

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИМИТАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В СРЕДЕ GPSS STUDIO****Г.К. Сосновиков, Л.А. Воробейчиков (Москва)**

В работе «Технология разработки библиотеки типовых решений предметной области в среде GPSS STUDIO» авторами была предложена технология разработки подобных библиотек. Сущность этой технологии была продемонстрирована на примере разработки библиотеки типовых решений *TeleTraffic* в предметной области «Модели теории телетрафика».

Данная работа посвящена использованию созданной библиотеки при разработке имитационных приложений в среде GPSS STUDIO[1]. Это вызвано не только необходимостью проиллюстрировать возможности применения указанной библиотеки. Принципы построения структурных схем GPSS–моделей с использованием библиотечных типовых элементарных блоков (ТЭБ) во многом определяются спецификой разработки этих ТЭБ. Поэтому они нуждаются в пояснениях в рамках общей технологии разработки и использования библиотеки.

Рассмотрим использование библиотеки *TeleTraffic* на примерах разработки двух имитационных приложений.

Модель программно–конфигурируемой сети OpenFlow

Одним из перспективных направлений развития архитектуры сетей передачи данных является технология программно-конфигурируемых сетей (ПКС, англ. *software-defined networking, SDN*). Главным архитектурным принципом ПКС является отделение функций управления сетью от функций передачи данных. Составляющими сети являются контроллер, выполняющий функции управления, и коммутаторы, выполняющие функции передачи данных.

Одним из самых широко используемых протоколов коммуникации между коммутатором и контроллером в ПКС является протокол OpenFlow. В сети, работающей по протоколу OpenFlow, взаимодействие между контроллером и коммутатором происходит следующим образом. Пакет входящего в сеть потока прибывает на входящий порт коммутатора, коммутатор проверяет наличие записей в таблице потоков, соответствующих пакету. Если соответствующая запись найдена, то коммутатор выполняет инструкции, связанные с пакетом, и передает пакет получателю. В том случае, если записи в таблице потоков не найдены, пакет передается контроллеру, который, в свою очередь, определяет путь пакета и добавляет в таблицу потоков соответствующую запись. Все последующие пакеты данного потока направляются по уже рассчитанному пути [2].

На рис. 1 изображена модель ПКС OpenFlow в виде двухузловой сети массового обслуживания. Узлами сети являются одноканальные системы массового обслуживания с неограниченным ожиданием: коммутатор с интенсивностью обслуживания  $\mu_1$  и контроллер с интенсивностью обслуживания  $\mu_c$ . Время обслуживания в узлах имеет экспоненциальное распределение. На вход сети (и узла–коммутатора) поступает пуассоновский поток заявок–пакетов с интенсивностью  $\lambda_1$ .

Заявка, обслуженная в узле–коммутаторе, с вероятностью  $p_c^{nflow}$  (вероятность того, что информации о пакете нет в таблице потоков) переходит в узел–контроллер, а с вероятностью  $1-p_c^{nflow}$  покидает сеть. Заявка, обслуженная в узле–контроллере, возвращается в узел–коммутатор и после повторного обслуживания в этом узле безусловным образом покидает сеть.

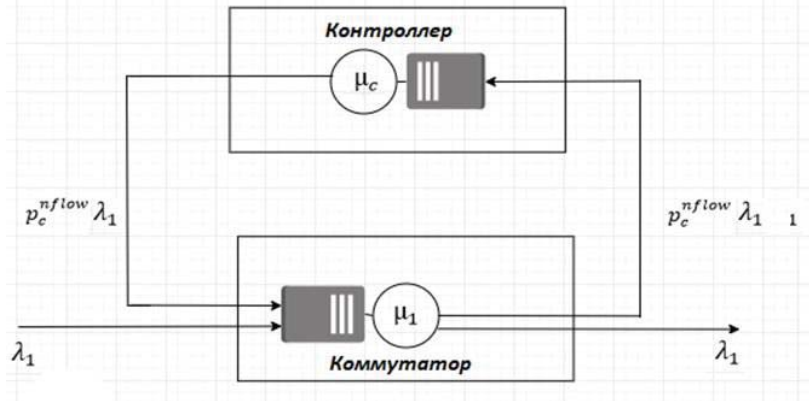


Рис.1. Модель ПКС OpenFlow

Описанная модель отличается от классической открытой сети массового обслуживания (сети Джексона), в которой заявка, обслуженная в узле–коммутаторе, могла бы неоднократно переходить в узел–контроллер с заданной вероятностью. Исследование характеристик этой сети может производиться лишь на имитационной модели. В нашем случае целью имитационного моделирования явилось сопоставление характеристик сети с аналогичными характеристиками, полученными аналитическим методом на сети Джексона с эквивалентной вероятностью перехода заявки из узла–коммутатора в узел–контроллер.

Входными параметрами имитационной модели являются: 1) средний интервал поступления пакетов  $1/\lambda_1$ ; 2) среднее время обработки пакета в коммутаторе  $1/\mu_1$ ; 3) среднее время обработки пакета в контроллере  $1/\mu_c$ ; 4) вероятность обработки в контроллере  $p_c^{nflow}$ .

Исследуемые характеристики сети, заданные пользователем–экспериментатором, представляют собой: 1) среднее время пребывания пакета в сети; 2) загруженность коммутатора; 3) загруженность контроллера.

Непосредственная разработка GPSS–модели ПКС не представляет труда [2], однако нашей задачей является ее автоматическая генерация из структурной схемы модели, созданной с использованием библиотеки *TeleTraffic*.



Рис. 2. Структурная схема модели ПКС OpenFlow

На рис. 2 представлена структурная схема модели ПКС (для удобства ссылок ТЭБ на схеме пронумерованы). Надписи на изображениях ТЭБ отображают логику модели и не связаны с классами ТЭБ. Общую информацию о ТЭБ можно получить наведением на него указателя мыши. Так, на рис. 2 всплывающая подсказка относится к выделенному ТЭБ №8 «Обработка в контроллере».

Связи между ТЭБ полностью соответствуют логике обработки пакетов в ПКС, описанной выше, и устанавливаются стандартным для GPSS STUDIO образом [1]. Нам же важно показать, как организуется взаимодействие ТЭБ путем установки текущих значений их параметров. Отметим попутно, что при работе с библиотечными ТЭБ установка текущих значений параметров – это единственная допустимая операция. Любые другие изменения ТЭБ в структурной схеме приводят к модификации исходных ТЭБ библиотеки: такова логика работы GPSS STUDIO.

Проиллюстрируем установку текущих значений параметров ТЭБ на нескольких примерах.

На рис. 3 показана установка текущих значений параметров на вкладке «Параметры» ТЭБ №1 класса «Пуассоновский поток», генерирующего транзакты через случайные интервалы модельного времени с экспоненциальным распределением и заданным средним значением.

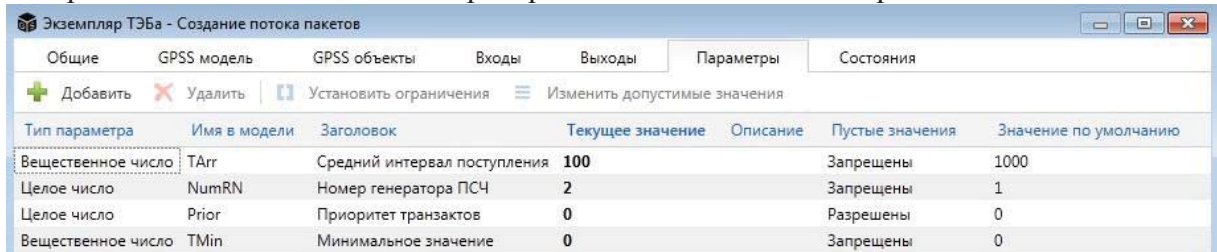


Рис. 3. Установка текущих значений параметров ТЭБ №1 модели ПКС

Текущее значение параметра *NumRN* непосредственно подставится в текст GPSS-модели ТЭБ, текущими значениями параметров *TArr, Prior, TMin* будут проинициализированы сохраняемые величины *TA, PRI* и *TM* (GPSS-объекты ТЭБ). В результате GPSS-модель ТЭБ №1 в сгенерированном тексте модели будет иметь следующий вид (рис. 4):

```
INITIAL X$Poisson1_TA,100 ; Используется для модификации в форме
INITIAL X$Poisson1_PRI,0 ; Используется для модификации в форме
INITIAL X$Poisson1_TM,0 ; Используется для модификации в форме
GENERATE (Exponential(2,X$Poisson1_TM,X$Poisson1_TA)),X$Poisson1_PRI
```

Рис. 4. GPSS-модель ТЭБ №1 модели ПКС

Здесь и далее префиксы вида *Poisson1\_* автоматически генерируются средой для обеспечения уникальности имен GPSS-объектов одного и того же класса.

На рис. 5 показана установка текущих значений параметров на вкладке «Параметры» ТЭБ №3, генерирующего случайную величину с экспоненциальным распределением и заданным средним значением (задержка обработки пакета в коммутаторе) и записывающего ее в заданный параметр транзакта.

Текущее значение первого параметра *NumRN* непосредственно подставится в текст GPSS-модели ТЭБ, текущими значениями второго (*TAver*) и третьего (*TMin*) параметров будут проинициализированы сохраняемые величины *TA* и *TM* (GPSS-объекты ТЭБ), а текущее значение четвертого параметра *PName* будет использовано в качестве имени параметра транзакта для записи случайной задержки. В результате GPSS-модель ТЭБ №3 в сгенерированном тексте модели будет иметь вид, показанный на рис. 6.



Рис. 5. Установка текущих значений параметров ТЭБ №3 модели ПКС

```

INITIAL X$DExpon1_TA,40 ; Используется для модификации в форме
INITIAL X$DExpon1_TM,0 ; Используется для модификации в форме
ASSIGN TS,(Exponential(3,X$DExpon1_TM,X$DExpon1_TA))

```

Рис. 6. GPSS-модель ТЭБ №3 модели ПКС

На рис. 7 показана установка текущих значений параметров на вкладке «Параметры» ТЭБ №4, моделирующего одноканальную систему массового обслуживания с ожиданием (обработка пакета в коммутаторе).

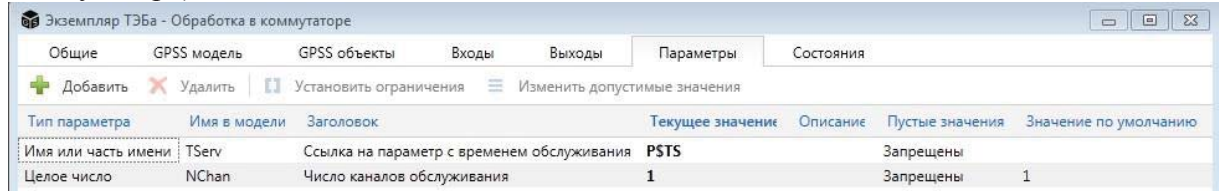


Рис. 7. Установка текущих значений параметров ТЭБ №4 модели ПКС

Время задержки транзакта в системе записано в его параметр *TS*, и поэтому текущее значение соответствующего параметра ТЭБ (*T\$erv*) содержит ссылку на этот параметр (*P\$TS*). В результате GPSS-модель ТЭБ №4 в сгенерированном тексте модели будет иметь следующий вид (рис. 8):

```

ErlangQue1_MKU STORAGE 1
ErlangQue1_UTIL VARIABLE (SR$ErlangQue1_MKU/1000)

ErlangQue1_autoGenerated6_firstBlock
QUEUE ErlangQue1_STATE
QUEUE ErlangQue1_LINE
ENTER ErlangQue1_MKU
DEPART ErlangQue1_LINE
ADVANCE P$TS
LEAVE ErlangQue1_MKU
DEPART ErlangQue1_STATE

```

Рис. 8. GPSS-модель ТЭБ №4 модели ПКС

Аналогичным образом организуется взаимодействие ТЭБ №7 с ТЭБ №8.

ТЭБ №2 и №9 класса «Запись в параметр» (категория *Standard*) записывают в заданный параметр транзакта номер входа в коммутатор. ТЭБ №5 класса «Сравнение СЧА с константой на равенство» той же категории организует разветвление по номеру входа в коммутатор. Взаимодействие этих ТЭБ организовано аналогично рассмотренным ранее парам ТЭБ. Остальные ТЭБ структурной схемы функционируют независимо друг от друга.

После генерации текста модели ее отладка и дальнейшая разработка приложения производится с использованием стандартных средств среды GPSS STUDIO. На рис. 9–10 приведены формы ввода–вывода приложения «Модель простейшей SDN–сети» для экспериментов с имитационной моделью ПКС.



Model of the simplest SDN-network

Ввод данных | Планирование | Моделирование | Результаты

**Входные параметры**

Средний интервал поступления пакетов (мсек) ..... 100

Среднее время обработки в коммутаторе (мсек) ..... 40

Среднее время обработки в контроллере (мсек) ..... 100

Вероятность обработки в контроллере ..... 0,5

Рис. 9. Форма ввода данных приложения «Модель простейшей SDN–сети»

Model of the simplest SDN-network

Ввод данных | Планирование | Моделирование | Результаты

Проведенные исследования:

- Эксперимент №1
- Эксперимент №2
- Эксперимент №3
- Эксперимент №4
- Эксперимент №5
- Эксперимент №6
- Эксперимент №7
- Эксперимент №8
- Эксперимент №9

Сформировать итоговый отчет

Произвести документирование

Анимационный ролик | Динамика показателей | Стандартный отчет

Общая информация | Текст модели | Исходные данные | Ролик динамики

**Результаты моделирования**

Среднее время пребывания пакетов в сети (мсек) ... 250,77

Загруженность коммутатора ..... 0,6

Загруженность контроллера ..... 0,5

Скорость: [Slider] [Play] 13.03.2019 3:45:58

Рис. 10. Форма вывода результатов приложения «Модель простейшей SDN–сети»

### Модель контакт–центра с трехэтапной обработкой вызовов

Анализ существующих алгоритмов обработки вызовов, поступающих в современные контакт-центры (КЦ), позволяет построить математическую модель обработки вызовов в виде трехфазного процесса [3]. Первая фаза включает в себя обработку вызова системой интерактивного речевого ответа (IVR), на второй клиент получает требуемую информацию от специалистов группы операторов, на третью фазу обработки клиент попадает в случае, если требуется консультация по какому-либо специфическому вопросу.

На рис. 11 изображена модель КЦ с трёхэтапной системой обслуживания для случая с одной группой операторов и одной группой консультантов.

На вход модели поступает поток вызовов с интенсивностью  $\lambda$ . Длительности обслуживания вызовов на каждой фазе моделируются случайными величинами, имеющими экспоненциальное распределение с параметрами, соответственно,  $\gamma$ ,  $\mu$ ,  $\mu_1$ .

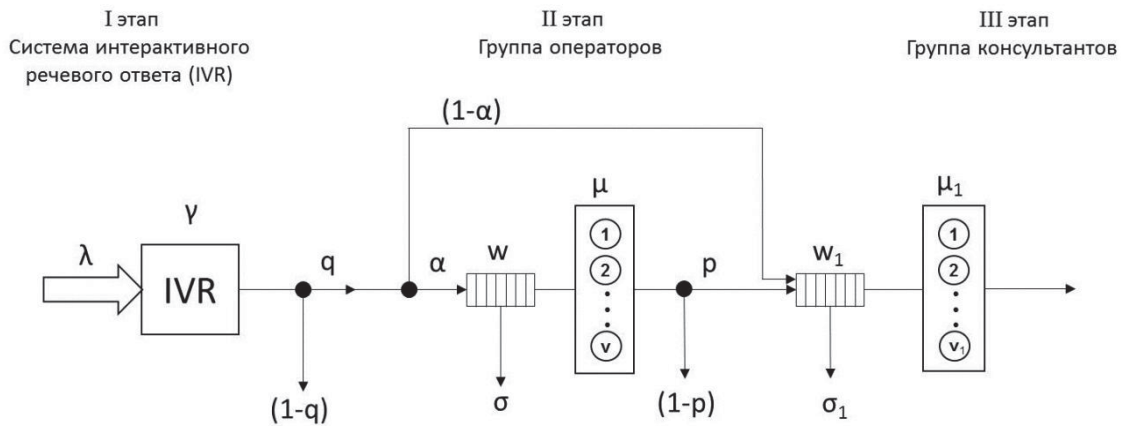


Рис. 11. Модель КЦ с трёхэтапной системой обслуживания

После завершения обслуживания на IVR клиенту может потребоваться дополнительное обслуживание у оператора или консультанта с вероятностью  $q$ . С дополнительной вероятностью  $1-q$  вызов получит требуемое обслуживание на IVR и покинет КЦ. После обслуживания на IVR вызов с вероятностью  $\alpha$  может обслужиться оператором, а с вероятностью  $1-\alpha$  может потребоваться дополнительное обслуживание у консультанта.

Обозначим через  $w$  число мест ожидания обслуживания у операторов, а через  $v$  - число операторов. Время ожидания обслуживания ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение с параметром  $\sigma$ .

После обслуживания вызова у оператора клиенту с вероятностью  $p$  может потребоваться дополнительное обслуживание у консультанта. С дополнительной вероятностью  $1-p$  вызов получит требуемое обслуживание у оператора и покинет КЦ.

Обозначим через  $w_1$  число мест ожидания обслуживания у консультантов, а через  $v_1$  - число консультантов. Время ожидания обслуживания ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение с параметром  $\sigma_1$ .

Отказы в обслуживании могут происходить по двум причинам: из-за превышения времени ожидания в очередях и из-за ограниченных длин очередей. Получив отказ, вызов покидает систему, оставив попытку получить обслуживание.

Исследуемыми характеристиками модели являются доли потерянных вызовов на отдельных этапах обработки и по различным причинам, а также полное время обслуживания вызовов.

Для оценки значений характеристик КЦ предполагается использовать приближенные методы, основанные на декомпозиции модели на отдельные части, соответствующие этапам обслуживания. Целью имитационного моделирования КЦ является сопоставление характеристик сети с аналогичными характеристиками, полученными приближенными методами.

На рис. 12 представлена структурная схема модели КЦ, разработанная в GPSSSTUDIO с использованием библиотеки *TeleTraffic*. Надписи на изображениях ТЭБ отображают логику модели. Связи между ТЭБ организованы в соответствии с описанием модели КЦ, приведенной выше.

Можно заметить, что в структурной схеме модели КЦ используются те же ТЭБ, что и в структурной схеме ПКС (рис. 2): ТЭБ №1 класса «Пуассоновский поток» аналогичен ТЭБ с тем же номером; ТЭБ с номерами 2, 7, 8, 11 и 12 класса «Экспоненциальное распределение», где устанавливаются текущие значения соответствующих параметров транзакта (задержки обработки и ограничения на время ожидания), аналогичны ТЭБ №3 и №7.

Значения параметров транзактов, сгенерированные в ТЭБ класса «Экспоненциальное распределение», используются в ТЭБ №3 класса «Модель с бесконечным числом каналов» и ТЭБ №9 и №13 класса «Модель Эрланга с ограниченной длиной очереди и временем ожидания».

Взаимодействие этих ТЭБ с ТЭБ класса «Экспоненциальное распределение» организовано подобно тому, как это описано в примере с моделью ПКС.

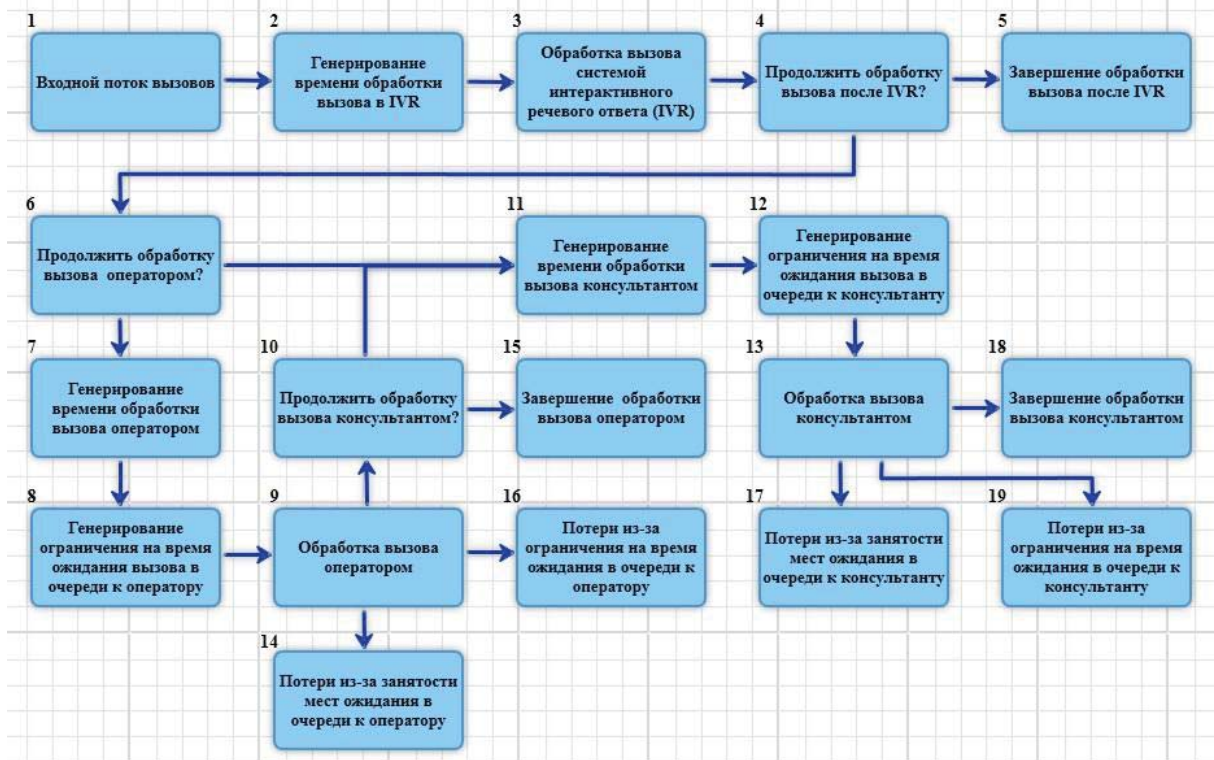


Рис. 12. Структурная схема модели КЦ

Рассмотрим еще один ТЭБ, присутствующий в обеих структурных схемах: ТЭБ класса «Разветвление с заданной вероятностью» категории *Standard* (в структурной схеме на рис. 12 – ТЭБ с номерами 4, 6 и 10). Единственным параметром этого ТЭБ служит значение вероятности *Prob* передачи транзакта на один из выходов ТЭБ. Установка текущего значения этого параметра для ТЭБ №4 показана на рис. 13. Инициализация значением параметра *Prob* сохраняемой величины *PRB* (единственного GPSS-объекта ТЭБ) показана на рис. 14.

В результате в сгенерированном тексте модели значение сохраняемой величины *X\$PRB* будет использовано в качестве операнда Аблока *TRANSFER* в статистическом режиме.

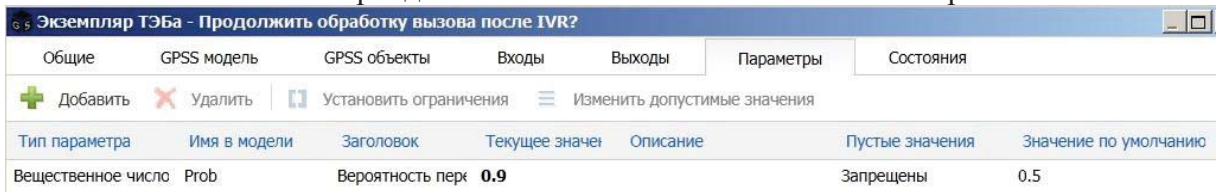


Рис.13. Установка текущего значения параметра ТЭБ №4 модели КЦ

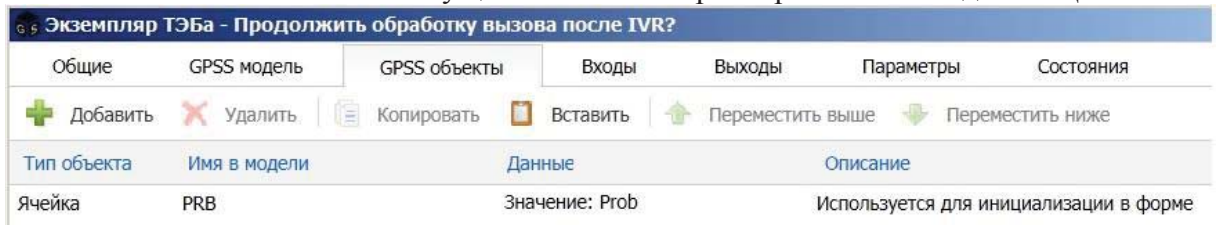


Рис.14. Вкладка «GPSS объекты» ТЭБ №4 модели КЦ

После генерации текста модели ее отладка и дальнейшая разработка приложения производились с использованием стандартных средств среды GPSSSTUDIO. При разработке приложения были сконструированы входная и выходная формы для настройки модели на ее входные параметры и визуализации результатов моделирования.

## Выводы

1. Предложенная технология разработки библиотек типовых решений предметной области в среде GPSSSTUDIO обеспечивает оперативную разработку структурных схем GPSS-моделей различного уровня сложности.

2. Практическая значимость работы подтверждается успешным применением разработанной библиотеки предметной области «Модели теории телетрафика» при создании имитационных приложений, используемых в научной работе аспирантов и преподавателей МТУСИ.

## Литература

1. 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.
2. 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 Паблишер, 2019. Т.1, с. 127–128.
3. 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 Паблишер, 2019. Т.1, с. 113–114.