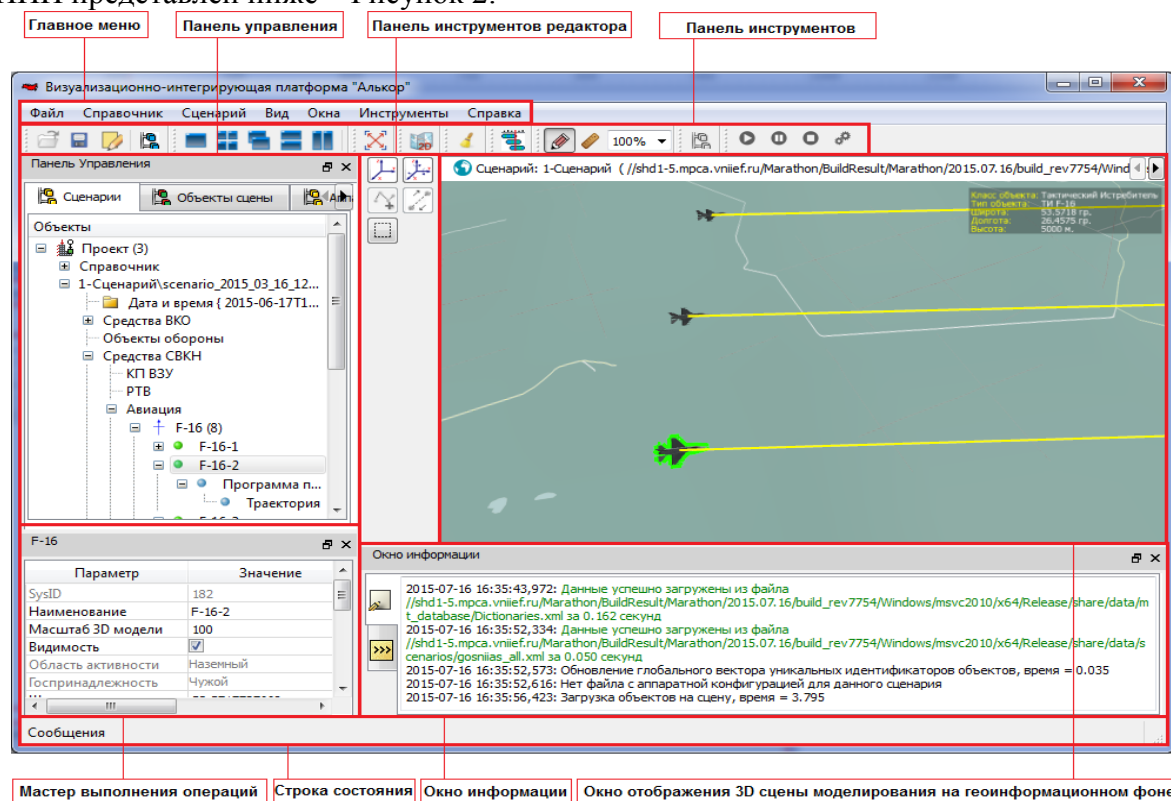


Рисунок 2 – Графический интерфейс пользователя ПреПостПроцессора

ППП включает в себя:

- средства ввода и вывода информации в/из имитационно-моделирующего комплекса (ИМК);
- средства подготовки исходных данных (ИД);
- средства управления процессом моделирования;
- средства мониторинга процесса моделирования и аппаратной части;
- средства геоинформационного обеспечения и визуализации;
- средства анализа результатов моделирования.

### Среда моделирования

Среда моделирования управляет и руководит порядком выполнения процесса моделирования (Рисунок 3).

В основе среды моделирования лежит архитектура высокого уровня (АВУ). Она обеспечивает оптимальный вариант реализации технологии распределённого имитационного моделирования в рамках решаемых платформой задач. В АВУ достаточно успешно решена задача минимизации затрат при совместном создании сложных моделирующих приложений разными разработчиками. В АВУ каждая КМ представляет собой отдельный программный модуль (федерат), подключаемый к программному интерфейсу АВУ. Федерат отвечает за моделирование определённой части (возможно, сколь угодно большой) предметной области. Совокупность федератов, использующихся для моделирования какой-либо предметной области,

соединённых при помощи ИВВ<sup>5</sup> и использующих единую объектную модель<sup>6</sup>, называется федерацией.

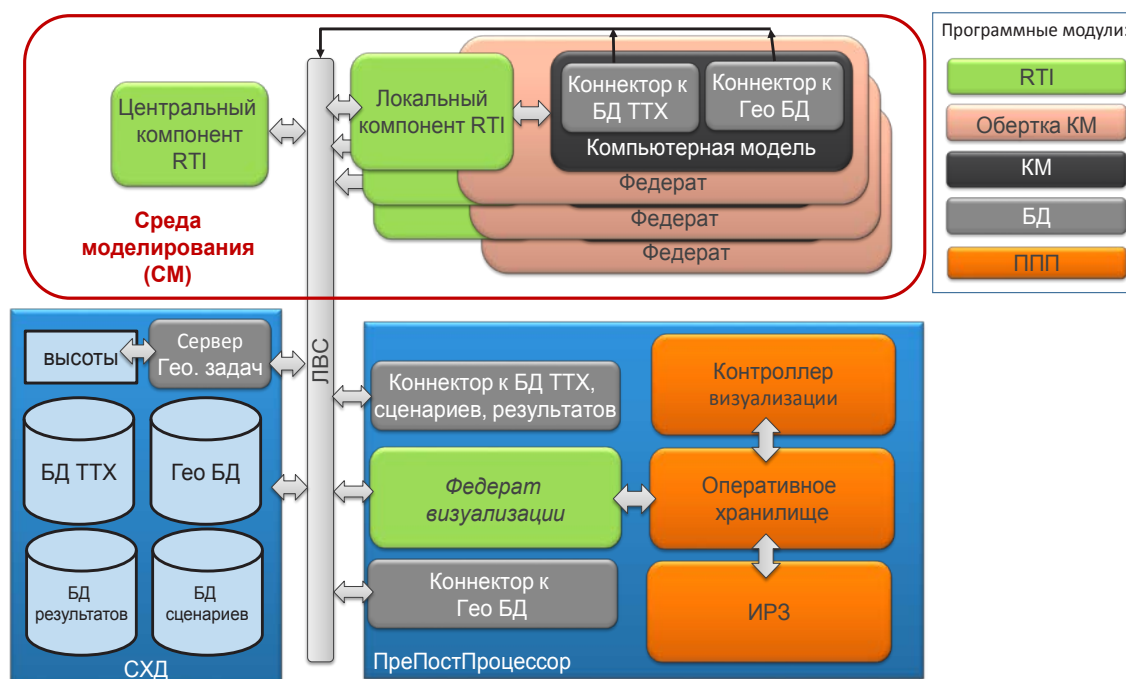


Рисунок 3 – Диаграмма взаимодействия среды моделирования с другими компонентами платформы «Алькор»

АВУ имеет множество различных программных реализаций. Программная реализация ИВВ состоит из центрального и локальных компонентов, работающих на разных компьютерах, которые объединены локальной вычислительной сетью (ЛВС).

### Типовой федерат

АВУ — универсальное средство с большим количеством возможностей. В следствие чего разработка моделей требует довольно обширных знаний, касающихся различных особенностей АВУ и понимания принципов работы его служб.

При разработке платформы «Алькор» одной из преследуемых целей было обеспечение максимально простого подключения компьютерных моделей. Для решения этой задачи на уровне среды моделирования был разработан типовой федерат (ТФ). ТФ абстрагирует и отделяет компьютерную модель от необходимости непосредственной работы с программным интерфейсом ИВВ. Таким образом, КМ занимается только расчётом новых состояний моделируемых объектов, а работа с программным интерфейсом ИВВ возложена на ряд специализированных адаптеров. Иерархия классов, в которых реализованы адаптеры, представлена ниже – Рисунок 4.

<sup>5</sup> Инфраструктура времени выполнения (от англ. Runtime Infrastructure) — программная реализация АВУ. Программный интерфейс ИВВ определён в АВУ.

<sup>6</sup> От англ. Object Model Template (OMT).

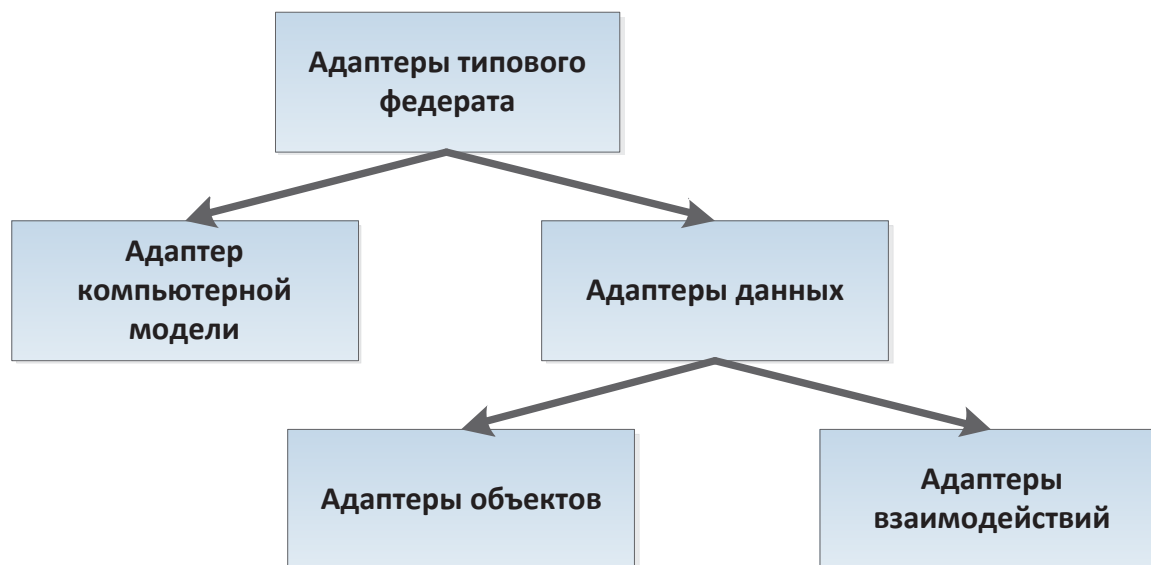


Рисунок 4 – Иерархия адаптеров типового федерата

Для подключения КМ к среде моделирования платформы «Алькор» достаточно лишь понимания ключевых особенностей АВУ (событийности и объектности), а работа с достаточно сложным и громоздким программным интерфейсом АВУ, касающаяся непосредственного взаимодействия с его конкретными службами, автоматизирована и скрыта от компьютерной модели с помощью специализированных адаптеров.<sup>7</sup>

Адаптеры делятся на:

- адаптеры компьютерных моделей;
- адаптеры данных:
  - адаптеры объектов,
  - адаптеры взаимодействий.

Адаптеры компьютерных моделей — абстрагируют конкретные компьютерные модели от специфики работы с программным интерфейсом ИВВ и абстрагируют федерат от знания специфики компьютерной модели. Адаптер обеспечивает универсальный и простой интерфейс работы федерата с моделью и наоборот.

Адаптеры данных — абстрагируют модель от знания деталей взаимодействия с программным интерфейсом ИВВ в части обмена данными. Существует два вида адаптеров данных, соответствующих двум способам обмена данными в АВУ:

- адаптер объекта — представляет экземпляр класса объектной модели и значения его атрибутов;
- адаптер взаимодействия — представляет взаимодействие объектной модели и значения его параметров.

Рассмотрим архитектурную диаграмму ТФ – Рисунок 5.

<sup>7</sup> Тем не менее оставлена возможность работать непосредственно с программным интерфейсом ИВВ из кода КМ.



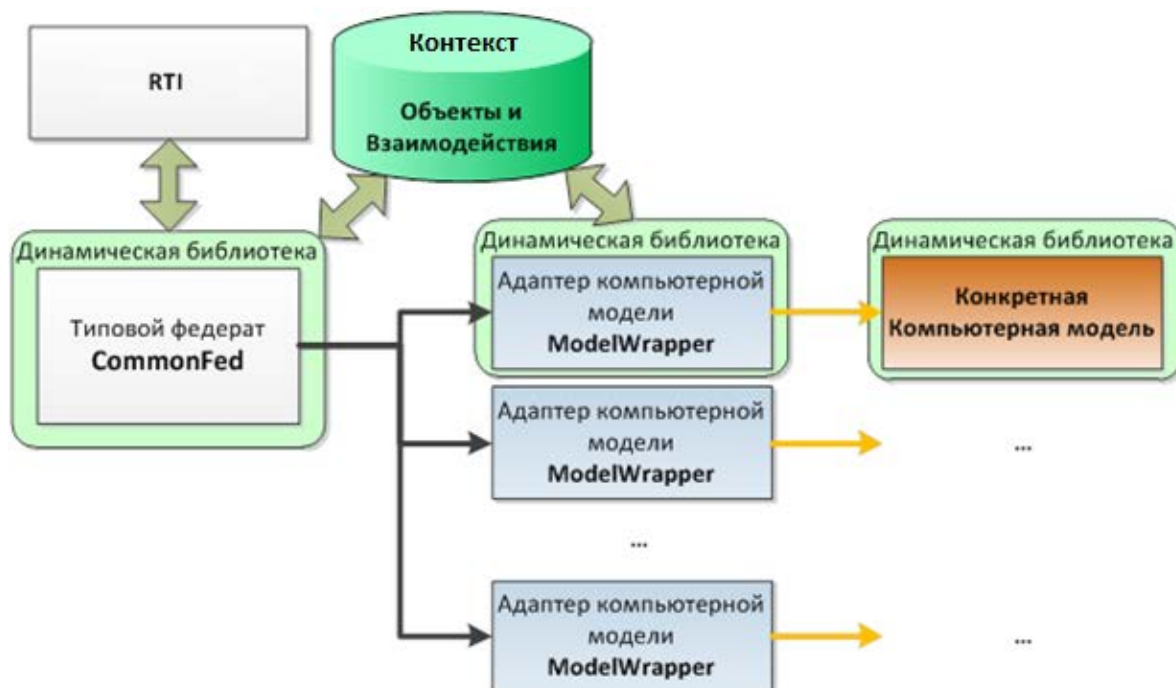


Рисунок 5 – Схема взаимодействия компьютерной модели, типового федерата и ИВВ

ТФ может управлять множеством адаптеров компьютерных моделей. Каждый адаптер компьютерной модели, в свою очередь, связан с одной конкретной компьютерной моделью. Типовой федерат обеспечивает обмен данными с ИВВ и синхронное создание соответствующих адаптеров данных (объектов и взаимодействий) в Контексте<sup>8</sup> федерата.

Таким образом, разработка и интеграция компьютерных моделей в визуализационно-интегрирующую платформу «Алькор» сводится к разработке конкретной компьютерной модели и соответствующего адаптера.

Рассмотрим точки подключения КМ к ТФ:

- Инициализация – адаптер КМ выполняет считывание сценария, описывающего задание на моделирование, и всех необходимых дополнительных данных. Данные также могут быть получены из системы хранения данных через соответствующие сетевые протоколы.
- Публикация и подписка – адаптер КМ уведомляет Контекст о своём намерении получать и отправлять обновления данных<sup>9</sup>.
- Регистрация экземпляров объектов – адаптер КМ регистрирует вводимые в моделируемое пространство объекты в Контексте<sup>9</sup>.
- Обновление значений – адаптер КМ фактически отправляет значения атрибутов и параметров нового состояния моделируемого объекта в Контекст<sup>9</sup>.

Необходимо отметить, что инициализация модели происходит ещё до фактического создания федерации, т.е. при инициализации самого федерата. Этапы публикации и подписки, а также регистрации экземпляров объектов выполняются

<sup>8</sup> Контекст — программный модуль, отвечающий за обмен данными с другими федератами и обеспечивающий актуальное локальное представление состояний всех моделируемых объектов.

<sup>9</sup> Передача и получение данных и других уведомлений в/из инфраструктуры времени выполнения выполняются Контекстом автоматически.

сразу после создания федерации, но до начала моделирования. Обновление значений выполняется в процессе моделирования.

### **Перспективы развития**

Программные решения, реализованные в визуализационно-интегрирующей платформе «Алькор», позволили соединять вместе, в том числе в едином моделируемом пространстве, разнородные имитационные модели, созданные независимо разными разработчиками, обеспечить высокую степень интеграции компьютерных моделей: на уровне графических интерфейсов, единого информационного и геоинформационного пространства. Обеспечить интерактивный многопользовательский режим редактирования сценариев моделирования, мультиагентный подход к моделированию, возможность создания настраиваемых рабочих мест операторов, возможность вмешательства оператора в процесс моделирования, поддержку параллельных вычислений, отображение результатов моделирования в 2-мерных и 3-мерных представлениях, единое хранилище данных — в том числе геоинформационное и картографическое обеспечение — трёхуровневую схему параллельного счета (ABU, MPI, OpenMP), кроссплатформенность (Windows XP/7/8, Astra Linux, Scientific Linux и т.д.), модульность и масштабируемость. Вышесказанное подтверждается успешным использованием платформы для разработки ИМК, моделирующих вооружённое противоборство, транспортную систему.

### **Литература**

1. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Framework and Rules. IEEE-SA Standards Board. Piscataway NJ 08855-1331 USA, 2000.
2. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Federate Interface Specification. IEEE-SA Standards Board. Piscataway NJ 08855-1331 USA, 2000.
3. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Object Model Template (OMT) Specification. IEEE-SA Standards Board. Piscataway NJ 08855-1331 USA, 2000.
4. MPI: A Message-Passing Interface Version 2.2. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, 2009.
5. MPI: A Message-Passing Interface Version 3.0. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, 2012.
6. OpenMP Application Program Interface Version 3.1. OpenMP Architecture Review Board, 2011.
7. OpenMP Application Program Interface Version 4.0. OpenMP Architecture Review Board, 2013.