

**ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ БИБЛИОТЕКИ ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ
ОБЛАСТИ В СРЕДЕ GPSS STUDIO****Л.А. Воробейчиков, Г.К. Сосновиков (Москва)**

Одним из распространенных языков моделирования сложных дискретных систем является язык GPSS [1], реализуемый в настоящее время в рамках системы моделирования GPSS World [2]. В последние годы система моделирования GPSS World приобрела “второе дыхание” с появлением мощного интерактивного инструмента автоматизации моделирования на GPSS – среды моделирования GPSS STUDIO [3].

Среда GPSS STUDIO автоматизирует как процесс разработки GPSS–моделей, так и процесс исследования различных систем с их использованием. Кроме того, она решает задачу создания независимых имитационных приложений, основанных на GPSS–моделях и ориентированных на специалистов той или иной предметной области. Приложения, созданные в среде GPSS STUDIO, дают пользователю-исследователю возможность взаимодействия с GPSS–моделью через формы ввода исходных данных, планирования и проведения имитационных экспериментов, а также вывода и анализа результатов моделирования.

Важнейшими компонентами технологии разработки GPSS–моделей в среде GPSS STUDIO являются типовые элементарные блоки (ТЭБ) и создаваемые с их использованием графические структурные схемы моделей. Среда предоставляет удобные и эффективные инструментальные средства создания ТЭБ, их связывания в структурной схеме модели, генерирования текста GPSS–модели на основе разработанной структурной схемы.

ТЭБ могут разрабатываться под конкретную GPSS–модель. В этом случае сначала производится декомпозиция моделируемой системы на отдельные подсистемы и элементы, затем создаются ТЭБ, соответствующие этим элементам, на их основе строится структурная схема модели, и, наконец, генерируется ее текст на языке GPSS. Однако в этих случаях опытному разработчику зачастую проще сразу запрограммировать GPSS–модель, без использования ТЭБ и структурной схемы.

Технология разработки GPSS–моделей для некоторой предметной области с использованием ТЭБ и структурных схем наиболее продуктивна в том случае, если имеется библиотека типовых решений в этой предметной области. Тогда построение конкретной модели сводится к размещению и связыванию библиотечных ТЭБ в структурной схеме, параметрической настройке ТЭБ на заданные параметры модели и генерированию текста модели.

ТЭБ для библиотеки типовых решений предметной области существенным образом отличаются от ТЭБ, разрабатываемых под конкретную модель. Заранее неизвестен контекст и окружение, в которое будет помещен каждый такой ТЭБ. Неизвестно, какие именно значения будут принимать его параметры, какие показатели его объектов понадобятся для мониторинга характеристик функционирования модели. Для успешной разработки подобных библиотек требуется определенная технология, однако как в учебном пособии [3], так и в руководстве пользователя GPSS STUDIO эти вопросы не освещаются. Данная работа является попыткой восполнить этот пробел, основываясь на опыте разработки и использования библиотеки типовых решений в предметной области «Модели теории телетрафика».

Модели, методы и результаты теории телетрафика являются базой для решения задач исследования, разработки и эксплуатации современных систем телекоммуникации. В монографии [4] подробнейшим образом рассмотрены основные модели теории телетрафика: как модели поступления трафиков сервисов реального времени и передачи данных, так и модели обслуживания этих трафиков. Указанные модели и были взяты за основу разрабатываемой библиотеки *TeleTraffic*. Множество всевозможных моделей достаточно обширно, и процесс пополнения библиотеки продолжается до настоящего времени и будет продолжен в будущем.

Большинство моделей, реализованных в библиотеке, являются известными системами массового обслуживания (СМО) различной классификации. Моделированию таких систем в среде GPSS World посвящена работа авторов [5].

Технология разработки библиотеки и составляющих ее ТЭБ опиралась на следующие основные требования:

1. **Функциональная замкнутость библиотеки**, то есть возможность разработки на ее основе любых имитационных приложений в данной предметной области без использования дополнительных ТЭБ, не входящих в состав библиотеки, и без необходимости редактирования текстов генерируемых GPSS–моделей.

Следствием этого требования стало включение в библиотеку ряда вспомогательных ТЭБ, необходимых для связывания ТЭБ в структурной схеме (блоки *TEST*, *TRANSFER*) и всевозможных вспомогательных операций (блоки *ASSIGN*, *MARK*, *TABULATE*, *SAVEVALUE*, *TERMINATE*). Подразумевается, что в случае появления необходимости в новом вспомогательном ТЭБ, отсутствующем в библиотеке, он будет создан разработчиком и добавлен в библиотеку.

2. **Возможность настройки ТЭБ** как на их параметры, задаваемые разработчиком конкретного приложения, так и на входные параметры приложения, задаваемые пользователем–исследователем через формы ввода исходных данных.

Следствием этого требования явилось, с одной стороны, обязательное включение входных данных в список параметров подавляющего большинства ТЭБ и, с другой стороны, включение в состав GPSS–объектов этих ТЭБ сохраняемых величин и матриц, инициализируемых как параметрами ТЭБ, так и через соответствующие секции ввода форм.

3. **Независимость ТЭБ**, моделирующих ресурсные компоненты систем телетрафика, от вероятностно–временных параметров их функционирования. Выполнение данного требования избавляет от необходимости дублирования ТЭБ, моделирующих различные СМО, для каждого возможного сочетания распределений случайных временных задержек, используемых в GPSS–модели ТЭБ.

Следствием этого требования стало включение в состав библиотеки отдельных ТЭБ, генерирующих случайные временные задержки с различными законами распределения вероятностей с записью этих задержек в заданный параметр транзакта.

4. **Обеспечение доступа** ко всем GPSS–объектам ТЭБ и их атрибутам, потенциально необходимым для мониторинга результатов моделирования. Выполнение этого требования означает, что в состав GPSS–объектов ТЭБ должны быть заранее включены всевозможные статистические и вычислительные объекты (очереди, таблицы, переменные и пр.), стандартные числовые атрибуты которых могут понадобиться в качестве результатов моделирования в каком–то приложении.

Исходя из перечисленных требований и в целях структурирования библиотеки, каждый из разрабатываемых ТЭБ был отнесен к одной из следующих категорий:

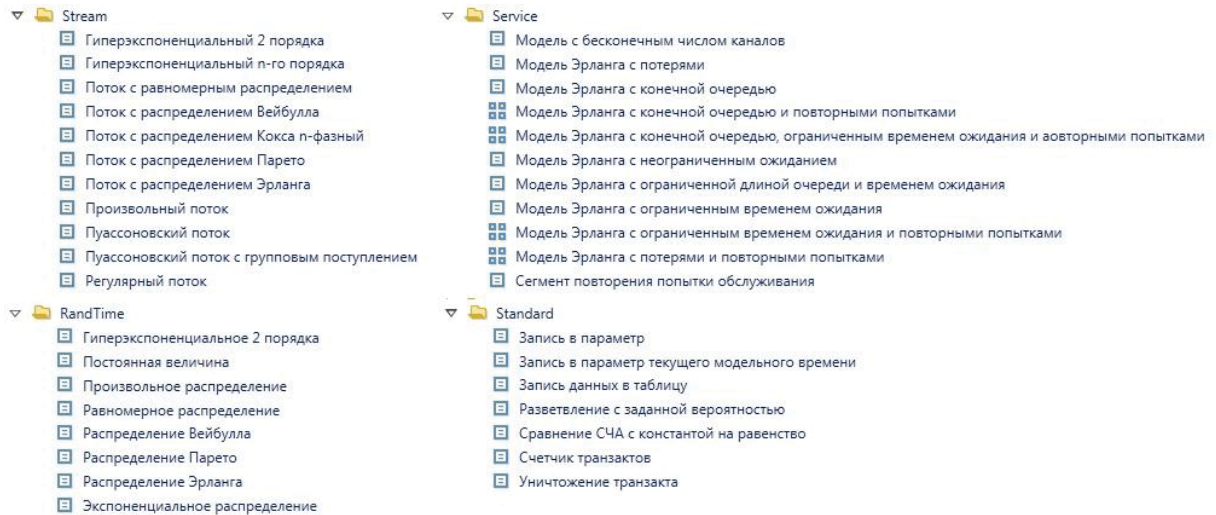
1. *Stream*– включает ТЭБ, генерирующие входные потоки транзактов с различными законами распределения интервалов их поступления.

2. *Service*– включает ТЭБ, моделирующие различные СМО.

3. *RandTime*– включает ТЭБ, служащие для получения случайных временных задержек с различными законами распределения.

4. *Standard*– включает вспомогательные ТЭБ, служащие для связывания в структурной схеме ТЭБ трех основных категорий.

На рис. 1 приведен актуальный состав библиотеки по категориям ТЭБ. Библиотека включает как элементарные, так и композитные ТЭБ. Она постоянно пополняется новыми ТЭБ во всех четырех категориях по мере разработки авторами новых имитационных приложений в данной предметной области.

Рис. 1. Состав библиотеки *TeleTraffic* по категориям ТЭБ

Для демонстрации технологии и приемов, использованных при разработке ТЭБ библиотеки, рассмотрим четыре примера элементарных ТЭБ каждой категории.

На рис. 2 показана вкладка «Параметры» окна свойств ТЭБ «Пуассоновский поток» категории *Stream*, создающего поток транзактов с экспоненциальным распределением интервалов их поступления. GPSS–модель ТЭБ будет содержать единственный блок *GENERATE* с вызовом встроенной процедуры *Exponential*, и параметры ТЭБ естественным образом совпадают с операндами этой процедуры.

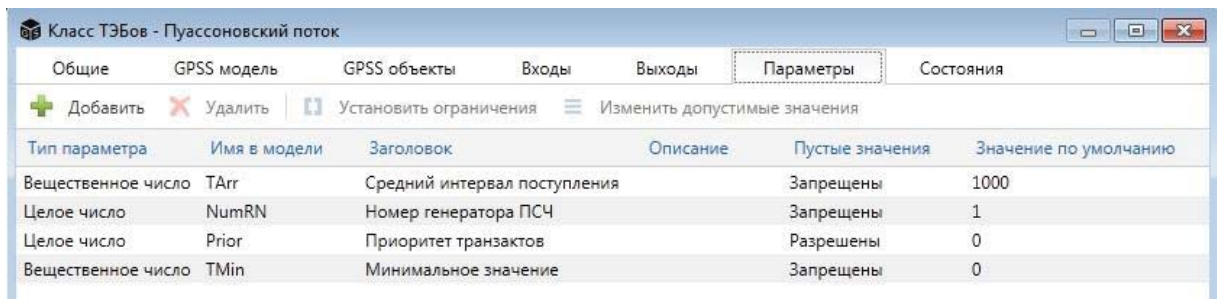


Рис. 2. Вкладка «Параметры» окна свойств ТЭБ «Пуассоновский поток»

Параметр *NumRN* представляет собой целочисленный номер генератора псевдослучайных чисел (ПСЧ), используемого при вызовах процедуры *Exponential*. Очевидно, что спецификация этого параметра должна быть доступна лишь разработчику модели и быть недоступной для конечного пользователя–экспериментатора. Вещественные параметры *TArri* *TMin* задают, соответственно, средний интервал поступления транзактов и минимальное значение (смещение относительно нуля) генерируемых случайных интервалов. Спецификация этих параметров должна быть доступна как разработчику, так и пользователю. Целочисленный параметр *Prior* определяет приоритет генерируемых транзактов и также должен быть доступен и разработчику, и пользователю.

Для каждого из числовых параметров задается значение по умолчанию, которое может быть заменено разработчиком в ТЭБ на структурной схеме требуемым текущим значением. При генерации GPSS–модели именно текущие значения параметров будут зафиксированы в тексте модели. Чтобы обеспечить пользователю–экспериментатору возможность изменения параметров ТЭБ через формы ввода данных, в ТЭБ включаются GPSS–объекты, инициализируемые текущими значениями параметров, с одной стороны, и используемые для модификации в формах ввода, с другой стороны.

На рис. 3 изображена вкладка «GPSS объекты» окна свойств ТЭБ «Пуассоновский поток». Здесь определены три объекта типа «Ячейка SaveValue» с именами *TA*, *TM* и *PRI*, инициализируемые, соответственно, значениями параметров *TArr*, *TMin* и *Prior*. Инициализация производится в отдельном окне «GPSS объект», появляющемся при нажатии кнопки «Добавить» или кнопки «Значение» в столбце «Данные».

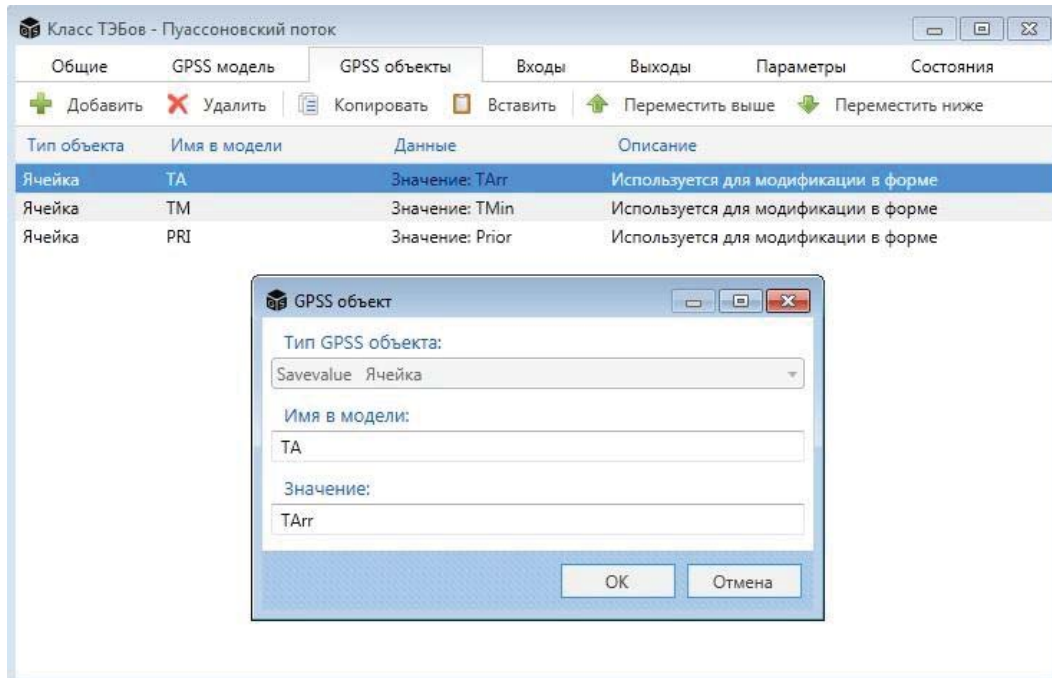


Рис. 3. Вкладка «GPSS объекты» окна свойств ТЭБ «Пуассоновский поток»

При генерации GPSS-модели из структурной схемы средой будут созданы операторы *INITIAL*, инициализирующие указанные ячейки текущими значениями соответствующих параметров ТЭБ. В дальнейшем, при создании формы ввода данных, к этим объектам могут быть привязаны соответствующие объекты формы для модификации значений ячеек пользователем-экспериментатором.

На рис. 4 показана вкладка «GPSS модель» рассматриваемого ТЭБ. Как уже отмечалось, модель содержит единственный блок *GENERATE* с вызовом встроенной процедуры *Exponential*. Как видно, при генерации модели в качестве номера генератора ПСЧ будет подставлено непосредственно значение параметра *NumRN*, определенное разработчиком модели, а в качестве остальных параметров процедуры и операнда блока – значения соответствующих ячеек ТЭБ, заданные разработчиком через текущие значения параметров.

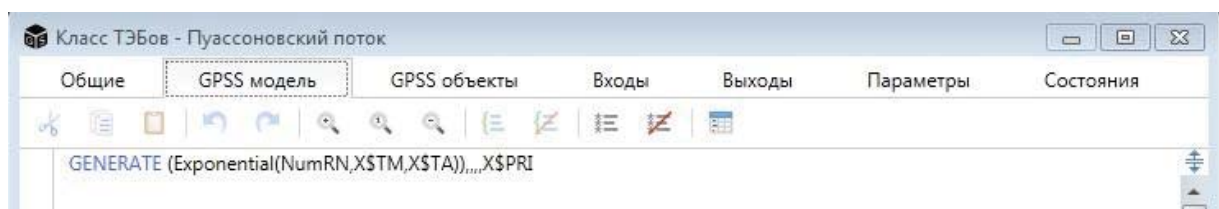


Рис. 4. Вкладка «GPSS модель» окна свойств ТЭБ «Пуассоновский поток»

Приведенные свойства ТЭБ «Пуассоновский поток» демонстрируют выполнение требования 2 (возможность настройки) к ТЭБ библиотеки.

Рассмотрим теперь ТЭБ «Экспоненциальное распределение» категории *RandTime*. Назначением ТЭБ является генерирование случайной временной задержки с экспоненциальным распределением и заданными параметрами, а также запись полученного значения задержки в заданный параметр транзакта. Значение этого параметра в дальнейшем может быть использовано

в ТЭБ из категории *Service*. Как очевидно, GPSS–модель ТЭБ будет содержать единственный блок *ASSIGN*с вызовом процедуры *Exponential*, что определяет перечень параметров ТЭБ.

На рис. 5 приведен вид вкладки «Параметры» ТЭБ. Первые три параметра полностью повторяют соответствующие параметры ТЭБ «Пуассоновский поток». Четвертый параметр – *PName* – служит для указания имени параметра транзакта, в котором будет сохранено значение задержки. Этот параметр имеет тип «Имя или часть имени», и для него отсутствует значение по умолчанию. Разумеется, спецификация данного параметра доступна лишь разработчику модели и производится на этапе разработки структурной схемы.

Тип параметра	Имя в модели	Заголовок	Описание	Пустые значения	Значение по умолчанию
Целое число	NumRn	Номер генератора ПСЧ		Запрещены	1
Вещественное число	TAver	Среднее значение		Запрещены	1000
Вещественное число	TMin	Минимальное значение		Запрещены	0
Имя или часть имени	PName	Имя параметра для сохранения		Запрещены	

Рис. 5. Вкладка «Параметры» окна свойств ТЭБ «Экспоненциальное распределение»

На рис. 6 показана вкладка «GPSS модель» с единственным блоком *ASSIGN*, в поле которого находится параметр *PName*. Использование остальных параметров, а также ячеек *TA*и*TM*, аналогично ТЭБ «Пуассоновский поток».

Рассмотренные свойства ТЭБ «Экспоненциальное распределение» демонстрируют выполнение требований 2 (возможность настройки) и 3 (независимость) к ТЭБ библиотеки.

Рассмотрим, далее, один из ТЭБ категории *Service*: «Модель Эрланга с неограниченным ожиданием». ТЭБ моделирует многоканальную СМО с ожиданием, в которой время обслуживания (задержки) каждого транзакта находится в его параметре с заданным именем. Параметры ТЭБ приведены на рис. 7. Целочисленный параметр *NChan* задает число каналов обслуживания. Параметр *TServ* типа «Имя или часть имени» должен содержать ссылку на параметр транзакта, в котором записано время его задержки в СМО. Следует иметь в виду, что при спецификации параметра *TServ* в структурной схеме его текущее значение необходимо указывать в формате *P\$Name*, где *Name* – имя параметра транзакта.

Рис. 6. Вкладка «GPSS модель» окна свойств ТЭБ «Экспоненциальное распределение»

Тип параметра	Имя в модели	Заголовок	Описание	Пустые значения	Значение по умолчанию
Имя или часть имени	TServ	Ссылка на параметр с временем обслуживания		Запрещены	
Целое число	NChan	Число каналов обслуживания		Запрещены	1

Рис. 7. Вкладка «Параметры» окна свойств ТЭБ «Модель Эрланга с неограниченным ожиданием»

GPSS–объекты ТЭБ перечислены на рис. 8. Объект типа «Память» с именем *MKU* определяет многоканальное устройство (*STORAGE*) СМО. Емкость устройства (количество каналов обслуживания) инициализируется параметром *NChan* и может модифицироваться

пользователем в форме ввода данных. Объект типа «Переменная» с именем *UTIL* приводит коэффициент использования устройства к диапазону от 0 до 1 и может быть использован для мониторинга загрузки устройства.

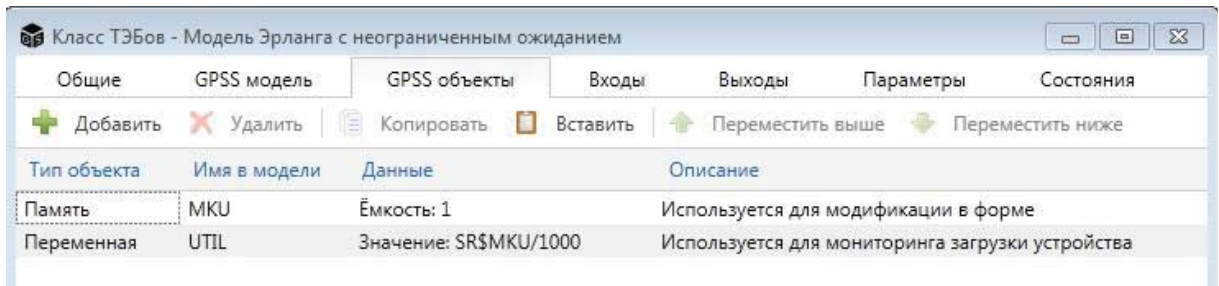


Рис. 8. Вкладка «GPSS объекты» окна свойств ТЭБ «Модель Эрланга с неограниченным ожиданием»

На рис. 9 изображена вкладка с текстом GPSS–модели ТЭБ. Очередь *LINE* служит для сбора статистики о транзактах, ожидающих обслуживания. Очередь *STAY* служит для сбора статистики о транзактах, находящихся в очереди и на обслуживании. Как уже отмечалось, эти объекты включаются в модель ТЭБ на случай потенциальной необходимости мониторинга соответствующих характеристик конкретной модели.

Приведенные свойства ТЭБ «Модель Эрланга с неограниченным ожиданием» демонстрируют выполнение требований 2 (возможность настройки), 3 (независимость) и 4 (обеспечение доступа) к ТЭБ библиотеки.

Рассмотрим, наконец, один из ТЭБ категории *Standard*: «Разветвление с заданной вероятностью». Если все рассмотренные ранее ТЭБ имели по одному входу и выходу (ТЭБ «Пуассоновский поток» – только выход), то данный ТЭБ имеет один вход и два выхода и предназначен для организации разветвления в структурной схеме модели. На рис. 10 показана вкладка «Параметры» окна свойств ТЭБ.

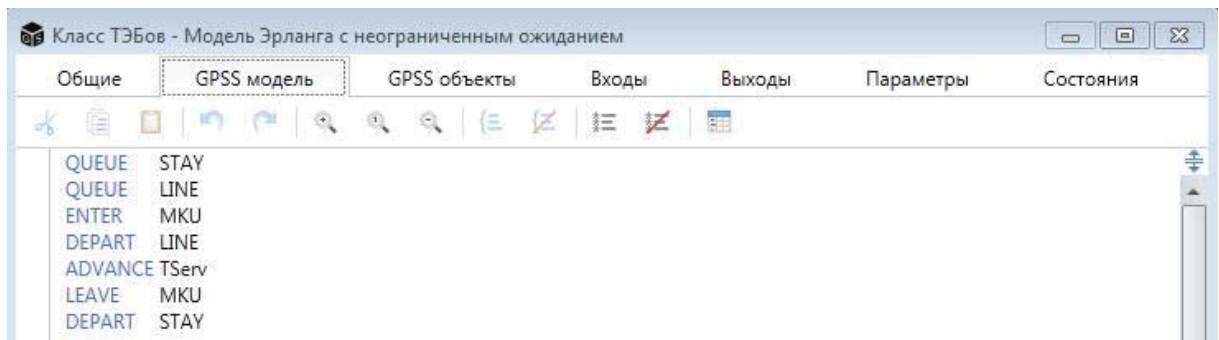


Рис. 9. Вкладка «GPSS модель» окна свойств ТЭБ «Модель Эрланга с неограниченным ожиданием»

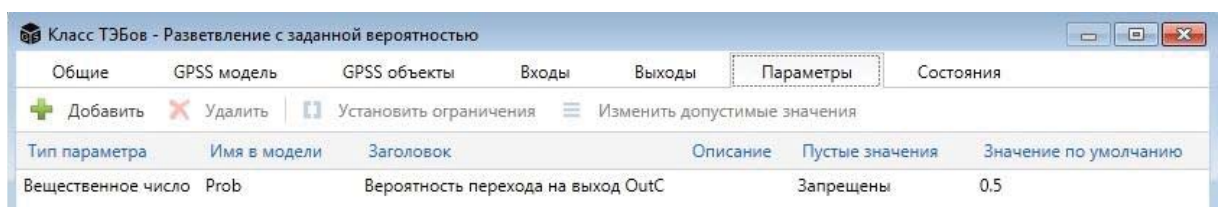


Рис. 10. Вкладка «Параметры» окна свойств ТЭБ «Разветвление с заданной вероятностью»

Как видно, ТЭБ имеет единственный вещественный параметр *Prob*, содержащий вероятность перехода транзакта на выход с именем *OutC*. Спецификация этого параметра должна быть доступна как разработчику модели, так и пользователю-экспериментатору. С этой целью в

ТЭБ включен объект типа «Ячейка SaveValue» с именем *PRB*, инициализируемый значением параметра *Prob* (рис. 11).

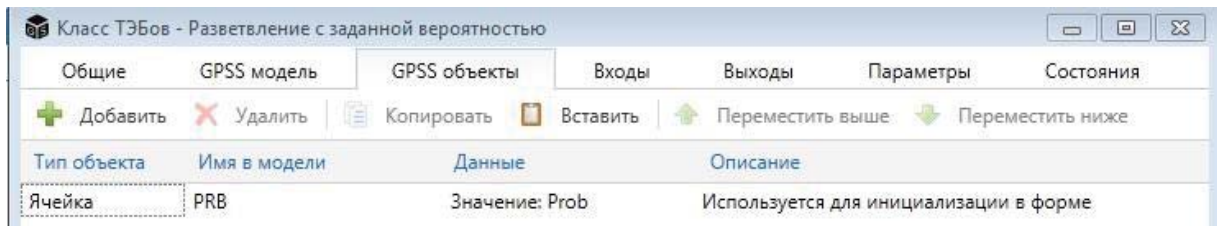


Рис. 11. Вкладка «GPSS объекты» окна свойств ТЭБ «Разветвление с заданной вероятностью»

GPSS-модель ТЭБ (рис. 12) состоит из единственного блока *TRANSFER*, обеспечивающего разветвление с вероятностью, заданной в ячейке *X\$PRB*, и передающем транзакт на один из фиктивных выходов ТЭБ: *OutB* или *OutC*.

Приведенные свойства ТЭБ «Разветвление с заданной вероятностью» демонстрируют выполнение требований 1 (функциональная замкнутость) и 2 (возможность настройки) к ТЭБ библиотеки.

Аналогичным образом организованы ТЭБ всех остальных классов.

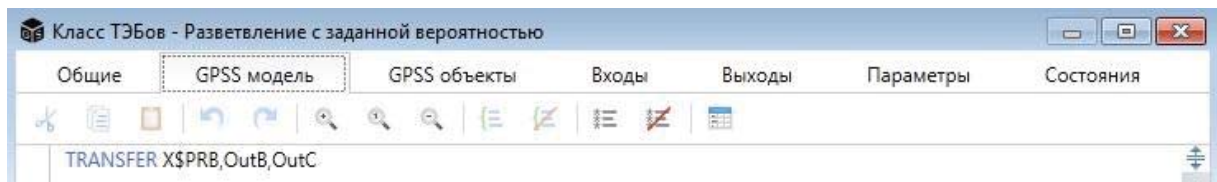


Рис. 12. Вкладка «GPSS модель» окна свойств ТЭБ «Разветвление с заданной вероятностью»

Библиотека *TeleTraffic* была успешно использована для разработки структурных схем двух имитационных моделей: программно–конфигурируемой сети *OpenFlow* [6] и контакт–центра с трехэтапной обработкой вызовов [7].

Выводы

1. Среда моделирования *GPSSSTUDIO* предоставляет разработчикам библиотек типовых решений предметной области удобные и эффективные инструментальные средства создания ТЭБ, их связывания в структурной схеме модели и генерирования текста GPSS–модели на основе разработанной структурной схемы. Однако проработанная технология разработки таких библиотек в настоящее время отсутствует.

2. Предлагаемая авторами технология опирается на ряд основных требований, определяющих структуру библиотеки и универсальные приемы разработки составляющих ее ТЭБ. Она использована при разработке библиотеки типовых решений предметной области «Модели теории телетрафика» и может использоваться применительно к любым другим предметным областям.

3. Практическая значимость работы подтверждается успешным использованием разработанной библиотеки при создании имитационных приложений в указанной предметной области.

Литература

1. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS [Текст] / Т.Дж. Шрайбер. — М.: Машиностроение, 1980,—592 с.
2. Кокс С. Руководство пользователя по GPSSWorld [Текст] / С. Кокс; пер. с англ. К.В. Кудашова, В.В. Девяткова; под общ. ред. В.В. Девяткова. — Казань: Мастер Лайн, 2002.— 384 с.

3. Девятков В.В. Имитационные исследования в среде моделирования GPSSSTUDIO [Текст]: 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.
4. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения [Текст]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. –808 с: ил – (Серия «Теория и практика инфокоммуникаций»).
5. Воробейчиков Л.А. Моделирование систем массового обслуживания в среде GPSSWorld [Текст]: учеб. пособие / Л.А. Воробейчиков, Г.К. Сосновиков. — М.: КУРС, 2019. — 272 с.
6. Потапов Д.В., Степанов С.Н., Воробейчиков Л.А. Разработка модели и алгоритмов оценки взаимодействия контроллера и коммутатора OpenFlow программно–конфигурируемой сети / Сборник трудов XIII Международной отраслевой научно–технической конференции «Технологии информационного общества» (20–21 марта 2019 г., Москва, МТУСИ). М.: ИД Медиа Пабlishер, 2019. Т.1, с. 127–128.
7. Журко А.М., Шишкин М.О., Сосновиков Г.К. Построение математической модели контакт–центра с учетом системы IVR и навыков операторов / Сборник трудов XIII Международной отраслевой научно–технической конференции «Технологии информационного общества» (20–21 марта 2019 г., Москва, МТУСИ). М.: ИД Медиа Пабlishер, 2019. Т.1, с. 113–114.