

## Лабораторная работа №1

### ОБЩЕЕ ЗНАКОМСТВО С РАБОТОЙ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS WORLD

**Цель работы** – изучение общих принципов имитационного моделирования систем и освоение навыков работы в среде GPSS World.

#### 1. Теоретическая часть

##### *1.1. Общие сведения об имитационном моделировании и языке моделирования GPSS*

Большинство современных технических и экономических систем с каждым годом все более и более усложняется. Сложность существующих систем и процессов, как в вычислительной технике, так и в других отраслях техники такова, что описать такие системы математически чаще всего не представляется возможным, а выполнять исследования на реальных объектах дорого или практически невозможно. В таких случаях используют имитационные модели. Имитационная модель представляет собой информационный объект, который по своей структуре подобен моделируемому объекту и реализует алгоритм его работы. Имитационные модели могут применяться для [1]:

- исследования параметров и структур систем с целью решения конкретных проблем;
- определения и анализа критических элементов, компонентов, и режимов в исследуемых системах и процессах;
- синтеза и оценки предполагаемых решений;
- прогнозирования и планирования будущего развития исследуемых систем.

Одной из первых систем, специально предназначенных для имитационного моделирования, была система моделирования GPSS, созданная Джеффри Гордоном в фирме IBM в 1967 г. Из-за своей универсальности и гибкости GPSS с успехом применяется и в настоящее время. В данном курсе лабораторных работ рассматривается язык GPSS, реализованный в пакете GPSS World версии 4 фирмы Minuteman Software.

Модель в GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения) представляет собой программу на специальном языке. GPSS-модель содержит объекты двух видов –

блоки и транзакты. Каждый объект имеет набор свойств, называемых в GPSS стандартными числовыми атрибутами (СЧА).

*Транзакты* – это динамические элементы модели, они соответствуют подвижным элементам, перемещающимся внутри модели от одного блока к другому. Например, транзакты могут моделировать сообщения, передаваемые по сети, запросы к базе данных, обрабатываемые детали, материалы, покупателей в магазине и т.п. Каждый транзакт имеет параметры, в которых могут храниться значения различных характеристик моделируемого объекта.

*Блоки* представляют собой статические объекты модели, например, элементы компьютерных систем, станки и другое оборудование, продавцов в магазине и т.п. Определение того, является ли какой-либо объект статическим или динамическим условно, и определяется сущностью решаемой задачи.

Основными блоками в GPSS являются:

- устройство (facility),
- многоканальное устройство (storage),
- логический ключ (logicswitch),
- очередь (queue),
- матрица (matrix),
- сохраняемое значение (savevalue),
- таблица (table),
- переменная (variable),
- поток данных (data stream).

*Устройство* представляет собой объект, который моделирует выполнение операций над транзактами (обслуживание). При этом в каждом устройстве одновременно может обслуживаться только один транзакт. Обслуживание каждого транзакта продолжается в течение некоторого времени, называемого *временем обслуживания*. Если в устройстве обслуживается транзакт, то другие транзакты, требующие обслуживания ожидают конца обслуживания первого транзакта перед входом устройства.

*Многоканальное устройство* аналогично обычному устройству, но оно способно обслуживать несколько транзактов одновременно. Каждый из транзактов занимает какую-то определенную часть условного ресурса многоканального устройства.

*Логические ключи* используются для моделирования объектов, имеющих два состояния “включен” и “выключен”. Они могут использоваться для управления потоками транзактов.

*Очередь* – это специальный блок, предназначенный для сбора статистики о вынужденном ожидании транзактов. Основными искомыми параметрами при этом являются число транзактов, одновре-

менно находящихся в очереди, и время, которое каждый транзакт находится в очереди.

*Матрица* представляет собой массив значений, в котором хранятся данные, полученные во время моделирования. Максимальная размерность матрицы равна 6.

*Сохраняемые значения* предназначены для сохранения значений, полученных во время моделирования. По выполняемой функции они соответствуют термину “переменная” алгоритмических языков программирования.

*Таблица* предназначена для сбора данных о распределениях времен пребывания транзактов в модели (или определенной части модели).

*Переменная* в GPSS описывает выражение, которое вычисляется при обращении к переменной. В некотором смысле переменная в GPSS соответствует термину “функция” алгоритмических языков программирования.

*Поток данных* – это последовательность строк текста. Они могут использоваться для записи данных в файл и чтения данных из файла.

## 1.2. Пример моделирования на языке моделирования GPSS

Рассмотрим принципы построения имитационных моделей на примере процесса обслуживания клиентов в парикмахерской. Данный пример является одним из демонстрационных примеров, поставляемых вместе с GPSS World.

Каждые  $3 \pm 1$  минуты в парикмахерскую приходит новый посетитель. Если в очереди не более трех человек, то пришедший посетитель остается ждать стрижки, в противном случае – сразу уходит. Парикмахер стрижет одного клиента за  $6 \pm 2$  минуты. После стрижки посетитель покидает парикмахерскую. Нужно определить, распределение времени ожидания посетителя парикмахерской в очереди.

Данный процесс обслуживания клиентов в парикмахерской описывается следующей программой на GPSS:

```
; GPSS World Sample File - BARBER.GPS.
*****
*
*                               Моделирование парикмахерской
*
*****
Waittime  QTABLE      Barber,0,2,15      ;Объявление таблицы для гистограммы
                                           ;распределения времен ожидания
                                           ;клиентов в очереди
          GENERATE     3,1                ;Создание новых посетителей
          TEST LE       Q$Barber,3,Finis   ;Если в очереди больше 3 человек,
                                           ;то клиент покидает парикмахерскую
          SAVEVALUE     Custnum+,1         ;Общее число оставшихся клиентов
```

	ASSIGN	Custnum, X\$Custnum	;Присвоение клиенту номерка
	QUEUE	Barber	;Начало ожидания в очереди
	SEIZE	Barber	;Ожидание парикмахера или
			; начало стрижки
	DEPART	Barber	;Конец ожидания в очереди
	ADVANCE	6, 2	;Стрижка занимает несколько минут
	RELEASE	Barber	;Стрижка завершена
Finis	TERMINATE	1	;Посетитель уходит

Строка, начинающаяся со звездочки, или окончание строки после точки с запятой являются комментариями.

Здесь присутствуют следующие блоки языка GPSS:

Waittime QTABLE Barber, 0, 2, 15 – описание таблицы Waittime для сбора данных о распределении времени ожидания транзактов в очереди Barber;

GENERATE 3, 1 – данный блок моделирует ввод транзактов в модель, что соответствует приходу нового посетителя в парикмахерскую;

TEST LE Q\$Barber, 3, Finis – проверка пришедшим посетителем числа человек в очереди, если она больше трех, то транзакт переходит на метку Finis;

SAVEVALUE Custnum+, 1 – сохранение порядкового номера обслуживаемого клиента;

QUEUE Barber, DEPART Barber – данные блоки моделируют вход транзакта в очередь и выход транзакта из очереди (где Barber – имя очереди), что соответствует ожиданию клиентом начала стрижки;

SEIZE Barber, RELEASE Barber – данные блоки моделируют вход транзакта в устройство и выход транзакта из устройства, что соответствует началу и концу стрижки;

ADVANCE 9, 2 – данный блок моделирует задержку транзакта в устройстве на время стрижки;

TERMINATE 1 – вывод транзакта из модели.

### ***1.3. Основные команды GPSS***

Для запуска и управления моделированием предназначены команды GPSS. Доступ к командам реализуется через меню Command или через диалоговые окна. Рассмотрим основные команды GPSS.

**START A, B.** Запускает моделирование. Операнд A содержит начальное значение счетчика завершения (число транзактов, которые должны быть выведены из модели для завершения моделирования). Если в B задано значение NP, то после моделирования не выводится стандартный отчет.

**HALT.** Завершает моделирование.

**STOP A, B, C.** Задаёт останов моделирования при входе в блок В транзакта с номером А. Если операнд А не задан, то останов производится при входе любого транзакта. При С равном OFF все остановки с условиями А и В отменяются.

**STEP A.** Выполняет А последовательных входов в блоки и возвращается в состояние останова.

**CONTINUE.** Продолжает моделирование после останова.

**CLEAR A.** Сбрасывает статистику о моделировании и удаляет все транзакты из модели. Параметр А может принимать значения ON (по умолчанию) или OFF. Если параметр А равен OFF, то сбрасывается вся статистика кроме значений матриц и сохраняемых значений.

**RESET.** Сбрасывает статистику о моделировании.

#### ***1.4. Стандартный отчет о моделировании***

Полученные при моделировании данные выводятся в виде отчета о моделировании. Он представляет собой текстовый файл, который по умолчанию имеет расширение grp. Отчет о моделировании не выдается, если при компиляции модели или при моделировании произошла ошибка. Так же можно отключить выдачу стандартного отчета, если во втором параметре команды START задать NP.

Содержание стандартного отчета можно настраивать при помощи пункта меню Edit/Settings и открыв страницу Reports. Стандартный отчет можно редактировать.

В стандартный отчет могут быть помещены любые данные путем их записи в сохраняемых значениях.

Перечислим основные элементы отчета.

**Заголовок.** Содержит имя файла модели, а так же дату и время моделирования.

**Общая информация.** Содержит следующие данные:

- **START TIME.** Модельное время, при котором начался сбор информации о моделировании. Данный момент времени соответствует модельному времени в моменты вызова команд CLEAR или RESET, или времени трансляции программы, если данные команды не вызывались. В дальнейшем для данной величины будем использовать термин “начало моделирования”.
- **END TIME.** Модельное время в момент окончания моделирования.
- **BLOCKS.** Число блоков в модели в момент окончания моделирования.
- **FACILITIES.** Число устройств в модели в момент окончания моделирования.

- **STORAGES.** Число многоканальных устройств в момент окончания моделирования.

**Имена (Names).** Содержит список имен (Name) и соответствующих им значений (Value), которые заданы пользователем или заданы системой автоматически. Имена, заданные системой, начинаются с 10000.

**Блоки (Bloks).** Содержат следующие данные для каждого из блоков модели:

- **LABEL.** Метка блока, если она задана.
- **LOC.** Порядковый номер блока в модели.
- **BLOCK TYPE.** Тип блока.
- **ENTRY COUNT.** Число транзактов, которые вошли в блок с момента начала моделирования.
- **CURRENT COUNT.** Число транзактов, находящихся в данном блоке в момент окончания моделирования.
- **RETRY.** Число транзактов, ожидающих выполнения условия, зависящего от состояния данного блока.

**Устройства (Facilities).** Содержит следующие основные данные для устройств модели:

- **FACILITY.** Имя или номер устройства.
- **ENTRIES.** Число транзактов, занимавших устройство с начала моделирования.
- **UTIL.** Коэффициент использования (доля времени, которое устройство было занято).
- **AVE. TIME.** Среднее время обслуживания транзакта в устройстве.

**Очереди (Queues).** Содержит следующие основные данные для устройств модели:

- **QUEUE.** Имя или номер очереди.
- **MAX.** Максимальная длина очереди за период моделирования.
- **CONT.** Текущая длина очереди на момент окончания моделирования.
- **ENTRY.** Число транзактов, вошедших в очередь за время моделирования.
- **ENTRY(0).** Число “нулевых входов”. Число транзактов, прошедших через очередь и имеющих нулевое время ожидания.
- **AVE.CONT.** Усредненное по времени значение длины очереди.
- **AVE.TIME.** Среднее время ожидания транзакта в очереди.

- AVE.(-0). Среднее время ожидания транзакта в очереди без учета “нулевых входов”.

**Многоканальные устройства (Storages).** Содержат следующие основные данные для многоканальных устройств модели:

- STORAGE. Имя или номер многоканального устройства.
- CAP. Число каналов обслуживания, заданное при определении многоканального устройства.
- REM. Число свободных каналов обслуживания на момент окончания моделирования.
- MIN. Минимальное число занятых каналов за время моделирования.
- MAX. Максимальное число занятых каналов за время моделирования.
- ENTRIES. Общее число входов транзактов за время моделирования. При входе транзакта в многоканальное устройство счетчик входов увеличивается не на единицу, а на число занимаемых каналов обслуживания.
- AVE.C. Усредненное по времени значение числа занятых каналов.
- UTIL. Коэффициент использования многоканального устройства.

**Таблицы (Tables).** Содержит следующие основные данные для таблиц модели:

- TABLE. Имя или номер таблицы.
- MEAN. Математическое ожидание табулируемой величины.
- STD.DEV. Среднеквадратическое отклонение табулируемой величины.
- RANGE. Нижняя и верхняя граница диапазона табулируемой величины.
- FREQUENCY. Число попаданий значений табулируемой величины в диапазон RANGE.
- CUM.% Частота попадания значений табулируемой величины в диапазон RANGE, выраженная в процентах.

**Сохраняемые значения (Savevalues).** Содержит следующие основные данные о сохраняемых значениях:

- SAVEVALUE. Имя или номер сохраняемого значения.
- VALUE. Собственно значение.

## 2. Практическая часть. Выполнение моделирования в среде GPSS World

1. Запустите среду GPSS World. Для этого в меню кнопки “Пуск” выберите подменю “Все программы” (“Программы”) и выберите пункт “GPSS World student version”.

2. Создайте новый файл модели и наберите программу из примера. Для этого выберите пункт меню “File/New”, в появившемся окне выберите “Model” и нажмите кнопку “OK”. Вид окна программы GPSS World после ввода модели показан на рис. 2.

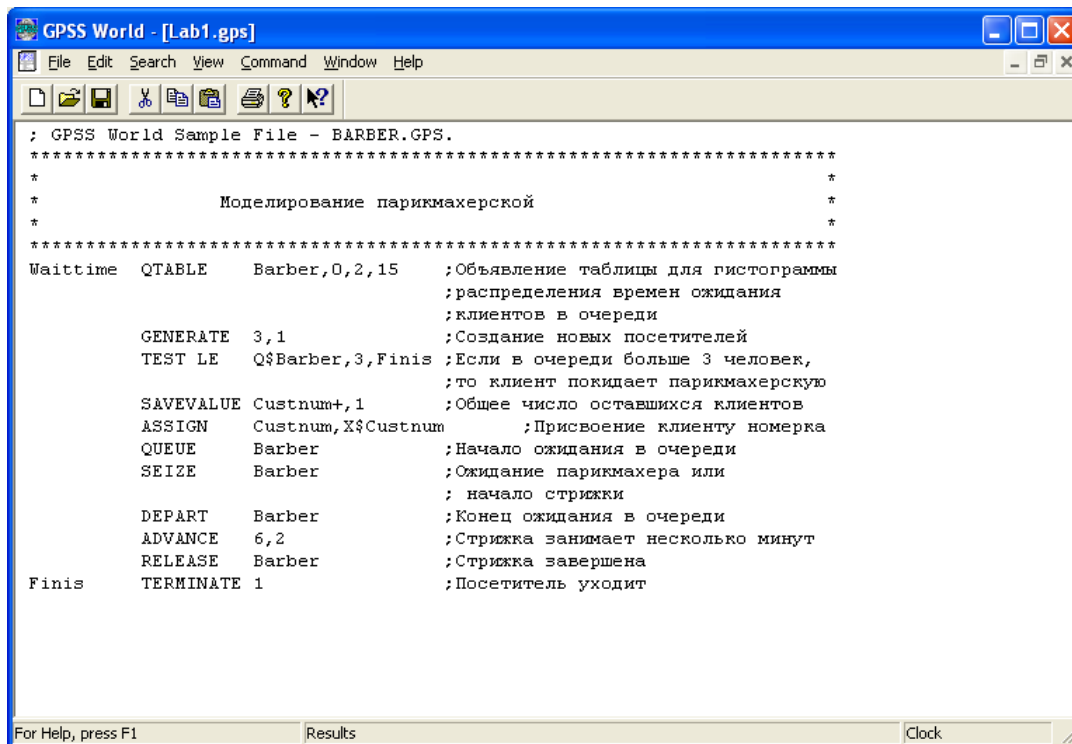


Рис. 2. Вид окна программы GPSS World

3. Откомпилируйте программу. Для этого выберите пункт меню “Command/Create simulation”. Эту операцию нужно выполнять после каждого изменения модели перед запуском моделирования.

4. Откройте окно просмотра состояний очередей, выбрав пункт меню “Windows/Simulation Window/Queues window”.

5. Откройте окно просмотра графиков, выбрав пункт меню “Windows/Simulation Window/Plot window...”. В появившемся окне “Edit Plot Window” введите следующие данные (рис. 3): в поле ввода “Label” (название графика) введите “Число клиентов в очереди”; в поле ввода “Expression” введите “Q\$Barber” (выражение, означаю-



щее текущее число транзактов в очереди Barber); в поле ввода “Max Value” введите значение 5 (здание масштаба графика). Нажмите кнопку “Plot” в верхней части окна. Нажмите кнопку “OK”.

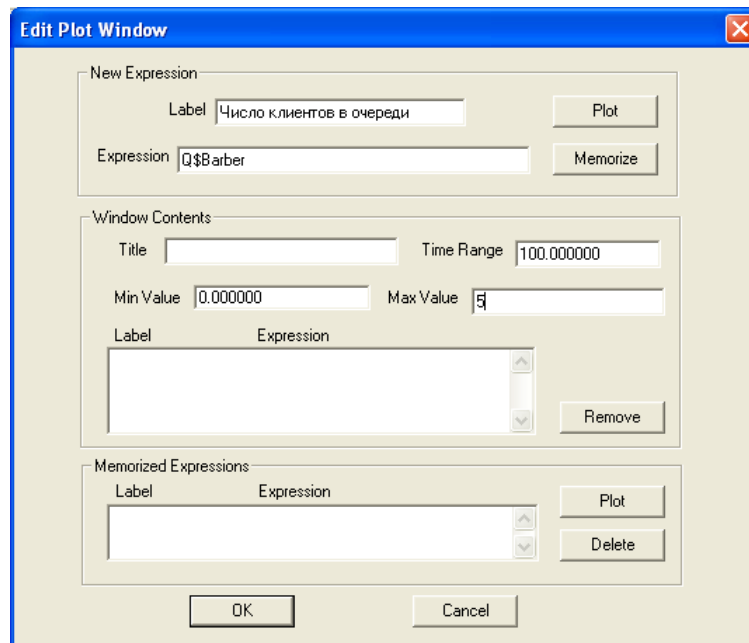


Рис. 3. Задание параметров отображения графика

6. Разверните окно программы GPSS World на полный экран. Выберите пункт меню “Window/Tile”.

7. Для запуска моделирования выберите пункт меню “Command/START”. В появившемся окне введите “START 1000” и нажмите кнопку “OK”. При этом запустится моделирование обработки 1000 транзактов. Окно GPSS World при этом примет вид, показанный на рис. 4.

Во время моделирования в окне “QUEUE ENTITIES” отображается информация о текущем состоянии очередей модели. В данном случае присутствует только одна очередь – “BARBER”. В таблице отображаются следующие параметры:

Current Content – число транзактов, находящихся в очереди в данный момент,

Entry Count – число транзактов, вошедших в очередь с момента начала моделирования,

Zero Entry Count – число транзактов, которые не ожидали в очереди, сразу поступая на ее выход,

Maximum Content – максимальное число транзактов, одновременно находящихся в очереди,

Average Content – среднее число транзактов, находящихся в очереди, и т.д.

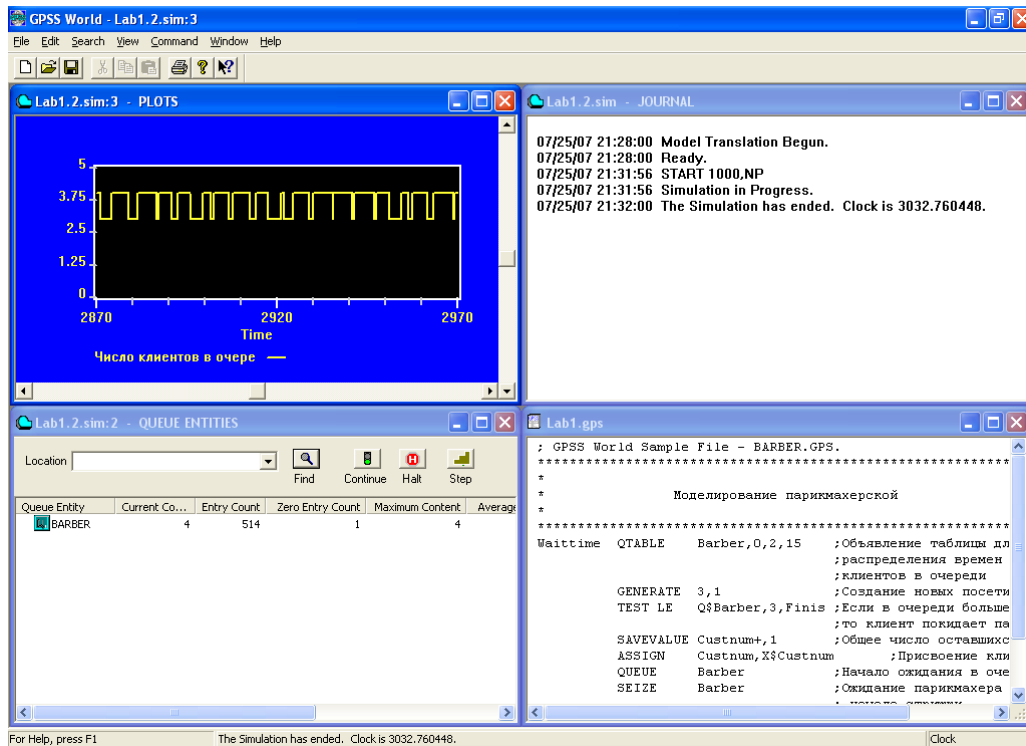


Рис. 4. Окно программы GPSS World во время моделирования

В окне “PLOTS” отображается график изменения числа транзактов в очереди. Это позволяет проследить динамику изменения данного параметра. Выявить моменты перегрузок и т.п.

После завершения моделирования в окне “JOURNAL” появится надпись “The simulation has ended” (Моделирование окончено). На экране появится окно стандартного отчета о моделировании, показанное на рис. 5.

8. Изучите отчет о моделировании. Рассмотрите данные, содержащиеся в основных разделах отчета.

9. Изучите полученное распределение времени ожидания клиентов в очереди. Для этого выберите пункт меню “Window\Simulation Window\Table window”. В появившемся окне “Open Table Window” выберите “WAITTIME” и нажмите “OK”. На экране появится окно отображения таблиц, содержащее гистограмму распределения, математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение времени ожидания в очереди BARBER, сохраненные в таблице WAITTIME (рис. 6).

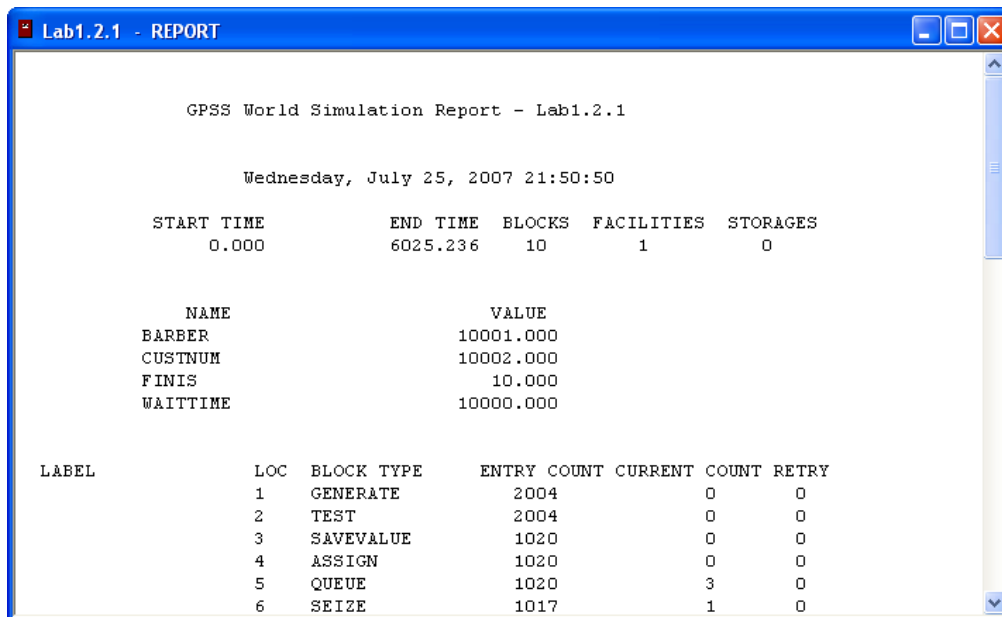


Рис. 5. Окно стандартного отчета о моделировании

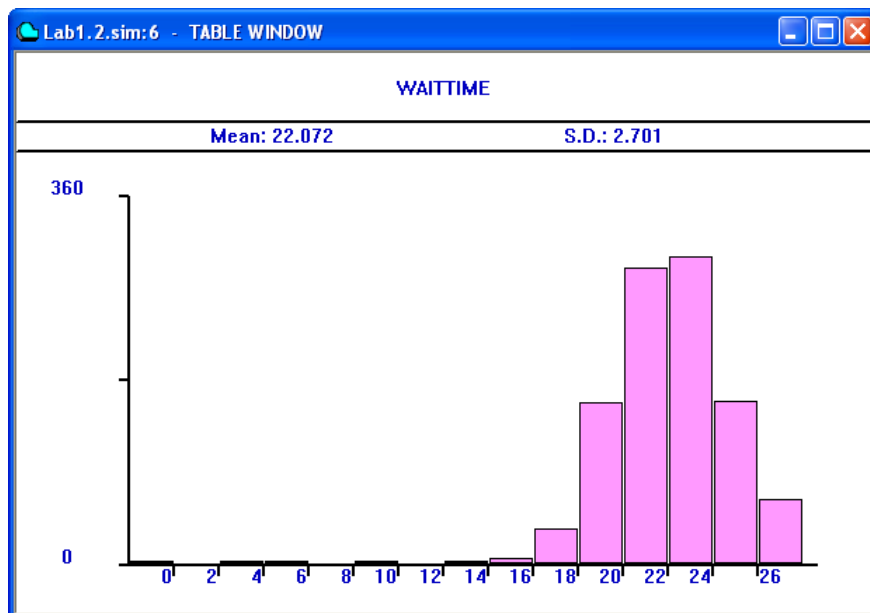


Рис. 6. Окно отображения таблиц

10. Перейдем к пошаговому моделированию. Очистите данные от предыдущего моделирования. Для этого выберите пункт меню “Command/CLEAR”.

11. Выберите пункт меню “Window\Simulation Window\Blocks window”. На экране появиться окно блоков, показанное на рис. 7.

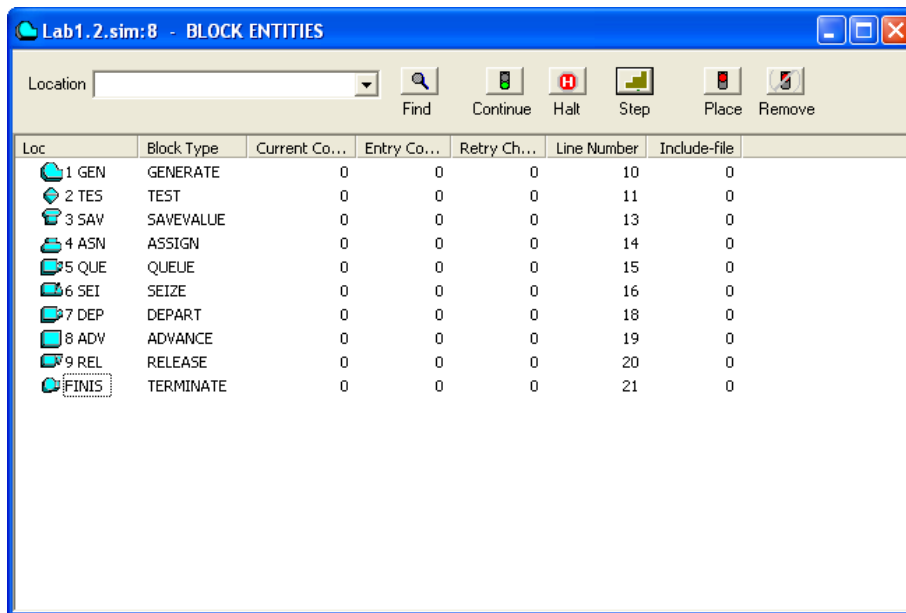


Рис. 7. Окно блоков

11. Добавьте условие останова моделирования по входу транзакта в блок ADVANCE (в окне блоков видно, что он имеет номер 8). Специального пункта меню для выполнения команды STOP в GPSS World нет. Поэтому выберите пункт меню “Command/Custom...”. В появившемся окне “Simulation Command” введите “STOP 0,8,” и нажмите кнопку “OK” (рис. 8).

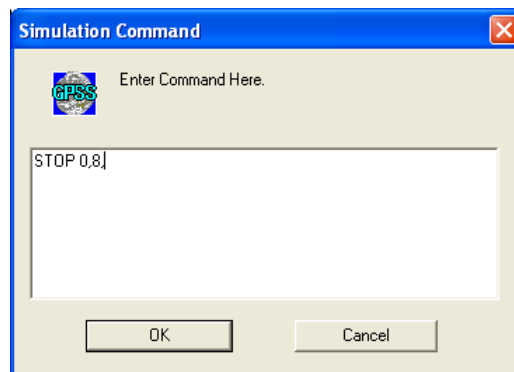


Рис. 8. Окно ввода произвольных команд

К сожалению, непосредственно в окне блоков пользовательские остановки не отображаются. Однако можно просмотреть список условий останова в окне “Stop Conditions”, показанном на рис. 9. Для этого выберите пункт меню “Window/Simulation Snapshot/User stops”. В этом окне так же можно удалить все или некоторые определенные ранее условия останова.

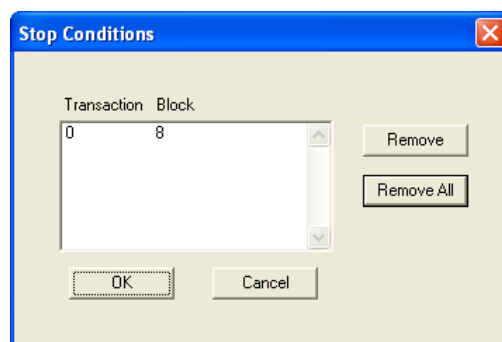


Рис. 9. Окно условий останова

12. Запустите моделирование, выполнив команду “START 1000”. Моделирование будет остановлено перед входом первого транзакта в блок ADVANCE. Выполните несколько шагов моделирования, нажимая на кнопку “Step” окна блоков (не менее 20 шагов). Изучите движение транзактов в модели.

13. Откройте окно условий останова и удалите все условия останова. Возобновите моделирование, нажав кнопку “Continue” в окне блоков. Наблюдайте за ходом моделирования до его окончания.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Изучите теоретический материал согласно п. 1.
2. Выполните моделирование примера согласно п. 2.
3. Сформулируйте выводы по работе и ответьте на контрольные вопросы.

### 4. Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Основные теоретические сведения: понятие транзакта, блока, описание основных типов блоков в GPSS, основные команды GPSS.
4. Программа-пример на языке GPSS.
5. Результаты моделирования: основные данные отчета о моделировании и гистограмма распределения времени ожидания.
6. Выводы по работе.

### 5. Контрольные вопросы

1. Что такое имитационная модель? В каких случаях обычно используют методы имитационного моделирования?

2. Что представляет собой модель на GPSS? Что такое транзакт? Что такое блок в GPSS?
3. Опишите основные типы блоков GPSS: устройство, многоканальное устройство, логический ключ, очередь.
4. Опишите основные типы блоков GPSS: матрица, сохраняемое значение, таблица, переменная, поток данных.
5. Опишите основные команды GPSS.
6. Что содержит стандартный отчет GPSS? Содержание основных разделов отчета.

### **Библиографический список**

1. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 646 с., ил.
2. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
3. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с., ил.
4. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб. Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с., ил.