

Визуально-интерактивная система имитационного моделирования технологических систем

С. В. Рудомётов¹
КТИ ВТ СО РАН

Описывается архитектура и возможности программной системы имитационного моделирования технологических систем MTSS. MTSS позволяет строить имитационные модели специалистам в предметной области, не владеющим методами имитационного моделирования. Это достигается специальной архитектурой имитационной модели. Имитационная модель строится путём визуального соединения блоков-моделей технологических объектов, входящих в состав моделируемой технологической системы. Эти блоки-модели являются имитационными моделями технологического оборудования. Возможности MTSS продемонстрированы на примере построения моделей нефтегазодобывающего предприятия.

Ключевые слова: имитационное моделирование, технологические системы.

1. Введение

Компьютерное имитационное моделирование (ИМ) является мощным и широко распространённым методом исследования сложных систем, используемым практически во всех отраслях науки и техники.

Использование ИМ заключается в разработке имитационных моделей исследуемых систем и проведении имитационных экспериментов с этими моделями. Для автоматизации этих процессов существуют многочисленные системы и пакеты ИМ. Но использование этих средств автоматизации ИМ требует от пользователя профессиональной подготовки в области ИМ.

В настоящее время возрастает потребность использования ИМ при проектировании, разработке, оптимизации технических систем и технологических процессов, информационных и управляющих систем в разных прикладных областях. Но отсутствие у потенциальных пользователей, являющихся специалистами в конкретных прикладных областях, профессиональной подготовки в области ИМ препятствует широкому использованию ИМ в этих областях.

Поэтому проблема разработки системы ИМ, ориентированной на использование широким кругом пользователей, являющихся специалистами в своих предметных областях, но не имеющих глубоких знаний в области ИМ и не имеющих опыта разработки имитационных моделей, является актуальной.

В статье представлено решение следующих задач:

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 10-08-01211-а) и Программы № 14 фундаментальных исследований Президиума РАН (проект № 127).

1. Исследование потребностей и определение требований к современной системе имитационного моделирования технологических систем (ИМТС).
2. Разработка архитектуры системы ИМТС.
3. Реализация системы ИМТС.
4. Разработка методологии быстрого построения имитационных моделей с использованием системы ИМТС.

2. Требования к системе ИМТС

2.1. Неформальные требования

Существующий подход к созданию имитационных моделей, когда модель создаёт специалист в области ИМ, а использует специалист в предметной области, может и должен быть изменен. Автором предложен подход к созданию современной системы ИМ, который позволяет специалисту в предметной области, не имея знаний об имитационном моделировании, визуально создавать и анализировать имитационные модели. Эти модели могут затем быть использованы их автором в повседневной деятельности, без необходимости какой-либо трактовки со стороны специалиста в имитационном моделировании.

Далее сформулированы неформальные требования к системе ИМ. Такая система должна позволять:

- создавать имитационные модели специалисту в предметной области, не являющемуся специалистом в имитационном моделировании;
- создавать имитационные модели сложных систем из моделей объектов, входящих в состав этих систем;
- скрывать аспекты ИМ от конечного пользователя, оставляя лишь возможность настройки параметров, относящихся к моделям объектов, понятных специалисту в предметной области;
- создавать имитационные модели быстро и предоставлять возможность пользователю сосредоточиться на самой проблеме, а не на способах создания имитационной модели;
- осуществлять визуальный контроль исполнения имитационной модели;
- осуществлять анализ статистических данных и представлять их в виде, ожидаемом пользователем имитационной модели.

2.2. Существующие системы ИМ

Существующие системы ИМ используют различные подходы к построению имитационных моделей.

ИМ является расширением математического аппарата для решения задач, которые не поддаются математическому описанию. Исходная задача с помощью различных упрощений и абстракций преобразуется к виду, который допускает её решение с помощью различных теорий (теория массового обслуживания, теория сетей Петри, дискретно-событийное моделирование, непрерывное моделирование и т.д.).

Большинство систем ИМ, создававшихся в течение последних 20 лет и более, как и сама теория имитационного моделирования, ориентированы как раз на решение именно «математических» задач. Возможности визуализации каких-либо процессов с помощью систем ИМ, или включение имитационных моделей в существующие управляющие системы, или создание разнообразных тренажёров всегда упоминается только в связке с основной задачей ИМ.

Стоит заметить также, что рынок программных систем ИМ является весьма замкнутым и устоявшимся. Существующие системы ИМ предназначены в основном для специалистов в ИМ.

Системы ИМ можно разделить на классы:

- языки и библиотеки ИМ;
- системы визуального создания имитационных моделей.

Такое деление является условным: как правило, для языков ИМ созданы системы графического программирования (например, GPSS/H [8] и GPSS World[16]). И наоборот, системы визуального создания имитационных моделей генерируют программы для языков программирования или языков программирования общего назначения [4].

Но самое главное – и у подходов к построению имитационных моделей, и у самих языков и систем ИМ, реализующих эти подходы, есть чёткая направленность: использовать их могут только специалисты, знакомые с понятиями ИМ (модельное время, декомпозиция исходной системы, валидация, верификация и т.д. [12]).

В течение последних 10 лет начали делаться попытки создания систем ИМ, которые могли бы использовать и специалисты в предметных областях (ProModel[18], WITNESS[15], последние версии AnyLogic [4], Arena [11] и т.д.). Но такие системы строятся на базе уже существующих систем ИМ. Усилия по скрытию методологии ИМ оказываются, с точки зрения автора, недостаточными: как правило, интерфейс системы ИМ остаётся без изменений, лишь расширяясь некоторым количеством моделей объектов в предметной области. Но самое главное – в таких системах ИМ по-прежнему предполагается упрощение и декомпозиция исходной системы, используемые в имитационном моделировании. Современная вычислительная техника, практически не ограниченная в размерах оперативной памяти и мощности процессоров, позволяет проводить имитационные эксперименты с использованием очень детальных имитационных моделей, имеющих к тому же очень детальное графическое представление.

Другим недостатком указанных систем ИМ является универсальность: попытка расширить класс решаемых задач приводит к усложнению интерфейсов и перегруженности понятийного механизма той или иной системы ИМ.

Специалистам в предметной области не нужно ничего из предлагаемого многообразия средств ИМ. Им нужен программный продукт, в котором представлены только элементы известной им технологической или иной системы, с тем чтобы незамедлительно начать строить имитационные модели известных им технологических систем, собирая их из этих элементов. Специалисты в предметной области не обязаны задаваться вопросами: является ли эта модель имитационной, когда и какие статистические данные будут собираться, как их затем интерпретировать, и так далее. Именно такие системы ИМ являются перспективными с точки зрения частоты и результативности их применения.

Для более детального примера рассмотрим систему AnyLogic, как типичный пример «классической» системы ИМ. Модели в этой системе создаются из большого класса элементов, включающих в себя как простые, так и сложные объекты для порождения, анализа и поглощения заданий или материальных потоков в различных областях человеческой деятельности [17]. Эти элементы объединены в библиотеки «Системная динамика», «Диаграмма состояний», «Статистика», «Презентация», «Внешние данные», «Картинки», «Enterprise library», «Pedestrian library». Также пользователь может создавать свои собственные элементы и библиотеки, задавая поведение элементов, например, с использованием диаграммы состояний UML [2]. Другие возможные способы задания поведения отдельных элементов: планирование действий с помощью событий, задание алгоритмов с помощью функций и диаграмм действий, использование расписаний и табличных функций.

При создании моделей пользователь – специалист в предметной области – может использовать весь доступный набор элементов, позволяющий строить имитационные модели с использованием абстракций сетей массового обслуживания, системной динамики, агентного

моделирования, дискретно-событийного моделирования. Ещё на этапе создания новой модели пользователь должен выбрать, будет ли его модель дискретно-событийной, агентной или будет создана с использованием системной динамики.

Предположим, что выбор типа модели завершён, была выбрана дискретно-событийная модель и пользователь хочет построить модель нефтегазодобывающего предприятия (НГДП). Но AnyLogic не содержит никаких предопределённых элементов, имитирующих какое-либо оборудование НГДП. Однако пользуясь руководством пользователя, можно создать любой такой элемент. И инструментарий для этого предоставляется самой средой AnyLogic. Есть только одно «но»: он не может быть использован специалистом в предметной области, так как он не знает, что такое системы массового обслуживания, модельное время, как организовать сбор статистики и т.д.

Предположим теперь, что был привлечён специалист в ИМ, который согласился построить необходимые элементы для моделирования НГДП в AnyLogic. Этот специалист построил необходимый набор элементов для моделирования НГДП, из которых специалист в предметной области пытается построить свою модель. Но тут, как правило, выясняется, что эти новые элементы, построенные на основе, например, понятий систем массового обслуживания, опять требуют наличия специалиста в ИМ для правильной трактовки полученного результата.

Таким образом, существующие «классические» системы ИМ не позволяют полностью исключить специалистов в ИМ из процесса создания и эксплуатации имитационных моделей.

2.3. Формальные требования к системе ИМТС

Формальные требования к системе ИМ будут сформулированы применительно к **технологическим системам** [3].

Современная система имитационного моделирования технологических систем (СИМТС) должна удовлетворять следующим требованиям:

- наличие визуально-интерактивного интерфейса для создания и исполнения моделей;
- использование графических средств для разработки и исполнения моделей;
- поддержка быстрой разработки моделей;
- ориентация на специалистов предметных областей;
- наличие готовых к использованию, библиотечных элементов для обеспечения быстрой сборки моделей;
- возможность разработки имитационных моделей пользователями, не являющимися специалистами в области ИМ;
- возможность организации взаимодействия моделей с внешними системами;
- возможность графической разработки модели в двумерном формате (2D) и визуализация исполнения модели как в формате 2D, так и в трёхмерном формате (3D);
- представление результатов моделирования в виде законченного анализа работы модели, не требующего дополнительной статистической и иной обработки.

3. Архитектура СИМТС

3.1. Понятие элементарной модели

Технологические системы (ТС) состоят из объектов технологического оборудования (ТО). Каждый объект технологического оборудования имеет свой тип (тип технологического

оборудования). Функционирование ТС заключается во введении в систему продуктов производства, их обработки, и последующего выведения из ТС [3].

Элементарной моделью (ЭМ) назовем имитационную модель какого-либо типа технологического оборудования. **Экземпляр элементарной модели** представляет в имитационной модели некоторый объект технологического оборудования в технологической системе ([12]).

Каждый объект технологического оборудования в ТС взаимодействует с некоторым множеством других объектов технологического оборудования в этой ТС. Это означает, что в СИМТС требуется создать аналог таких связей между экземплярами ЭМ. Эта связь может быть создана с использованием онтологии портов [13].

Онтология портов в своем изначальном виде описана как средство обеспечения связи между элементами имитационной модели, инкапсулирующими различные подходы к декомпозиции и абстракции исходной технологической системы. В дальнейшем элементы имитационной модели, написанной с использованием онтологии портов, можно соединять друг с другом, автоматизировав таким образом построение имитационных моделей.

СИМТС использует это свойство портов для обеспечения визуального связывания экземпляров ЭМ. Такая связь затем используется в алгоритме работы ЭМ для взаимодействия различных экземпляров одной или разных ЭМ.

Важным свойством ЭМ является её графическое представление. С помощью графического представления ЭМ может быть идентифицирована в имитационной модели, а также можно отслеживать изменение состояния ЭМ в процессе работы имитационной модели.

Единицы технологического оборудования в исходной ТС могут иметь как встроенную логику своей работы, так и управляться с помощью некоторых управляющих программ. Поэтому в СИМТС требуется иметь возможность создавать модели этих управляющих программ. В силу своей специфики, модели управляющих программ составляют отдельный, **управляющий уровень** в иерархии объектов СИМТС.

3.2. Архитектура СИМТС

Архитектура СИМТС представлена на рис. 1 (рисунок использует нотацию UML[2]).

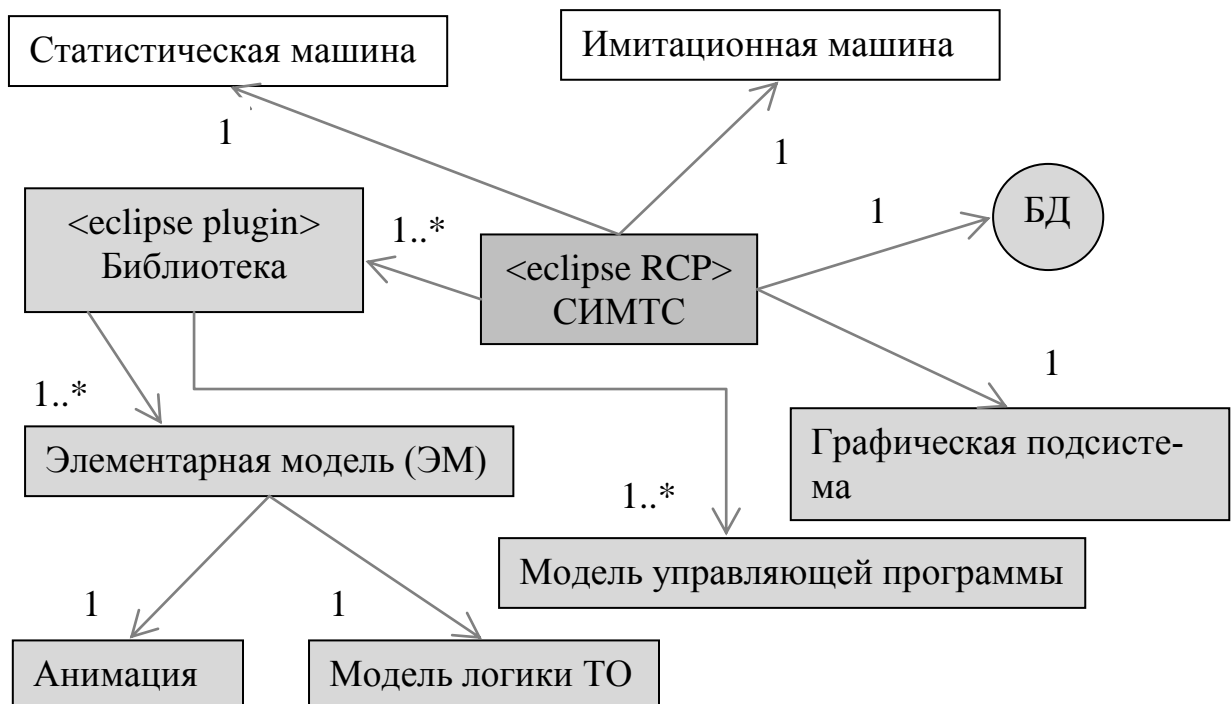


Рис. 1. Архитектура СИМТС

Архитектура СИМТС содержит следующие основные компоненты:

1. **Имитационная машина.** Этот компонент предназначен в СИМТС для инкапсуляции аспектов ИМ. Могут использоваться различные подходы к созданию такой машины – классическое или распределённое ИМ и т.д. Все используемые инструменты и понятия ИМ должны быть сосредоточены именно в данной компоненте.
2. **Графическая подсистема.** Этот компонент предназначен для графического представления имитационной модели. Графическая подсистема используется как на этапе создания имитационной модели, так и на этапе исполнения имитационной модели. Графическое отображение происходит в режиме двумерной анимации (2D). Трёхмерная (3D) анимация может также использоваться. 3D анимация не является основной и применяется, в основном, для целей презентации.
3. **Статистическая машина.** Этот компонент предназначен для сбора и анализа статистических данных в процессе исполнения имитационной модели. Результирующие данные должны быть представлены в виде, понятном специалистам в предметной области, и не требовать дальнейшей обработки.
4. **БД (база данных).** Этот компонент является одним из способов обеспечения связи с внешними системами. В нём взаимодействие модели с внешними системами осуществляется путём обмена данными. Связь с внешними системами может использоваться для связи СИМТС с реальными программами управления, позволяя интегрировать СИМТС в реальные управляющие системы. И наоборот, модели управляющих программ могут передавать управляющие воздействия из СИМТС в реальные технологические системы, позволяя использовать модель как управляющую программу. И наконец, данные из реальной системы могут поступать в имитационную модель и отображаться с использованием графической части имитационной модели – в этом случае СИМТС используется как средство отображения процессов в реальной технологической системе.
5. **Библиотека.** Библиотека является способом объединения нескольких элементарных моделей и моделей программ управления, относящихся к некоторой предметной области. Программный продукт СИМТС строится как совокупность нескольких библиотек элементарных моделей.
6. **Элементарная модель и модель программы управления.** Эти компоненты являются реализациями ЭМ и моделей управляющих программ ТС в СИМТС.
7. **Анимация и Модель логики ТО.** Это основные части каждой ЭМ. Анимационная часть используется для отображения состояния ЭМ в процессе работы имитационной модели и при визуальном создании имитационной модели. Модель логики ТО является другой составляющей ЭМ и предназначена для моделирования поведения типа ТО, имитируемого данной ЭМ.

Для создания СИМТС может использоваться платформа Eclipse [10] и язык программирования Java[9].

4. Система MTSS

Система MTSS (Manufacturing and Transportation Simulation System)([5, 7]) реализована на основе изложенных выше требований и предложенной архитектуры.

Возможности системы MTSS заключаются в быстром создании имитационной модели специалистами в предметных областях, не знакомых с ИМ (пункты 4.1, 4.2). Система MTSS определяет структуру элементарных моделей, следовать которой обязаны разработчики элементарных моделей (пункты 4.3, 4.4). Система MTSS может подключаться к внешним системам с тем, чтобы имитационные модели имели возможность оперировать данными реальных систем или, в свою очередь, генерировать данные для реальных систем (пункт 4.5).

Подход, используемый системой MTSS, заставляет разрабатывать достаточно подробные и сложные элементарные модели. Это обстоятельство, в совокупности с возможностью обеспечения связи с внешними системами, возможно, позволит использовать MTSS как полноценную систему автоматизированного управления.

Важным элементом MTSS является реализация имитационной машины. Она выполнена как модификация системы Mega [6, 14]. Согласно архитектуре СИМТС, имитационная машина является модулем, и поэтому одной из возможностей среды MTSS как реализации архитектуры СИМТС является возможность использования различных реализаций имитационной машины.

4.1. Интерфейс системы MTSS

Возможности быстрого построения имитационных моделей определяются интерфейсом пользователя системы.

Интерфейс пользователя системы MTSS представлен на рис. 2.

Область «создание, редактирование и исполнение модели» – создание, редактирование и исполнение модели. Эта область главного окна называется окном редактирования PlayYard. PlayYard в MTSS есть «площадка», на которой размещаются экземпляры элементарных моделей.

Область «настройки модели» – редактирование параметров экземпляров элементарных моделей или параметров самой модели. Здесь можно изменять параметры экземпляра ЭМ, выбранного в области PlayYard, или, если экземпляр ЭМ не выбран, – изменять свойства самой модели.

Область «навигация» – быстрая навигация по модели. В отличие от окна редактирования PlayYard, которое представляет лишь часть модели в виде, максимально удобном для оперирования, область 3 содержит полное, но уменьшенное изображение всей модели. Область быстрой навигации позволяет переходить к любой части окна PlayYard в процессе редактирования и исполнения модели.

Область «статистические данные» – вывод основных статистических данных и справочной информации.

Область «меню» – меню приложения. В частности, эта область содержит списки элементарных моделей для упрощения процесса их выбора и добавления экземпляров ЭМ в модель.

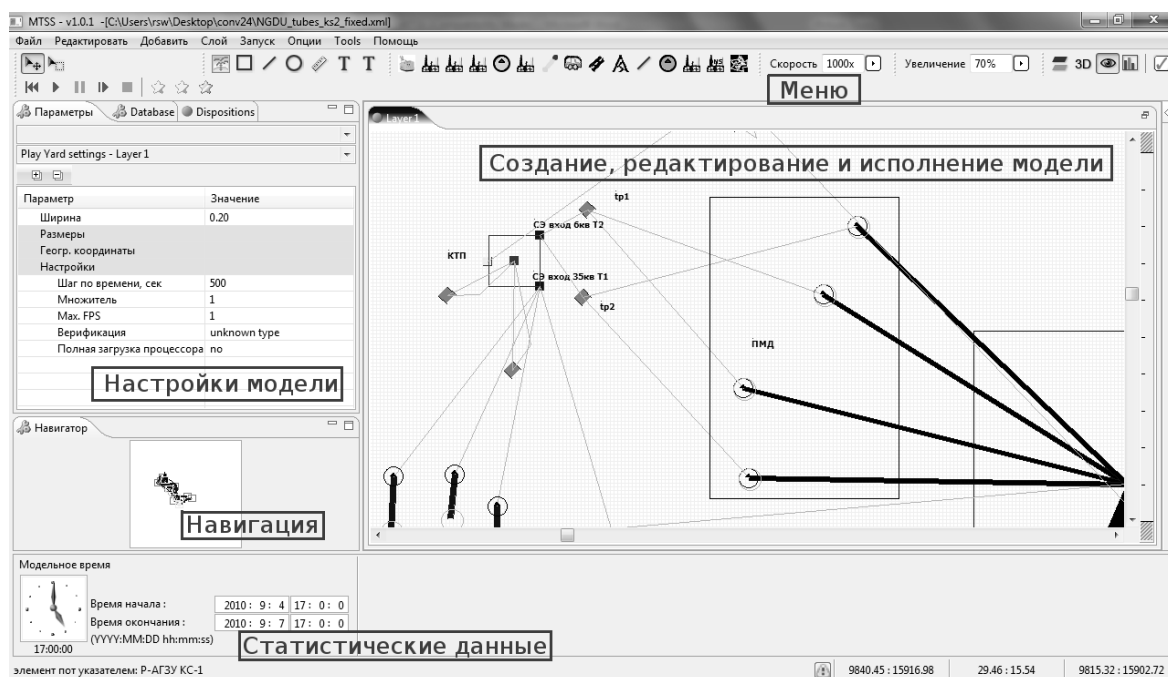


Рис. 2. Главное окно системы MTSS

На рис. 2 представлено главное окно системы MTSS, являющееся интерфейсом пользователя MTSS для создания имитационных моделей. В области PlayYard на этом рисунке представлен фрагмент имитационной модели НГДП (см. пункт 5).

4.2. Возможности по созданию и использованию имитационной модели

Имитационная модель собирается из готовых ЭМ путём их визуального соединения. Таким образом, процесс создания модели ускоряется, делается очевидным для пользователей, не знакомых с ИМ. Для соединения ЭМ используется онтология портов, описанная в [13].

Порты в MTSS имеют графическое представление и физические координаты. Таким образом, пользователь имеет возможность визуально контролировать различные точки соединения ЭМ, визуально определяя корректность построения имитационной модели.

Порты в MTSS могут соединяться между собой путём визуального наложения друг на друга. При этом происходит коррекция местоположения экземпляров ЭМ, что приводит к более точному построению имитационных моделей.

При визуальном соединении портов информация о присоединённых портах сохраняется и может быть использована в работе имитационной модели для организации взаимодействия между различными экземплярами ЭМ.

Область PlayYard является масштабируемой, фиксированного размера. Для перемещения по PlayYard используется область навигации. Подобным образом можно строить как модели ТС, размещаемых, например, в каком-либо здании, так и ТС, размещаемых на больших территориях. Для удобства моделирования система MTSS поддерживает задание географических координат верхнего левого угла области PlayYard.

Время начала имитационного прогона и время окончания имитационного прогона задается в формате год, месяц, день, часы, минуты, секунды, миллисекунды. Подобный способ задания имитационного интервала подходит для большинства задач ИМ технологических процессов.

В процессе имитационного прогона модель может быть остановлена до времени окончания имитационного прогона, также модель может быть приостановлена с возможностью в дальнейшем продолжить её исполнение с прежней скоростью. Такое управление даёт возможность специалисту, проводящему имитацию, очень точно влиять на исполнение модели, организовывать точное взаимодействие с имитационной моделью без необходимости «быстрой» реакции на происходящее в имитационной модели. С помощью пошагового исполнения возможно проводить очень точный анализ поведения имитационной модели в очень малых интервалах времени.

С помощью задания временного шага можно менять точность и скорость имитационного прогона. Временной шаг задается в миллисекундах и определяет, как часто исполняются процессы ЭМ. В частности, это означает, что возможно менять точность визуального представления имитационного моделирования с помощью задания более мелкого временного шага. И наоборот, если известно, например, что требуемая точность имитационного моделирования достигается на более крупном временном шаге, чем используемый по умолчанию, то можно использовать этот шаг, чтобы не тратить время на заведомо непродуктивную работу имитационной модели.

Анимация в MTSS является асинхронной. Скорость заботы анимации регулируется параметром частоты смены кадров. Возможно полностью отключить анимацию в процессе имитационного прогона. Это позволяет имитационной модели не зависеть от скорости работы графической машины. Если, например, анимация является слишком ресурсоёмкой, то она может быть замедлена без необходимости замедлять весь имитационный прогон. В крайнем случае анимация может быть вообще отключена, что может обеспечить дополнительные мощности для работы имитационной модели. Включение и выключение анимации возможно

в процессе имитационного прогона, задание частоты смены кадров возможно до начала имитационного прогона.

Скорость работы имитационной машины может регулироваться в широких пределах в процессе имитационного прогона. Скорость имитационных вычислений может быть установлена равной любому значению, включая режим реального времени, ускорение в 1000 раз по отношению к реальному времени, и замедления в произвольное количество раз по отношению к реальному времени. Такая функциональность является необходимой в системе, основным средством которой является визуальный контроль.

Сбор статистики и её представление происходят в течение имитационного прогона и не требуют добавочных вычислений. Уже в процессе имитационного прогона специалист в предметной области получает информацию как о собираемых параметрах (скорость, потребление энергии, грузопоток), так и о вычисляемых параметрах (прогнозируемое энергопотребление за промежуток времени, производительность системы и т.д.). Уже на основе этих значений пользователь может принять решение о достаточности имитационного эксперимента и, например, прекратить его досрочно. В системе присутствуют и обычные средства представления статистических данных: собираемые данные могут быть представлены в виде графиков, а также экспортированы.

Контроль за исполнением имитационной модели проводится, в основном, визуально. Этому способствует наличие большого количества средств навигации по модели и управления скоростью и точностью имитационного эксперимента.

Специалист в предметной области не оперирует никакими инструментами и управляющими элементами, использующими термины ИМ (за исключением модельного времени). В отличие от существующих систем ИМ, в MTSS полностью отсутствуют элементы, ведущие к понятиям ИМ (очереди, генераторы случайных чисел и т.д.).

Используя MTSS, специалист в предметной области быстро собирает модель из готовых экземпляров ЭМ, быстро проводит необходимые эксперименты, и так же быстро получает интересующие его результаты. Ему не нужно вовлекать в свои исследования никаких других, сторонних специалистов и не нужно изучать дополнительную литературу или документацию. Всё, что ему нужно, но и не более того, предоставляется системой ИМ. В этом и состоит отличие системы MTSS от других систем ИМ, в том числе и лидеров рынка, таких как AnyLogic [4] и Arena [11].

4.3. Создание библиотек элементарных моделей

Система MTSS позволяет объединять ЭМ в библиотеки и собирать программные продукты ИМ как сочетание различных библиотек элементарных моделей.

Элементарные модели создаёт специалист в имитационном моделировании. В своей работе он должен использовать стандартную схему создания имитационной модели [12]. Отличие состоит в том, что создается не имитационная модель всей технологической системы, а имитационная модель отдельного типа технологического оборудования.

Конкретный набор элементарных моделей в реализации зависит от имитируемой технологической системы и от задач ИМ.

Нужно иметь в виду, что точный вид имитационной модели, которую может построить пользователь, равно как и точный набор имитационных экспериментов, не известен на этапе создания ЭМ (в силу специфики возможностей MTSS по созданию моделей неспециалистами в области ИМ). Поэтому создателям ЭМ приходится реализовывать заведомо более подробные алгоритмы в модели логики ЭМ, чем это может потребоваться. Это обстоятельство может серьёзно осложнить создание ЭМ. Как правило, требуется детальное исследование исходных ТО, ТС и предметной области, и очень детальная реализация различных аспектов модели, изначально не требуемых в постановке задачи. С другой стороны, такая детализация

расширяет исходную задачу, позволяя широко использовать полученные ЭМ специалистам в предметных областях.

В системе MTSS умышленно отсутствуют какие-либо сложные графические инструменты реализации логики ЭМ. Это обусловлено тем, что реализация логики ЭМ является сложной. А значит, преимущества графического построения алгоритмов будут теряться, приводя к необходимости написания программного кода. По различным оценкам, при реализации сложных имитационных моделей требуется написать до 80 % кода, не прибегая к помощи различных графических инструментов, даже при наличии таковых в системе имитационного моделирования.

4.4. Команды ЭМ

В процессе разработки и эксплуатации MTSS был выработан подход к реализации логики ЭМ, позволяющий упростить и формализовать создание логической части ЭМ. Логическая часть ЭМ должна быть представлена в виде набора **состояний ЭМ**, переход между которыми задается **командами ЭМ**.

Состояние ЭМ – это именованный набор действий, совершаемых ЭМ над подмножеством в множестве переменных ЭМ. Состояние ЭМ – это абстракция, которая позволяет обозначить текущую активность ЭМ, для того чтобы в дальнейшем оперировать ею. В MTSS считается, что в каждый момент времени каждый экземпляр ЭМ в модели находится только в одном состоянии.

Команда ЭМ – это описание правил перехода из одного состояния ЭМ в другое. Команда содержит условие своего запуска, начальное состояние и алгоритм перехода между состояниями ЭМ.

Инициатором команды для выбранной ЭМ может служить сама ЭМ, пользователь, другая ЭМ в модели или модель программ управления. Каждая новая команда ставится в очередь команд, существующую в MTSS в каждом экземпляре каждой ЭМ.

Каждая команда в очереди команд анализируется MTSS на возможность исполнения. Возможность исполнения определяется внутри самой команды, методом команды, который анализирует текущее состояние экземпляра ЭМ и возвращает значение *истина*, если такое состояние позволяет начать выполнение команды.

Если имеется готовая к исполнению команда, она делается активной, и экземпляр ЭМ переводится в состояние, обозначенное как начальное для этой команды. Далее выполняется метод-обработчик этого состояния ЭМ.

При достижении граничного состояния, экземпляр ЭМ уведомляет MTSS о необходимости переключения в следующее состояние. Для определения следующего состояния MTSS опрашивает текущую команду, которая и должна перевести ЭМ в новое состояние.

4.5. Связь имитационной модели с внешними системами

В систему MTSS встроен интерфейс с системами баз данных с целью получения простого и универсального механизма связи с любыми внешними системами.

Однако такой универсальности может быть недостаточно, и поэтому разработчикам библиотек элементарных моделей в системе MTSS оставлена возможность реализовать произвольные способы связи с внешними системами. Единственное ограничение: такая связь должна создаваться как отдельная модель управляющих программ. Ограничения на использование протоколов связи, методов передачи информации и так далее – отсутствуют. Это может быть как связь по протоколу TCP/IP, так и любые другие виды связи, например, аппаратно-зависимые, такие как интерфейсные карты специальных контроллеров.

5. Применение MTSS

На сегодняшний день система MTSS применяется для создания библиотек элементарных моделей в различных предметных областях и построения имитационных моделей с использованием этих библиотек. Одной из последних работ является использование системы MTSS для создания имитационных моделей оборудования и технологических процессов нефтегазодобывающего предприятия (НГДП). Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 02.514.11.4126 «Разработка интеллектуальной системы пространственно-технологического мониторинга на базе глобального спутникового позиционирования с целью повышения энергоэффективности и экологической безопасности существующих методов добычи углеводородов» в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 годы». Целью этой работы было создание экспериментального образца системы оперативного мониторинга технологической инфраструктуры (ЭО СОМТИ) нефтегазодобывающего предприятия.

ЭО СОМТИ является системой поддержки принятия решений для задач оптимизации энергопотребления и повышения экологической безопасности НГДП. Задачей СОМТИ является оперативный и ретроспективный анализ технологической информации, поступающей от нескольких разнотипных автоматизированных систем управления технологических процессов или напрямую от технологических объектов НГДП, с целью выявления различных трендов изменения значений ключевых параметров, а также предупреждения развития аварийных ситуаций.

Ввиду отсутствия или недоступности полного набора реальных входных данных о работе большого количества реальных технологических объектов НГДП принято решение использовать имитационную модель технологического процесса добычи и транспортировки нефти для генерации входных данных для разработки, отладки и тестирования ЭО СОМТИ.

Применение системы имитационного моделирования MTSS позволило в сжатые сроки создать библиотеку ЭМ для моделирования технологических процессов нефтедобывающего предприятия. Созданная на основе этой библиотеки модель НГДП, работающая в среде MTSS, существенным образом ускорила разработку ЭО СОМТИ, позволила провести не только отладку ЭО СОМТИ, но и тестирование её на устойчивость.

Основные результаты выполненной работы:

- разработана библиотека элементарных моделей технологических объектов инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия;
- разработана типовая модель инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия;
- на основе типовой модели разработана имитационная модель для отладки и проведения испытаний ЭО СОМТИ нефтегазодобывающего предприятия, включающая подмодели: кусты скважин, нефтеналивной транспорт, транспортная, электрическая, трубопроводная подсистемы нефтегазодобывающего предприятия;
- реализована возможность быстрого создания имитационной модели с использованием базы данных технологических объектов ЭО СОМТИ;
- имитационная модель успешно использована для комплексной отладки и экспериментальных исследований ЭО СОМТИ.

6. Заключение

В статье представлена система ИМ технологических процессов MTSS, использующая для построения имитационных моделей модификацию стандартной процедуры создания

имитационной модели. Предложен подход, в котором имитационные модели могут создаваться специалистами в предметной области. Аспекты ИМ скрываются от конечного пользователя. Создание имитационных моделей осуществляется из библиотечных элементарных моделей, в свою очередь созданных специалистами в области ИМ.

Результатами описанной работы являются:

1. Исследованы потребности и определены требования к современной системе ИМ технологических процессов и технических систем.
2. Разработана архитектура и проект системы ИМ технологических процессов и технических систем.
3. Описаны возможности системы ИМ MTSS.
4. Представлена имитационная модель технологической инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия, построенная с использованием системы MTSS и библиотеки элементарных моделей НГДП. Эта модель успешно использована при разработке ЭО СОМТИ [1].

Литература

1. Андриюшкевич С.К., Журавлёв С.С., Золотухин С.П., Окольнішников В.В., Рудометов С.В. Разработка системы мониторинга с использованием имитационного моделирования // Проблемы информатики, 2010. № 4. – С. 65 – 75.
2. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя = The Unified Modeling Language user guide. – М., СПб.: ДМК Пресс, Питер, 2004.
3. ГОСТ 27.004-85. – 12.02, 2011. – http://www.i-mash.ru/normatdok/gosty/g_4_30/2194-gost_2700485.html.
4. Карпов Ю.Г. ИМ систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
5. Окольнішников В.В., Рудометов С.В. Использование среды имитационного моделирования TSS для решения задач управления технологическими процессами предприятий горнодобывающей промышленности // Труды ИВМ и МГ СО РАН, Серия Информатика: Материалы Пятой азиатской международной школы семинара «Проблемы оптимизации сложных систем». Новосибирск, 2009. Вып. 9. – С. 253 – 257.
6. Рудометов С.В. Система распределенного имитационного моделирования для МВС-1000/М // Труды Международной научно-методической конференции «Классический университет в российском образовательном пространстве» (к 90-летию Пермского государственного университета). Пермь, 2006. – С. 82 – 84.
7. Рудометов С.В., Окольнішников В.В. Возможности среды имитационного моделирования TSS // Труды ИВМ и МГ СО РАН, Серия Информатика: Материалы Пятой азиатской международной школы семинара «Проблемы оптимизации сложных систем». Новосибирск, 2009. Т. 9. – С. 111 – 116.
8. Шрайбер Т.Д. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
9. Flanagan D. Java in a Nutshell: O'Reilly, 2005.
10. Gamma E., Beck K. Contributing to Eclipse: Principles, patterns, and Plug-Ins: Addison-Wesley Professional, 2003.
11. Kelton D.W., Sadowski R.P., Sweets N.B. Simulation with Arena, 5th Edition McGraw-Hill, 2010.
12. Law A.M. Simulation Modeling and Analysis (Fourth Edition): McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2006. – 846 p.
13. Liang V.-C., Paredis C.J.J. A port ontology for automated model composition // Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. – P. 613 – 622.
14. Rudometov S.V., Okolnishnikov V.V. Development of Distributed Simulation System // Proc. of the Seventh International Conference «Parallel Computing Technologies (PaCT-2003)». Nizhni Novgorod, Russia, 2003. – P. 524 – 527.
15. WITNESS simulation. – 12.02, 2011. – <http://www.lanner.com/>.

16. GPSS World. – 03.03, 2011. – <http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm>.
17. Справочная документация AnyLogic. – 02.05, 2011. – <http://www.xjtek.ru/anylogic/help/index.jsp>.
18. Harrell C.G., Biman K.; Bowden, Royce O. Simulation using ProModel.: McGraw Hill, 2004. – 730 p.

*Статья поступила в редакцию 03.03.2011;
переработанный вариант — 09.06.2011*

Рудомётов Сергей Валерьевич

н.с. Конструкторско-Технологического института вычислительной техники (КТИ ВТ)
e-mail: sergersw@gmail.com, тел. 89139855581

Visual and Interactive Computer Simulation System of Technological Processes

S. Rudometov

This article describes the architecture and capabilities of system for computer simulation of technical processes, called MTSS. This system allows to build simulation models for technicians themselves, having no experience in simulation technique. This is achieved by special architecture of simulation model. Simulation model in MTSS is built by visual connection of blocks. The blocks are simulation models of technological objects belonging to the technological system simulated. These blocks are created by specialists in computer simulation.

Keywords: computer simulation, technological systems.