

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый вниманию читателей очередной тематический выпуск по имитационному моделированию (ИМ) отличается разнообразием постановок и широтой промышленного применения результатов.

Часть статей посвящена собственно разработке средств ИМ. С.А. Власов и др. описывают развитые инструменты моделирования в среде GPSS World – расширенный текстовый редактор и графический редактор схем, улучшенные пользовательские интерфейсы и средства отладки моделей. В статье Ю.А. Зака анализируется специфика систем ИМ для мелко- и среднесерийного производства; предлагаются решения, обеспечивающие оперативное планирование выпуска продукции и трудовых ресурсов, выборочный контроль на различных стадиях производственного процесса и др. функции.

Статья Т.Б. Чистяковой и др. касается использования ИМ как непосредственного элемента интегрированной системы управления на примере производства полимерных пленок.

Другие работы посвящены применению ИМ в разнообразных инжиниринговых целях. А.В. Сухарев и др. прибегают к ИМ для

выбора структуры реакторной системы, обеспечивающей необходимую гибкость многопродуктового производства. А.О. Глебов и др. с помощью ИМ выбирают метод, обеспечивающий наибольшую точность расчета сложного температурного поля рабочих поверхностей нагревательных плит прессов. Л.А. Денисова и В.А. Мещеряков анализируют границы устойчивости разрабатываемой системы автоматического регулирования. Оригинальный пример ИМ дает работа А.Н. Варнавского и Н.В. Чекан, в которой в различных условиях исследуется вероятность столкновения автомобиля и пешехода и оценивается снижение указанной вероятности при использовании в автомобиле анализатора окружающей среды.

Завершает раздел краткая заметка, посвященная применению средств имитационного моделирования V&R Automation Studio Target for Simulink® для решения задач энергетического машиностроения.

Редакция благодарит авторов номера и надеется на дальнейшее сотрудничество со всеми потенциальными авторами, включая тех, чьи работы в этом году не успели пройти рецензирование.

Редакция выражает благодарность за помощь в подготовке номера Виктору Михайловичу Дозорцеву – д-ру техн. наук, профессору, члену редакционной коллегии журнала "Автоматизация в промышленности".

ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPSS WORLD – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

С.А. Власов (Президиум РАН),

В.В. Девятков, Ф.В. Исаев, М.В. Федотов (ООО «Элина-Компьютер»)

Рассмотрены вопросы совершенствования и применения в различных задачах технологических и программных средств одной из наиболее мощных и популярных систем имитационного моделирования GPSS World. Описывается расширенный редактор GPSS, который обеспечивает пользователю современный технологический уровень и новые возможности проведения имитационных исследований в промышленности и других отраслях.

Ключевые слова: имитационное моделирование, средства взаимодействия с пользователем, визуализация, распределенные вычисления, облачные технологии.

Введение

Все программные компоненты одной из наиболее популярных систем моделирования – общецелевой системы имитационного моделирования GPSS World [1, 2], можно разбить на две большие функциональные группы.

1) Программы взаимодействия пользователя с системой в процессе имитационного исследования. В GPSS World эти программы автоматизируют только часть исследования – создание текста модели, отладки текста модели и проведения с ней экспериментов. Будем далее называть программы этой группы – «Средства взаимодействия».

2) Программы, реализующие непосредственно процесс исполнения модели. Это синтаксический анализатор, интерпретатор модели, часы моделирования, управле-

ние списками событий и др. Будем далее называть программы этой группы – «Моделирующее ядро».

В данной статье не затрагиваются вопросы совершенствования непосредственно моделирующего ядра системы GPSS World, так как существующие функциональные возможности языка достаточно высоки. Их вполне хватает для построения имитационных моделей дискретно-событийного типа, которые в основном рассматриваются авторами. А вот технология диалогового взаимодействия пользователя с системой GPSS World требует существенного совершенствования. Поэтому основное внимание уделяется анализу существующей технологии возможностей и описанию новых подходов, алгоритмов и программ, созданных авторами для расширения возможностей исследователей.

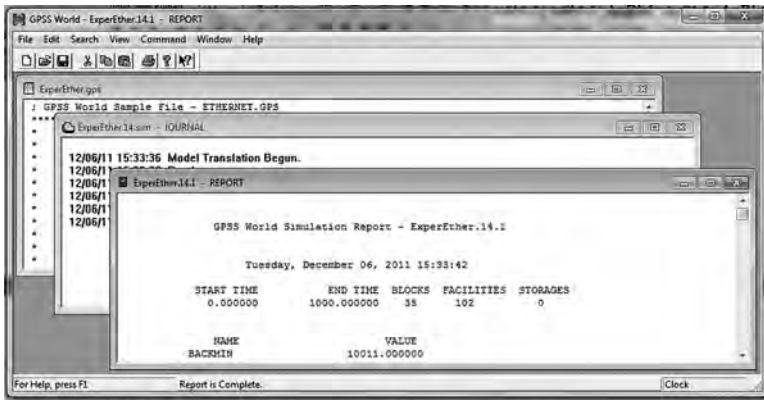


Рис. 1. Окна группы программ «Средства взаимодействия» в GPSS World

Недостатки программ группы «Средства взаимодействия» в системе GPSS World

Основными средствами взаимодействия пользователя при работе с системой GPSS World являются: текстовый редактор, справочная система, срочные команды, системный журнал, средства трассировки и совокупность диалоговых окон для анализа результатов моделирования (рис. 1). Все это дополняется стандартными средствами ОС Windows по работе с файлами и окнами.

Интерфейсам программ этой группы свойственен минимализм. На момент своего создания они были достаточно универсальны, функциональны и удобны в использовании. Система GPSS World имеет неплохие инструменты отладки, трассировки и отслеживания состояния объектов моделирования. Прекрасно зарекомендовал себя и универсальный отчет по результатам моделирования (Simulation Report).

Однако в соответствии с современными реалиями средства создания и редактирования текста моделей, технология взаимодействия пользователя с программой оставляют желать лучшего. Они существенно ограничены, например, разработка текста модели, анализ динамики хода эксперимента, графическая визуализация и т. д.

Например, отсутствуют многие, уже ставшие стандартными для современных информационных технологий, возможности по управлению моделями и экспериментами. Отсутствует иерархическое и графическое представление модели, нет логически упорядоченных структур данных для организации имитационных исследований, документирование результатов исследования

ограничено и т. д. Другие языки и системы имитационного моделирования (например, Extend, Arena, Simio, AnyLogic) имеют существенно более развитые средства создания, отладки и исполнения моделей. Большинство перечисленных систем имеют средства графического описания модели, анимации результатов моделирования.

Кроме того, хотелось бы автоматизировать гораздо большее число этапов имитационного исследования, а не только этапы разработки модели и проведения с ней экспериментов, как это возможно сейчас.

Новый подход к разработке интерфейсов взаимодействия пользователя с GPSS World

Классическая схема имитационного исследования сформулирована достаточно давно. Наиболее удачно она сформулирована в трудах Нейлора [3] и Шеннона [4]. На рис. 2 приведен упрощенный вариант этой схемы.

Раньше в системах имитационного моделирования, в том числе и в GPSS World, осуществлялись лишь этапы разработки модели и проведение с ней экспериментов. Другие этапы исследования выполнялись либо вручную, либо с использованием других программных систем.

Постепенно разработчики средств моделирования начинают включать в состав своих систем средства для реализации дополнительных этапов: обработки статистики, планирования серий экспериментов, поиска оптимальных значений целевых показателей. Некоторые разработчики создают новые программы, а некоторые используют уже существующее ПО других разработчиков, например OptQuest (www.opttek.com) для целенаправленного поиска оптимального решения. Но, к сожалению, ни в одной из существующих систем имитационное исследование не рассматривается комплексно.

Авторами была поставлена цель — создать интегрированную программную систему, которая охватывала бы как можно большее число этапов исследования [5, 6]. При этом необходимо, чтобы использовались самые передовые информационные технологии — современные средства визуализации, распределенные вычисления, графика и пр.

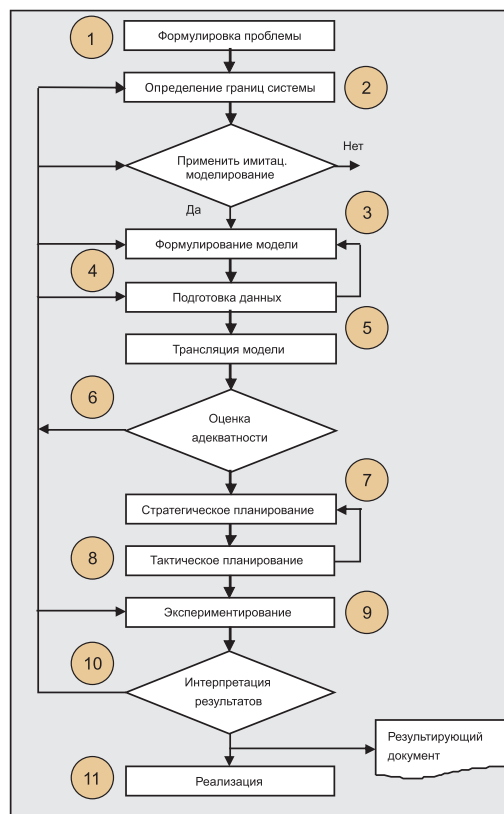


Рис. 2. Классическая схема имитационного исследования

В дальнейшем планируется существенно обновить и дополнить используемые теоретические подходы и методы для выполнения различных этапов исследования: статистической обработки данных, оценки адекватности и точности модели, планирования экспериментов и оптимизации.

Также в планах авторов вывести в ближайшие годы распределенные вычисления при проведении имитационных исследований на уровень современных облачных технологий программы, обеспечивающие средства взаимодействия, вынести на мобильные вычислительные устройства (например, планшеты), а сложные вычисления – на серверы, MainFrame, компьютеры и супер ЭВМ.

Новые возможности для исследователя

Одним из первых шагов, сделанных нами, является создание расширенного редактора имитационных моделей. Он рассчитан как на профессиональных разработчиков имитационных моделей на языке GPSS World, так и на начинающих пользователей.

Используя расширенный редактор, исследователь сможет:

1) управлять моделями, экспериментами и результатами исследований в библиотеке в соответствии со структурой, которая ему привычна и удобна;

2) сконструировать модель, с помощью графического редактора схем, используя библиотеку типовых элементарных блоков, и поручить программе сборку модели;

3) создать в новом текстовом редакторе модель или ее фрагменты для новых типовых элементарных блоков. Редактор поддерживает: автовыравнивание, подсветку синтаксиса, контекстную подсказку, обнаружение ошибок в операторах, группировку и множество других средств, упрощающих ввод данных;

4) автоматизировать создание разнообразных диалоговых форм ввода исходных данных в модель и интерактивных форм анализа результатов моделирования. Это позволит превратить любую модель в полноценное и, самое главное, простое Windows-приложение. С этим приложением сможет дальше работать пользователь – не профессионал в области имитационного моделирования. Приложение не будет зависеть от среды разработки модели, и будет работать на любом ПК при соблюдении минимальных системных требований;

5) выполнить одиночный эксперимент с моделью, сформировать и провести серию экспериментов и, взяв за основу результаты серии, найти оптимальное значение целевых показателей; показать выполнение любого эксперимента в динамике, в том числе и в анимированном графическом виде;

6) осуществить всесторонний интерактивный анализ результатов экспериментов и серий экспериментов, сохранить полученные результаты;

Вузеть и делать новое – очень большое удовольствие.

Вольтер

7) автоматически сформировать, дополнить вручную и распечатать документ в формате Microsoft Word, который будет включать все этапы исследования: описание, структуру и текст модели, данные и результаты экспериментов и серий экспериментов, замечания и рекомендации;

8) обеспечить удаленную (сетевую) работу с моделирующим ядром. Система GPSS World может быть установлена на одном из компьютеров сети, и с ней может работать произвольное число пользователей, установивших на своих компьютерах расширенный редактор и настроивших связь с моделирующим ядром.

Необходимо отметить, что новые возможности никоим образом не изменяют спецификации языка. Тексты моделей GPSS World, написанные ранее, будут полностью совместимы с новым редактором. Важно, что расширенный редактор позволяет использовать и средства стандартного GPSS World.

Текстовый редактор

Рассмотрим работу разработанного текстового редактора более подробно. Для хранения и быстрого доступа к моделям используется библиотека моделей. Она представляет собой иерархическое дерево, в котором можно определять категории для хранения файлов текущих проектов, архивные или временные категории, а также модели, текстовые файлы, файлы схем, формы ввода/вывода, исполняемые файлы оформленных моделей. С точки зрения ОС, библиотека представляет собой набор папок и файлов, поэтому в нее без труда можно добавить текущие модели. На рис. 4 показан пример работы с текстом модели.

Все модели и связанные с ней файлы будут открываться во вкладках, что позволит быстро переключаться между ними. Вкладки можно перемещать относительно друг друга для группировки.

Программа автоматически выравнивает операторы, аргументы и комментарии по условным линиям. Третья строка модели (рис. 4) подчеркнута красной

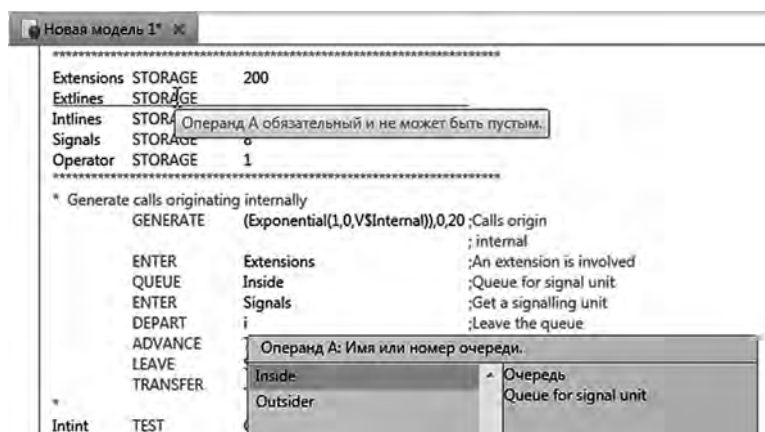


Рис. 4. Вкладка работы с моделью

линией. Так программа сообщает, что в данном операторе обнаружена ошибка. Если навести на эту строку указатель мыши, то высветится подсказка с информацией об ошибках. Чуть ниже на рис. 4 показана контекстная подсказка. Она возникает при вводе оператора или операнда и отображает список подходящих по контексту объектов (наименований блоков, операторов, памятей, устройств, ячеек и т. п.) и либо стандартное описание, либо описание, присвоенное им в модели с помощью комментариев. В редакторе команды, блоки, операнды, строки и комментарии выделяются различными цветами, что повышает наглядность кода.

Текстовый редактор содержит средства автоматизации ввода и поиска, такие как:

- быстрый ввод операторов и блоков (по контекстным подсказкам);
- оперативное формирование функций пользователя (по таблице или графику);
- подключение внешнего файла генерацией оператора INCLUDE и связи с файловой системой;
- различные переходы к блоку по метке в операнде, по номеру строки, по ошибке из журнала;
- отмена и возврат выполненных действий и т. п.

Графический редактор схем модели

В крупных проектах не всегда удается с самого начала определиться со структурой и объектами модели, сложно правильно сконструировать все переходы в модели, в том числе и циклы моделирования. Такие проекты целесообразно разрабатывать, разделяя модель на логически независимые части и устанавливая между ними связи посредством интерфейсов. Для этих целей создан графический редактор схем. Основой схемы является типовой элементарный блок (ТЭБ). Данный элемент является, по сути, черным ящиком для остальных элементов схемы. Он обладает интерфейсом, то есть набором входов/выходов, с помощью которых он взаимодействует с другими элементами. ТЭБы бывают двух типов.

1. Первый тип является минимальной неделимой частью схемы. Помимо входов/выходов он содержит код модели на языке GPSS World, которая задает его поведение. Входы/выходы такого ТЭБа являются, по сути, метками операторов модели, а значения ячеек и матриц определяют его состояние.

2. Второй тип является уровнем декомпозиции, то есть содержит набор взаимосвязанных ТЭБов, но не имеет собственной GPSS модели. Входы/выходы играют лишь роль передаточных механизмов. Уровней декомпозиции и соответствующих ТЭБов в схеме модели может быть неограниченное число.

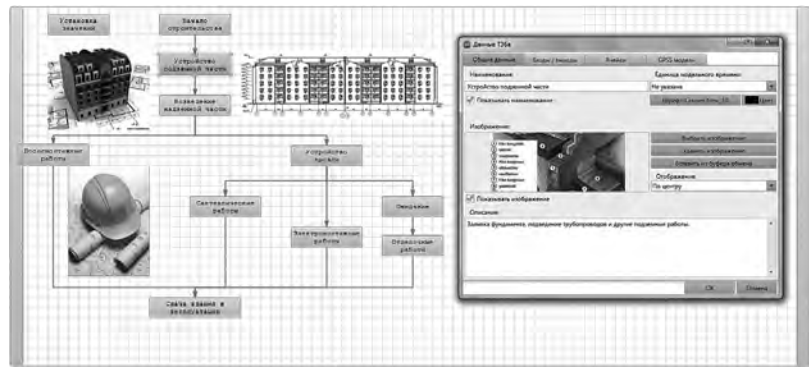


Рис. 5. Пример оформления схемы модели

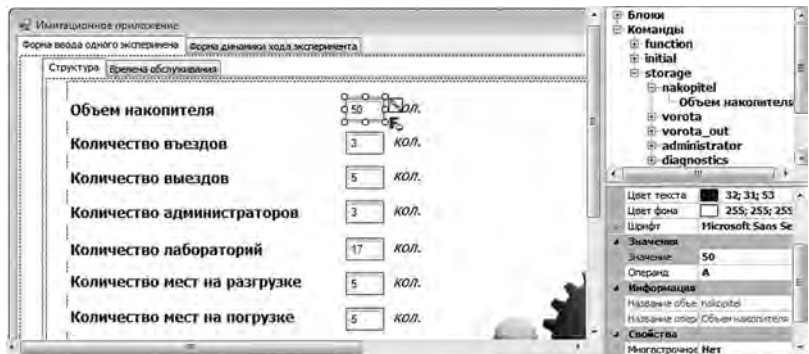


Рис. 6. Построение формы ввода эксперимента

Пример схемы представлен на рис. 5, где синими прямоугольниками показаны элементарные блоки, а серыми – уровни декомпозиции.

Учитывая, что входы/выходы элементарных блоков – метки операторов, связи ТЭБов можно представить как безусловные переходы между операторами. Пользователю не нужно заботиться о написании операторов перехода, программа сформирует их самостоятельно. Также не нужно заботиться о совпадении имен различных ТЭБов. Программа при необходимости скорректирует имена для предотвращения конфликтов.

Если модель разрабатывается «снизу вверх», необходимо сначала определиться с элементами, а только потом переходить к более высоким уровням (схеме). При разработке «сверху вниз» сначала строятся все уровни декомпозиции, а потом низшие уровни наполняются ТЭБами. Для хранения различных элементарных блоков в редакторе предусмотрена библиотека. Можно создать новый элемент в библиотеке или импортировать его из любой созданной ранее схемы. ТЭБы в этой библиотеке можно группировать с помощью категорий. Создав экземпляр элемента из библиотеки ТЭБов, пользователь получит полностью автономный объект, никак не связанный с библиотекой. Другими словами, изменение ТЭБа в библиотеке не отразится на его экземплярах.

Для наглядности оформления схемы на ТЭБе можно поместить картинку или текст. Такие же, но уже автономные элементы оформления доступны и для самой схемы. Пример оформления схемы, из которой впоследствии автоматически соберется GPSS модель, приведен на рис. 5.

Дополнительные средства подготовки, исполнения и отладки моделей

Одной из подсистем расширенного редактора является универсальный редактор форм, который может использоваться и автономно. С его помощью можно создавать специальные формы (диалоги ввода исходных данных в модель и вывода результатов моделирования). Данные формы строятся с помощью разнообразных графических элементов (надписей, вкладок, изображений и т.д.) и диалоговых секций, соответствующих операндам блоков. На рис. 6 показано построение формы ввода данных. Справа сверху находится дерево блоков и команд, обнаруженных в модели.

Кроме того, можно создать исполняемый модуль на основе построенных форм и с его помощью провести имитационное исследование, причем наличие расширенного редактора уже необязательно. Для исполнения созданного приложения требуются только созданный EXE модуль и система GPSS World. Такой вариант представления модели очень удобен, например, при сдаче и оформлении учебной работы (лабораторной, курсовой, диплома) или передаче исполнителем практической модели заказчику.

Для выполнения прогона модели в расширенном редакторе имеются специальные средства. Дополнительная панель, называемая очередью моделирования, отображает выполняемые модели. После трансляции модели можно выполнить дополнительные команды, как и в стандартном редакторе GPSS World, а также анализировать динамические окна для различных объектов модели.

В расширенном редакторе GPSS World имеются дополнительные инструменты отладки модели. Пример работы программы в режиме отладки показан на рис. 7. В процессе отладки можно отследить изменения тех или иных ячеек, матриц или параметров, чтобы найти ошибку или отклонение в работе модели. При трассировке оператор, в который войдет транзакт, подсвечивается желтым цветом. Кроме того, пользователю доступны значения всех ячеек и параметров транзактов, которые были сформированы к текущему моменту.

Пользователь может ограничить область трассировки, то есть выбрать необходимую ему последовательность операторов модели и рассматривать переме-

ние транзактов только внутри этой области. Кроме того, имеется возможность поиска определенного транзакта в модели по номеру или значению его параметра и отслеживания только его передвижения в модели.

Серьезным достоинством расширенного редактора является возможность сетевого использования моделирующего ядра — организации коллективной работы с одной или несколькими лицензиями GPSS World, что необходимо, например, при проведении лабораторных работ в учебном процессе или организации многопользовательской работы

Планирование и проведение экспериментов

Важнейшими функциональными средствами расширенного редактора являются средства планирования и проведения серии экспериментов с моделью. В редакторе форм предусмотрены различные методы планирования экспериментов — одиночный эксперимент, ручное построение плана, автоматический полный перебор всех вариантов с заданным шагом. В последующих реализациях будут добавляться новые, более современные методы планирования экспериментов. Пользователь при создании форм ввода/вывода может обозначить какие исходные данные модели будут являться варьируемыми в экспериментах факторами, а какие стандартными числовыми атрибутами (СЧА) или их комбинации будут показателями (откликами). При вызове подсистемы планирования все факторы и показатели из подготовленных форм будут автоматически внесены в соответствующие таблицы, а пользователю нужно будет лишь выбрать метод планирования и задать границы изменения факторов. После этого подсистема автоматически построит план. На рис. 8 показан пример подготовки пользователем плана серии экспериментов.

Анализ результатов моделирования

Расширенный редактор предоставляет исследователю принципиально новые средства анализа и интерпретации результатов. Можно выделить четыре основные группы результатов моделирования:

- графические анимационные формы, созданные исследователем. Они представляют динамику изменения показателей модели и могут быть просмотрены как в ходе эксперимента, так и по его окончании в виде анимационного ролика;
- динамические результаты имитационного эксперимента в табличной и графической форме. Позволяют просмотреть характер изменения значений любых СЧА модели за весь период проведения эксперимента;
- полностью русифицированный стандартный GPSS отчет в табличном виде. Имеется возможность анализа отчета в оригинальном виде;
- результаты серии экспериментов в графическом виде.



Рис. 7. Отладка (трассировка) модели

Кроме того, пользователь может анализировать динамические диалоговые окна, предоставляемые самой системой GPSS World. После эксперимента также всегда доступны текст модели, план экспериментов и другие исходные данные. Примеры вывода результатов моделирования в расширенном редакторе показаны на рис. 9.

Документирование результатов исследования

Важнейшим нововведением расширенного редактора является возможность автоматизированного документирования результатов исследования, причем не только текущего сеанса, а всего цикла работ с данной моделью. Это возможно благодаря опции сохранения результатов всех экспериментов по желанию пользователя. В конце исследования пользователь может перенести в формат MS Word необходимые результаты: описания модели, ее текст и структуру, исходные данные для экспериментов, динамику изменения показателей в отдельных экспериментах, фрагменты анимационных роликов, графики серий экспериментов и т.д. Кроме этого, он может, уже в среде MS Word, дополнить все это своими аналитическими выкладками о ходе исследования, его результатах и сформулировать рекомендации заказчику исследования.

Закключение

Таким образом, расширенный редактор имитационных моделей — это принципиально новый программный инструмент для профессиональных разработчиков GPSS World моделей, позволяющий более эффективно решать задачи проектирования и отладки имитационных моделей. Функционально он охватывает большинство этапов имитационного исследования — постановку задачи, создание и написание моделей, их отладку, планирование и проведение экспериментов, анализ результатов и документирование результатов исследования. В планах авторов дальнейшее развитие и совершенствование редактора.

Власов Станислав Александрович — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, начальник отдела — заместитель академика-секретаря отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН,

Девятков Владимир Васильевич — канд. техн. наук, директор,

Федотов Максим Валерьевич и **Исаев Федор Владимирович** — инженеры ООО «Элина-Компьютер».

Контактный телефон (843) 273-78-04.

E-mail: savlas@yandex.ru Vladimir@elina-computer.ru

Метод построения плана экспериментов
Автоматическое построение плана с использованием ш: [иконка]

Название	Псевдоним	Операнд	Значение по умолчанию	Шаг	Нижнее значение	Верхнее значение	Участвует в эксперименте
Количество поездов ...	marshrut	Операнд А	14	2	10	14	<input checked="" type="checkbox"/>
Время стоянки	(27) initial	Операнд В	30	5	15	30	<input checked="" type="checkbox"/>
Среднее время поса...	(28) initial	Операнд В	15	1	15	15	<input type="checkbox"/>
Модификатор време...	(29) initial	Операнд В	5	1	5	5	<input type="checkbox"/>
Среднее время движ...	(30) initial	Операнд В	3	1	3	3	<input type="checkbox"/>
Модификатор времн...	(31) initial	Операнд В	1	1	1	1	<input type="checkbox"/>
Среднее время выска...	(32) initial	Операнд В	1	1	1	1	<input type="checkbox"/>

Рис. 8. Задание пользователем факторов серии экспериментов

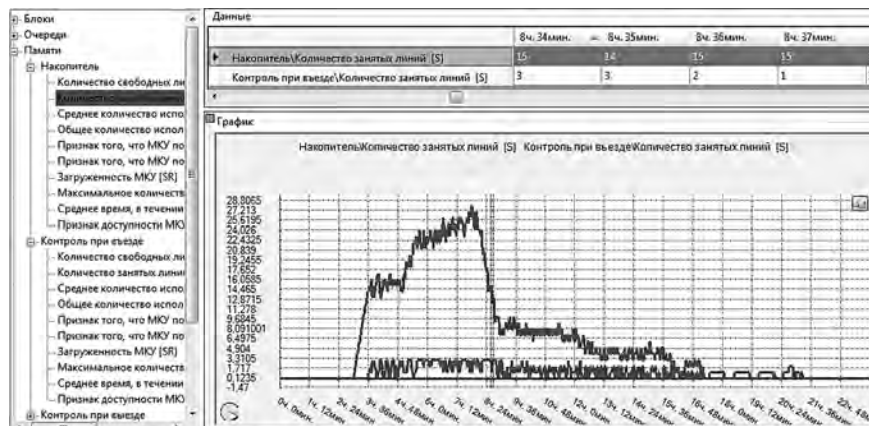


Рис. 9. Динамические результаты имитационного эксперимента

Список литературы

1. Руководство пользователя по GPSS World. Пер. с английского, Казань: Изд. «Мастер-Лайн», 2002.
2. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. Уч. пособие. С.-Петербург: БХВ-Петербург. 2004.
3. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. Пер. с английского. М.: Мир, 1975.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. М.: Мир, 1978.
5. Власов С.А., Девятков В.В. Язык моделирования GPSS World и системы автоматизации имитационных исследований: опыт применения и перспективы использования//IV всероссийская научно-практич. конф. «Имитационное моделирование, теория и практика» Сб. трудов, Т. 1. С.-Петербург, 2009.
6. Власов С.А., Девятков В.В. Кобелев Н.Б. Имитационные исследования: от классических технологий до облачных вычислений//V всероссийская научно-практич. конференция «Имитационное моделирование, теория и практика». Сб. трудов. Т. 1. С.-Петербург, 2011.