

## GPSS STUDIO - ПЕРВЫЙ ШАГ К НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ИМИТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В. В. Девятков, Т. В. Девятков, М. В. Федотов (Казань)

GPSS Studio – программная система, предназначенная для автоматизации разработки дискретно-событийных имитационных моделей и проведения имитационных исследований [1, 2, 3]. Она является правопреемником расширенного редактора и редактора форм. Ядром системы является язык имитационного моделирования GPSS World.

Основополагающими принципами GPSS Studio являются:

- создание и поддержка единого исследовательского пространства, состоящее в автоматизации действий исследователя на протяжении всего процесса исследования;
- упрощение взаимодействия с моделью в процессе исследования и предоставление исследователю удобных, наглядных и настраиваемых на предметную область интерфейсов;
- реализация возможности массового использования моделей, предоставление графических и иных инструментов, позволяющих исследователям разного уровня подготовки проводить имитационные исследования.

В GPSS Studio реализованы лучшие идеи и наработки из нашего многолетнего опыта разработки программных средств и опыта имитационных исследований в целом. Акцент на использование графических инструментов, делает систему моделирования доступной для любого исследователя, тем не менее, она будет интересна, в первую очередь, тем разработчикам, которые используют для работы язык GPSS World. Несколько лет назад именно технологическое и моральное отставание языка GPSS от других систем моделирования [4, 5, 6], убежденность в огромной моделирующей мощи языка, а также желание многих исследователей продолжать использовать его в своей работе, побудило нас к разработке первых версий программ – расширенного редактора GPSS и редактора форм.

Текущий набор функций позволяет создавать иерархические имитационные модели в визуальном редакторе, используя подходы «от общего к частному» и «от частного к общему» или их комбинацию; формировать новую логику с помощью блоков GPSS кода; выполнять и отлаживать модели; анализировать результаты моделирования; проводить одиночные эксперименты и серии экспериментов; выполнять детальный мониторинг переменных в процессе моделирования; формировать анимационный ролик и создавать независимое от среды моделирования имитационное приложение для заказчика.

### Типовые элементы модели и библиотеки типовых элементов

Типовые элементарные блоки (тэбы) являются атомарным компонентом при разработке имитационной модели с помощью графического языка пользователя [4]. Одним из главных нововведений является разделение тэбов на классы и экземпляры – первый шаг к объектно-ориентированному представлению модели. Раньше тэб представлял из себя шаблон кода и копировался полностью при размещении в схеме. Теперь при создании тэба создается его класс – набор метаданных описывающих контракт, структуру и поведение тэба. При размещении в схеме класс не копируется, но создается его экземпляр (ссылка на класс). Это дает несколько преимуществ. Во-первых, полностью отпадает необходимость синхронизации. При изменении тэба все его экземпляры являются синхронизированными автоматически, ведь это просто ссылки. Во-вторых, т.к. класс является самостоятельной сущностью, появляется возможность использования тэбов из других библиотек в текущей библиотеке. Также система тэбов становится более ясной и структурированной.

Улучшена поддержка инкапсуляции данных тэбов – второй шаг к объектно-ориентированному моделированию на GPSS. Это значит, что все данные, определённые в модели тэба, видны только ему. Если необходимо обратиться к этим данным из другого тэба, необходимо указать это явным образом используя специальный синтаксис. Также добавлен специальный тэб данных, который позволяет определять глобальные данные, областью видимости которых являются тэбы в текущей схеме и всех дочерних схемах.

Библиотеки тэбов теперь не замкнуты на себе, а могут строиться на основе других библиотек тэбов. Появилась возможность использовать в своих библиотеках тэбы из стандартных библиотек GPSS Studio или любых других библиотек, в т. ч. своих собственных. Каждый проект теперь может содержать свою собственную локальную библиотеку вспомогательных тэбов, доступных только ему. Также поддерживаются и глобальные библиотеки, доступные в любых проектах.

Появилась возможность писать собственные генераторы моделей на языках платформы .NET. Важно отметить, что при этом пишется не сама модель, а именно генератор – подпрограмма, результатом которой является GPSS код. Язык GPSS World является, таким образом, промежуточным языком. Такие тэбы-генераторы обладает всеми характеристиками обычных тэбов и встраиваются в систему библиотек тэбов. С их помощью можно строить очень сложные тэбы, зависящие от внешних источников (баз данных или САПР). Данный подход позволяет объединить, в некоторой степени, мощь языка C# в части программирования и мощь языка GPSS World при моделировании.

Мы добавили несколько стандартных тэбов, чтобы можно было разрабатывать модели без программирования. В их число входят некоторые стандартные объекты GPSS, такие как матрица, память, очередь; блоки GENERATE, ADVANCE, TEST и т.д.; а также специализированный тэб-поток – генератор транзактов по заданной статистике. Тэбы имеют развитый пользовательский интерфейс, например, тэб-матрица поддерживает функции комментирования, задания понятных для чтения имен колонок и строк, табличное отображение, импорт и экспорт из Excel.

### Структурная схема модели

Коренным образом изменился редактор иерархической структурной схемы модели (рис. 1). Появилось несколько встроенных функций, упрощающих разработку модели. Далее перечислены некоторые из них:

- свойство «Режим перемещения транзактов», позволяет настроить переход транзакта в случае, если из выхода идет несколько соединений. Поддерживаются режимы копирования транзакта и автоматического направления копий по всем соединениям, режим перехода по первому доступному или случайному соединению, а также возможность указания подмодели с любой иной логикой перемещения;
- функция автоматического дублирования тэба любой сложности с перенаправлением исходящих транзактов. Режим дублирования указывается всего одним параметром «количество экземпляров»;
- для соединений теперь тоже можно указывать модель. Операторы модели будут выполняться при перемещении транзакта по соединению. Типовые случаи использования – указание логики занятия ресурса и задержки, если соединение выступает как аналог физического маршрута движения;
- транзакт теперь не является абстрактным неопределённым объектом. В схеме появился специальный элемент, обозначающий транзакт. С его помощью можно задать список параметров и изображение (или трехмерный объект), представляющий транзакт;

- специальный тэб данных позволяет определять «глобальные» данные, видимые в моделях всех тэбов текущей схемы и всех подсхем композитных тэбов. С его помощью можно располагать общие данные не в одной большой глобальной «куче», а систематизировать и инкапсулировать в схемах композитных тэбов, в которых они нужны;
- входы и выходы тэба можно располагать в произвольном положении;
- параметры тэбов теперь можно задавать непосредственно перед выполнением модели, в окне генерации текста модели (окне запуска моделирования);
- широкие возможности по оформлению тэбов, соединений и схем в целом, позволяют схеме выступать не только логическим слоем описания модели, но и являться её презентацией. Для тэбов и транзактов можно указывать не только изображения, но и трехмерные объекты, использующиеся в анимации.

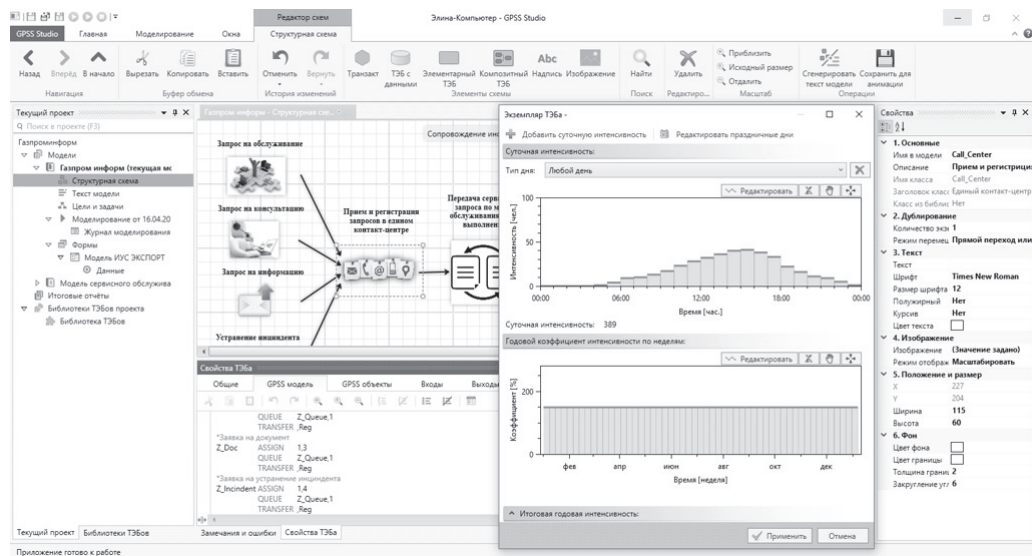


Рис. 1. Структурная схема модели в редакторе

GPSS Studio теперь поддерживает трехмерную анимацию. Сейчас мы используем упрощённую, но строящуюся автоматически 3D-анимацию схемы. Помимо основной функции наглядного динамического представления модели, её можно рассматривать как некоторый аналог визуальной отладки. При анимации отображается движение транзактов между тэбами и значения состояний тэбов.

### Текстовая GPSS модель

Усовершенствованию подвергся и текстовый редактор GPSS модели. Расширен список объектов, отображаемых в контекстной подсказке в режиме редактирования. В подсказке модели тэба отображаются GPSS-объекты, определённые в специальной области данных. Если тэб является частью сложной иерархии, в контекстной подсказке отображаются все глобальные объекты, доступные в области видимости данного тэба.

Серьезно улучшением подвергся отладчик модели. В отличие от предыдущей версии, используемой в расширенном редакторе, отладчик GPSS Studio поддерживает точки останова. Такой формат отладки модели является гораздо более удобным и интуитивно понятным, так как по такой схеме работает большинство отладчиков в других языках программирования. Точками останова можно пометить операторы модели, перед выполнением которых произойдет остановка, а отладчик отобразит значения всех переменных модели и параметров текущего транзакта. При отладке модели поддерживается как последовательный переход по

операторам модели, позволяющий с максимальной точностью отследить изменение состояния модели, так и переход «скачками» между точками останова. Последний удобен для отладки отдельных участков модели, вызывающих вопросы.

В ближайших версиях планируется добавление отладки PLUS-процедур, а также добавление к точкам останова специализированных условий.

### Другие важные улучшения

Базисным элементом информационной структуры системы стал «Проект», объединяющий все файлы, относящиеся к определенному исследованию (структурная схема, текст модели, формы ввода и вывода, результаты экспериментов и т.д.).

Расширенный редактор GPSS, служащий для формирования и отладки модели, и редактор форм, служащий для проведения имитационного исследования, объединены в единый продукт для того, чтобы интегрировать эти компоненты более тесно и сделать процесс исследования более простым.

Также в GPSS Studio добавлен фоновый статический анализатор GPSS модели и структуры тэбов. Он отслеживает изменения и анализирует корректность вводимых данных. Все найденные замечания отображаются в едином окне. Существует 3 вида предупреждающих сообщений. Ошибки сигнализируют о таких аспектах модели, из-за которых её запуск будет невозможен (например, недопустимое количество операндов блока). Предупреждения представляют такие состояния системы, которые могут повлечь сбой в работе модели, при некоторых условиях, но, тем не менее, допустимы. Сообщения информируют о тех или иных особенностях модели и схемы, которые не являются критичными, при построении модели, но, обычно, говорят о том, что разработчик забыл добавить ту или иную функциональность.

Были произведены существенные изменения в компонентах, предназначенных для работы с формой модели и отображения результатов мониторинга и серии экспериментов (рис. 2).

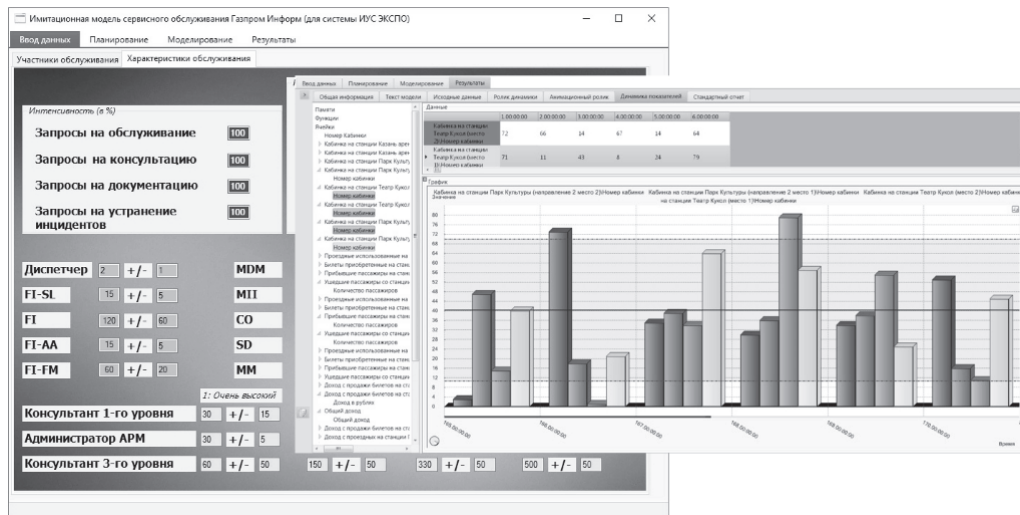


Рис. 2. Компоненты для работы с формой модели и результатами

Кроме этого значительным переработкам в части функциональности, структуры представления и форматов хранения подверглись окна проектов и библиотек тэбов.

## Заключение

Разработка базового функционала среды моделирования завершена в 2017 году, и несколько месяцев проходила активное тестирование с помощью наших самых активных и профессиональных пользователей. Результаты тестирования показывают стабильную и устойчивую работоспособность среды, а также то, что практически никакого отставания в возможностях проведения имитационного исследования на GPSS World от других систем моделирования уже нет. Но это не значит, что продукт достиг своего максимума. Это лишь первая очередь разработки GPSS Studio 1.0 – базис для дальнейших разработок.

Тем не менее, текущий набор функций позволяет в доступной форме и на высоком технологическом уровне осуществлять графическое конструирование моделей и стандартных элементов, настраивая их под конкретную задачу и предметную область. Возможность создания независимых от среды имитационных приложений позволила сделать уверенный шаг к технологии массового моделирования, когда создать модель без профессионала и работать с ней сможет любой аналитик и инженер.

У разработчиков среды моделирования имеется много нереализованных идей, и GPSS Studio будет непрерывно развиваться. Сейчас мы имеем возможность работы с исходным кодом моделирующего ядра и уже есть намерения внести в него некоторые функциональные улучшения. В части интеграции имитационного исследования продолжают работы по дальнейшей автоматизации процесса постановки задачи, процедур планирования экспериментов и оптимизации. Также будет совершенствоваться компонента помощи исследователю для формулирования рекомендаций. Большая работа предстоит по созданию и наполнению множества типовых библиотек для облегчения работы исследователей в различных предметных областях. В этой работе рассчитываем на конструктивное взаимодействие с исследователями и аналитиками.

## Литература

1. **Девятков В.В.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2014. 448 с.
2. **Федотов М.В.** Расширенный редактор GPSS World: новая версия – новые возможности / Седьмая всероссийская научно-практическая конференция ИММОД 2017: Труды конф. 21-23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. Им. В. А. Трапезникова Рос. Акад. Наук; под общ. ред. С. Н. Васильева, Р. М. Юсупова. Т. 1. М.: ИПУ РАН, 2015. 345 с.
3. **Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В.** / Имитационные исследования в среде моделирования GPSS Studio: учеб. пособие; под общ. ред. В. В. Девяткова. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. 283 с.
4. Официальный сайт SIMIO LLC (США). Режим доступа <http://www.simio.com/index.php> (дата обращения 20.09.2017).
5. Официальный сайт AnyLogic Company – Режим доступа <http://www.anylogic.ru/> (дата обращения 20.09.2017).
6. Официальный сайт ExtendSim - Режим доступа <http://www.extendsim.com> (дата обращения 20.09.2017).
7. **Кобелев Н.Б.** Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. М.: Дело, 2003. 235 с.