

GPSS STUDIO– НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**В. В. Девятков, Т. В. Девятков, М. В. Федотов (Казань)**

Первая версия среды имитационного моделирования (далее ИМ) дискретно-событийных систем GPSS Studio была создана в начале 2018 года. Подробно концепции ее функционирования для разработки моделей и имитационных приложений были описаны в учебном пособии [1]. За прошедшие два года в составе среды произошло множество изменений, улучшений и дополнений и все они направлены выполнение основополагающих принципов, заложенных в основу GPSS Studio:

- создание и поддержка единого исследовательского пространства модели;
- упрощение взаимодействия с моделью в процессе исследования и предоставление исследователю наглядных и настраиваемых на предметную область интерфейсов;
- разработка инструментов для реализации возможности массового использования моделей.

Изменениям, так или иначе, подверглись все компоненты GPSS Studio, в частности были внесены сотни изменений по результатам эксплуатации среды при разработке практических имитационных приложений. Также были проведены работы по реализации некоторых возможностей, которые были в других системах ИМ и играют важную роль в имитационном исследовании, а в GPSS Studio их не было. Сейчас можно с уверенностью сказать, что среда моделирования GPSS Studio представляет собой полнофункциональный, стабильно работающий и постоянно развивающийся программный продукт. По мощи моделирования дискретно-событийных систем и использованию передовых информационных технологий она не уступает, а в некоторых случаях и превосходит, возможности других систем ИМ.

В первом разделе статьи описаны чрезвычайно важные, но небольшие изменения, которые позволяют интегрировать имитационное приложение с внешними файлами. Во-первых для предварительной подготовки и ввода исходных данных в модель из Excel файла. Во-вторых, для формирования и записи результатов моделирования во внешний Excel файл. Также представлены новые возможности подсистемы анимации и использования ее результатов.

Но некоторые крупные нововведения требуют отдельного представления, т.к. значительным образом расширяют возможности исследователя. Поэтому, остальные разделы статьи посвящены крупным и принципиально новым возможностям: стандартной библиотеке GPSS тэбов, инструментарию тестирования тэбов и подсистеме многокритериальной оптимизации.

Базовые изменения

В состав редактора форм и независимого исполняемого модуля добавлена функция импорта данных из Excel. На этапе разработки приложения (когда модель уже готова), исследователь определяет соответствие ячеек Excel файла (формат может быть произвольным) и полей ввода исходных данных. В дальнейшем, в процессе работы с независимым имитационным приложением, остается только выбрать нужный файл, и все, содержащиеся в нём, исходные данные будут автоматически введены в форму.

Существенным доработкам подвергся редактор анимации. Были добавлены функции изменения размера опорных точек, изменения прозрачности элементов, фильтр выделенных элементов, режим эксклюзивного отображения путей перемещения транзактов, возможность перемещения группы элементов. Эти функции значительно упрощают построение анимации, особенно при большом количестве пересекающихся путей транзактов. Пути транзактов подверглись ещё одному улучшению. Стало возможным подсвечивать их в процессе анимации. Этот приём можно использовать для обозначения загруженности участков дорог: в зависимости от количества транспорта или средней скорости движения линии можно подсвечивать разными цветами.

Появилась возможность экспорта анимации в независимый файл. Исследователь получает небольшой exe-файл с анимацией, наподобие видеофильма, с возможностью масштабирования,

навигации во времени и т.п. Данный ролик удобно использовать для демонстрации возможностей модели (например, Заказчику), т.к. обладает высокой степенью представления и понимания процессов, происходящих в модели, и в то же время исключает технические детали.

В ранних версиях GPSS Studio уже имелась возможность создания итогового отчета в формате RTF текстового редактора MSWord. Однако она была сильно ограничена типом выгружаемых данных и пользователь практически не управлял форматом самого отчета. В новой версии добавлена возможность формирования итогового Excel-отчета на основе шаблона. Использование шаблона дает большие возможности разработчику: теперь он не ограничен предустановленным форматом и может настраивать отчет с использованием всех возможностей MS Excel. Связывание ячеек с данными осуществляется посредством текстовых переменных специального формата, позволяющих обращаться к любым результатам мониторинга модели, а также к некоторым результатам стандартного отчета.

Эти и ряд других улучшений уже прошли проверку во время разработки многих практических приложений, например, на транспортной модели WorldSkillsKazan-2019.

Стандартная библиотека GPSS тэбов

В состав GPSS Studio была включена новая библиотека GPSS тэбов. Она содержит 48 стандартных GPSS-блоков. Пример схемы, построенной с помощью данной библиотеки показан на рис. 1.

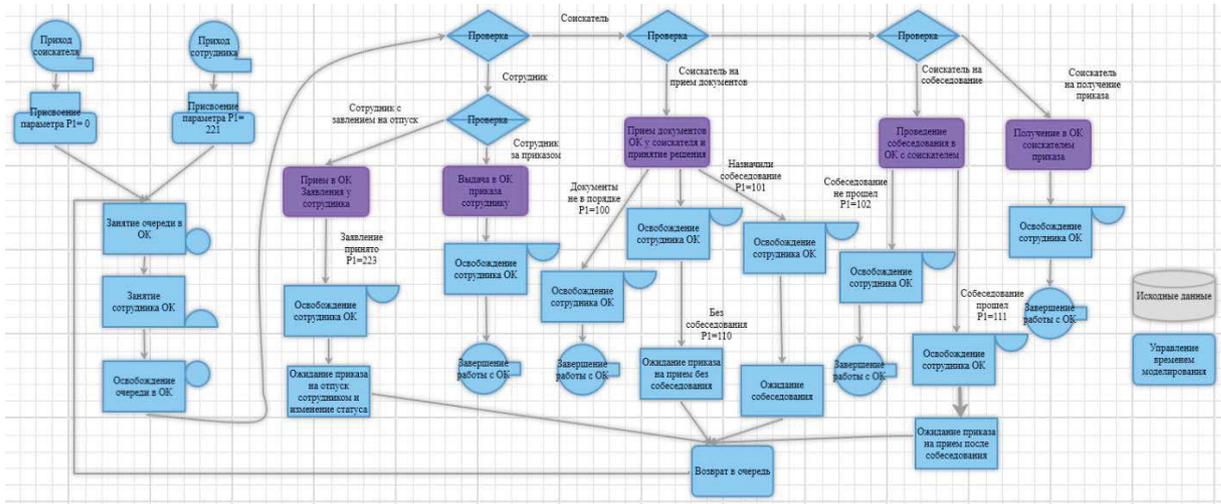


Рис. 1. Библиотека GPSS тэбов и участок модели.

Библиотека позволяет более ясно и в деталях выразить логику имитационной модели на графической структурной схеме, делает схему модели понятной для дальнейшей разработки, отладки и сопровождения.

Каждый блок библиотеки изображается специализированным символом. За счёт такой стандартизации, на схеме явно прослеживаются циклы, ветвления и виден общий замысел исследователя. Для визуализации блоков не создавались новые изображения, а были выбраны общепринятые представления GPSS-блоков из книги Шрайбера [2], т.к. они известны и знакомы многим исследователям, работающим или работавшим с языком GPSS. Наименование каждого блока, как видно из рисунка, может быть изменено на любой текст, который будет соответствовать лучшему представлению предметной области.

Понятие GPSS-блока естественным образом согласуется с понятием тэба. В общем случае, блок принимает входящий транзакт, выполняет некоторую операцию на основании значений операндов и возвращает один или несколько транзактов. В контексте тэба, входящий транзакт направляется на вход тэба, операнды преобразуются в параметры тэба, а назначения выходящих транзактов в выходы тэба. Особые случаи, такие как блок GENERATE, в который запрещается входить транзакту или TERMINATE, который не имеет выходов, также легко описываются в терминологии тэбов. Также был обобщен блок ASSIGN, инициализирующий параметр транзакта. Тэб ASSIGN позволяет инициализировать несколько параметров в рамках одной структурной

единицы схемы. Это сделано потому, что в реальных условиях, очень часто производится изменение сразу нескольких взаимосвязанных параметров, а нагромождение схемы последовательными тэбами ASSIGN будет мешать общему восприятию логики модели. Тем не менее, если необходимо явно указать на изменение какого-нибудь параметра или выделить изменение группы параметров, тэбы ASSIGN можно расположить последовательно друг за другом.

Объявление объектов и сущностей, таких как очереди, устройства, ячейки и т.д. осуществляется (как и ранее) с помощью тэба-данных. Решено не создавать отдельные элементы схемы, отражающие данные сущности, т.к. в реальных моделях их обычно бывают десятки, сотни и даже тысячи.

Появление явно выраженных GPSS-блоков, не означает, что нужно всю логику модели реализовывать с их помощью. Одно из преимуществ структурной схемы – возможность декомпозиции модели. Сложная логика последовательно разбивается на более простые, с точки зрения выполняемых функций, элементы, которые строятся из элементов более низкого уровня и так далее, до уровня элементарных тэбов. Модель и промежуточные уровни представляются композитными тэбами, а вот слой конечных элементов удобно реализовывать GPSS тэбами или простым тэбом с текстовым представлением участка модели.

Тестирование тэб

В системах ИМ очень мало внимания уделяется вопросам автоматизированного тестирования моделей, особенно тестирования отдельных участков модели. А между тем, наличие такого инструментария, в арсенале исследователя, может сослужить ему неоценимую службу. Первые подходы к автоматизированному тестированию ПО начали разрабатывать ещё в 60-е годы, а сейчас тестирование играет важнейшую роль и без него не обходится разработка ни одного, хоть сколь-нибудь важного программного продукта.

Имитационная модель, конечно, разительно отличается от классического ПО, в первую очередь, размерами (объемом кода), временем жизни и локальной областью применения. В современных условиях, преобладающим подходом является разработка небольших моделей, направленных на решение конкретных частных задач. По окончании исследования, модель выбрасывается. Однако есть ситуации, когда модель или её часть живут дольше обычного – это, например, крупные модели больших производственных систем, или предметные модели, построенные на базе некоторой библиотеки базовых элементов.

В связи с этим, метод автоматизированного юнит-тестирования может быть полезен и при разработке имитационных моделей, даже небольших. Юнит-тестирование, позволяет создать т.н. сетку безопасности, то есть сформировать набор тестов, покрывающих ключевые особенности функционирования компонентов модели. В будущем, при изменении модели нужно быть уверенным, что изменения не повредили уже завершенные участки модели. Такого рода гарантии просто необходимы при разработке или модернизации больших и сложных моделей.

В общем случае, юнит-тест состоит из 3 частей: подготовка тестовой среды и входных данных, параметры завершения модели теста и проверка полученных результатов. Тестируемая система, при этом, обычно рассматривается как черный ящик. Такой подход идеально согласуется с принципами на которых строится модель в графическом редакторе GPSS Studio и используемыми при этом автономными элементами - тэбами. Тэбы могут быть простыми и напрямую содержать логику, написанную на языке GPSS World; композитными – состоящими из других тэбов; либо динамически-формируемыми. Вне зависимости от формы представления логики, каждый тэб имеет «внешний интерфейс» для связи с другими тэбами и состоит из входов, выходов, параметров и состояний. Кроме того, каждый тэб работает в некоторой «среде» которая образуется совокупностью глобальных данных, необходимых тэбу для работы. Тэбы могут быть определены непосредственно в структурной схеме модели, либо отдельно в библиотеке.

В GPSS Studio, для тестирования тэб создан специальный инструментарий (рис. 2), а создание и управление тестами производится в среде графического интерфейса.



Рис. 2 – Идеология работы тестера тэб.

Тест можно создать для любого тэба, вне зависимости от места его расположения и формы внутреннего устройства. Каждый тест должен иметь имя описывающее его назначение.

Для подготовки среды и входных данных, тестовый инструментарий позволяет:

1. Определять генераторы входных транзактов. Для каждого генератора указываются начальное время и интенсивность поступления транзактов, значения параметров, приоритет, вход тэба на который направляются транзакты.
2. Определять глобальные данные. Список глобальных данных совпадает с данными, которые определяются тэбами данных.
3. Инициализировать локальные данные тэба (ячейки, матрицы, устройства и т.д.) в случае тестирования простого тэба с GPSS моделью.

В параметрах моделирования определяется признак завершения моделирования (ограничение на время или количество удаленных транзактов) и параметры модели.

Проверка результатов модели осуществляется путем наложения условий на итоговое состояние тэба. В перечень значений, доступных для проверки, входят:

1. Проверка значения выражения, включающего локальные и глобальные данные. Данный вариант доступен при тестировании простого тэба.
2. Проверка состояния тэба.
3. Проверка значения параметра выходного транзакта.
4. Проверка времени выхода транзакта с определённого выхода.
5. Проверка количества транзактов, удовлетворяющих некоторому условию.

При проверке значений можно использовать стандартные логические операторы: «истина», «ложь», «равно», «не равно», «больше», «меньше», и т.д., а также проверку на вхождение значения в заранее подготовленный список.

При проверке данных, связанных с выходным транзактом, можно специфицировать, какой именно транзакт подвергается проверке. Транзакт можно выбирать по порядковому номеру или значению параметра.

После того, как все 3 составляющие теста настроены, он будет сохранен и может быть запущен. По окончании исполнения, тест переходит в одно из 3 состояний (рис. 3):

1. Тест выполнен («зелёный» тест) – означает, что все условия, наложенные на выходные данные, были выполнены.
2. Тест не выполнен («красный» тест) – означает, что некоторые выходные значения отличаются от ожидаемых. В окне комментария будет указано, какое именно условие привело не было выполнено.
3. Тест завершился с ошибкой – означает, что тест не был выполнен по причине некоторой ошибки (например, не настроен путь к моделирующему ядру).

Все тесты лежат в базе данных и при внесении изменений в модель их можно запустить нажатием одной кнопки, и проверить - не были ли, случайно, задеты другие участки модели.

Необходимо, чтобы тесты всегда находились в т.н. «зелёном» состоянии. Это говорит о том, что новые изменения не повредили, покрытую тестами, логику.

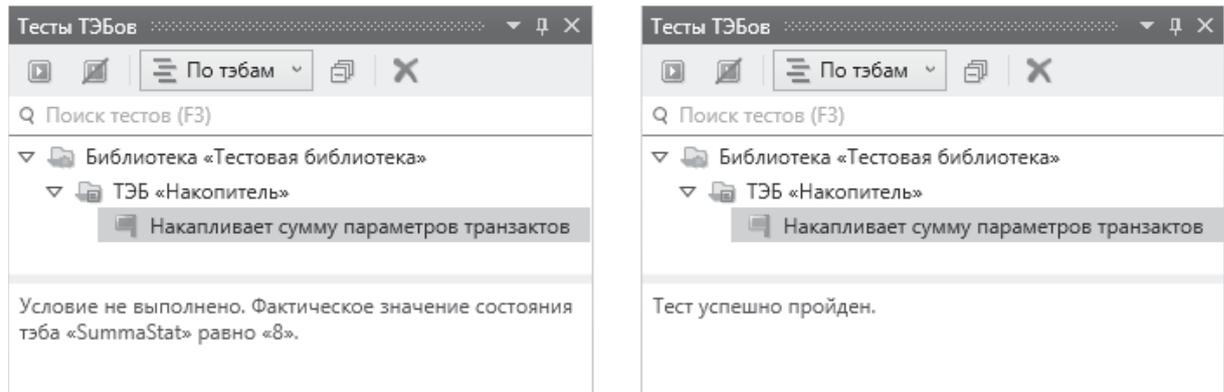


Рис. 3. Результаты исполнения тестов

Оптимизация

Одним из недостатков среды GPSS Studio было отсутствие в ней модуля оптимизации. Можно сколь угодно долго предлагать «лучшие» решения, но всегда особенно ценится оптимальный результат. Поэтому в среду был добавлен модуль оптимизации. Для создания этого модуля была выбрана российская технология многомерной нелинейной оптимизации IOSO, которая на протяжении более 20 лет была задействована в более чем 200 проектах и зарекомендовала себя как эффективное средство решения задач оптимизации в таких сложных областях, как самолетостроение и двигателестроение [3].

В этом году, совместная с компанией Сигма-технологии, была завершена и комплекс многокритериальной оптимизации IOSO поддерживается в рамках среды GPSS Studio.

Преимущества технологии IOSO:

- многокритериальная оптимизация задач большой размерности (до 100 и более варьируемых параметров);
- низкие затраты на поиск оптимального решения (сокращение количества экспериментов в 20-150 раз в зависимости от сложности и размерности задачи);
- многокритериальная оптимизация задач в стохастической постановке (до 100 переменных), со сложной топологией оптимизируемой функции и большим количеством ограничений;
- решение всех классов задач оптимизации, в том числе стохастических многоэкстремальных не дифференцируемых.

Алгоритмы IOSO базируются на новой эволюционной технологии построения поверхности отклика. В соответствии с логикой работы алгоритмов IOSO, на каждой итерации осуществляется построение поверхностей отклика критериев оптимизации и ограничиваемых параметров. Далее, осуществляется оптимизация, с использованием полученных поверхностей отклика и в полученной точке проводится прямое обращение к имитационной модели исследуемой системы. В процессе оптимизации осуществляется накопление информации об исследуемой системе в окрестности оптимального решения, что приводит к повышению качества поверхностей отклика. При переходе от предыдущей к последующей итерации осуществляется следующая последовательность шагов: модификация плана эксперимента, адаптивное изменение текущей области поиска, выбор типа поверхности отклика, уточнение поверхности отклика, модификация параметров и структуры алгоритма оптимизации.

В рамках GPSS Studio, метод оптимизации является одним из вариантов этапа планирования экспериментов и моделирования, и доступен в редакторе форм, наряду с ручным и пошаговым методами.

Для проведения оптимизации, исследователю необходимо задать 3 группы данных: факторы (независимые переменные), показатели и параметры метода оптимизации. В процессе оптимизации, план серии экспериментов будет формироваться автоматически.

Факторы определяют переменные, которые могут варьироваться IOSO. Для каждого фактора необходимо задать начальное, минимальное и максимальное значения.

Показатели определяют зависимые переменные. Каждый показатель может являться целевой функцией и/или определять множество допустимых значений. В рамках одной задачи оптимизации можно задавать несколько целевых функций и несколько ограничивающих показателей. Если область значений показателя ограничена, можно указать минимальное и/или максимальное значения. Кроме того, для каждого показателя можно задать приоритет, который будет учитываться IOSO, в случае возникновения ситуаций выбора дальнейшего направления оптимизации.

Все исходные данные, составляющие постановку задачи, можно сохранить как пресет с описательным именем, чтобы впоследствии не вводить заново.

Перед запуском оптимизации осуществляется ее настройка по точности, условиям завершения, количеству визуализируемых элементов оптимального множества Парето. После настройки, запускается процесс оптимизации. Разумеется, в зависимости от постановки задачи и сложности модели, он может занять значительное время. В процессе поиска оптимального решения последовательно выполняются этапы оптимизации и моделирования экспериментов. Отслеживать процесс поиска оптимального решения можно по таблице и графику, на которых отображаются все точки (значения факторов и показателей) которые проверяет IOSO (рис. 4).

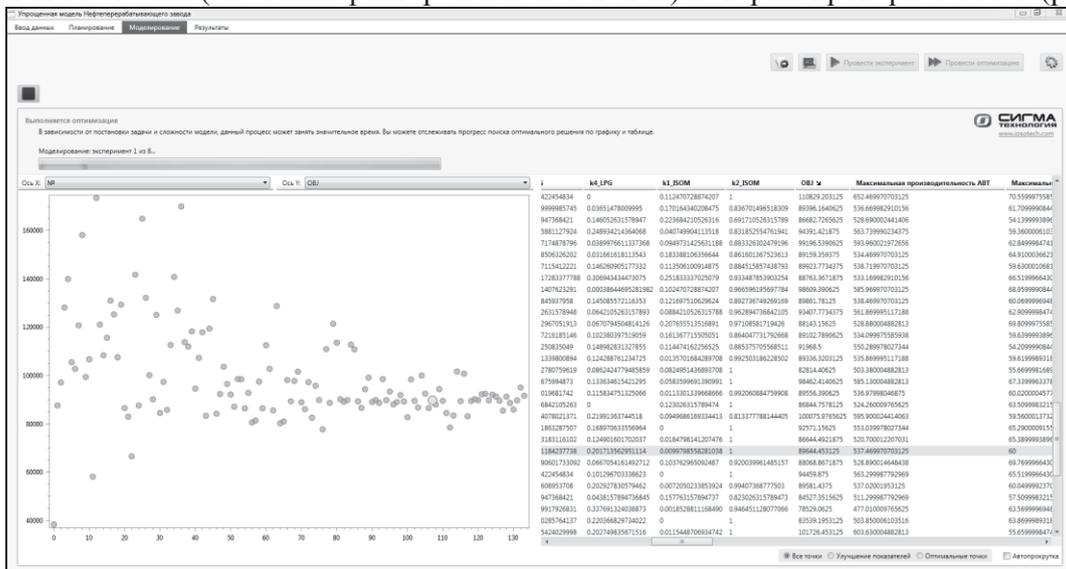


Рис. 4 - Прогресс оптимизации.

По окончании оптимизации, GPSS Studio проводит финальную серию экспериментов с факторами, которые приводят к оптимальным значениям показателей. Все результаты сохраняются в общую базу данных, по аналогии с другими методами планирования экспериментов. При этом доступны все функции редактора форм, такие как мониторинг, анимация и т.д.

Если же IOSO не удалось определить ни одного оптимального значения, отображается причина остановки оптимизации, например, достижение ограничения на количество итераций, или превышение максимального времени решения.

Система оптимизации не является частью GPSS Studio. Для использования технологии IOSO, требуется отдельная установка и активация данного продукта. После установки, возможности оптимизации становятся доступными в GPSS Studio.

Заключение

Таким образом, в среде моделирования GPSS Studio произошли изменения, которые позволяют поднять эффективность имитационного исследования. Некоторые дополнения являются уникальными и отсутствуют в других системах ИМ. Например, тестирование части модели – тэбов. В ближайшем будущем планируется завершить разработку еще ряд важнейших подсистем –

работа геоинформационной информацией (через карты) для ввода данных и анимации, а также подсистему 3D анимации, основанную на использовании структурной схемы.

Литература

1. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. Пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. — М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. — 283 с.
2. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS Пер. с англ. В. И. Гаргера, И. Л. Шмуйловича под ред. М. А. Файнберг. - М.: Машиностроение, 1980. - 592 с.
3. Официальный сайт компании «СИГМА Технология» [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.iosotech.com/ru/index.htm> (дата обращения 12.09.2019).