

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА GPSS WORLD

.....

- Соответствие государственному образовательному стандарту
- Основы построения и принципы функционирования русифицированной системы моделирования GPSS World
- Методы построения моделей с применением инструментальных средств GPSS World
- Описание и использование языка *Plus* для автоматизации цикла исследований
- Приемы разработки, отладки и эксплуатации моделей
- Оригинальные авторские примеры и модели из различных предметных областей

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2
Б72

Боев В. Д.
Б72 Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World:
Учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 368 с.: ил.

ISBN 5-94157-515-7

В учебном пособии рассматриваются основы построения и принципы функционирования общецелевой системы моделирования GPSS World. На многочисленных примерах раскрываются методы построения имитационных моделей с применением инструментальных средств GPSS World. Значительное внимание уделяется особенностям использования языка GPSS и языка Plus для моделирования сложных систем. Описываются методы проведения экспериментов с моделями и принятия по их результатам решений.

В приложениях в систематизированном виде приводятся дополнительные справочные материалы, необходимые для построения блок-диаграмм, написания и отладки программ моделей на современных ПЭВМ.

*Учебное пособие предназначено для студентов,
курсантов военных учебных заведений, научных работников,
а также всех тех, кто занимается вопросами
моделирования систем различного назначения
и кого интересуют современные информационные технологии*

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2

Группа подготовки издания:

Главный редактор	Екатерина Кондукова
Зам. главного редактора	Людмила Еремеевская
Зав. редакцией	Григорий Добин
Компьютерная верстка	Дмитрия Боева
Корректор	Зинаида Дмитриева
Дизайн обложки	Игоря Цырульникова
Зав. производством	Николай Тверских

Рецензенты:

К. В. Кумунжиев, заведующий кафедрой «Информационных технологий и систем» Ульяновского государственного университета, доктор технических наук, профессор; А. П. Бочков, профессор кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, доцент; В. А. Кежаев, начальник кафедры управления войсками Военного артиллерийского университета, доктор технических наук, профессор

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 01.06.04.

Формат 70×100^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 29,67.

Тираж 3000 экз. Заказ №

"БХВ-Петербург", 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Гигиеническое заключение на продукцию, товар № 77.99.02.953.Д.001537.03.02
от 13.03.2002 г. выдано Департаментом ГСЭН Минздрава России.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП «Типография «Наука»
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12.

ISBN 5-94157-515-7

© Боев В. Д., 2004

© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2004

Содержание

Введение	1
1. Основы построения языка имитационного моделирования	4
1.1. Объекты системы моделирования GPSS World	4
1.2. Объекты языка имитационного моделирования	5
1.3. Порядок представления моделей в виде блок-диаграмм	11
1.4. Структура модели на языке GPSS	15
1.5. Объекты вычислительной категории	19
1.5.1. Константы	19
1.5.2. Системные числовые атрибуты	19
1.5.3. Арифметические, условные и логические операторы	21
1.5.4. Библиотечные математические функции	22
1.5.5. Библиотечные генераторы случайных чисел	22
1.5.6. Переменные пользователя	26
1.5.7. Выражения в операторах GPSS	27
1.5.8. Сохраняемые ячейки	27
1.5.9. Матрицы сохраняемых ячеек	29
1.5.10. Арифметические переменные и арифметические выражения	32
1.5.11. Булевы переменные	34
2. Построение моделей с одноканальными устройствами, функционирующими в режиме занятия и освобождения устройства	37
2.1. Организация поступления транзактов в модель и удаления транзактов из нее	38
2.1.1. Поступление транзактов в модель	38
2.1.2. Удаление транзактов из модели и завершение моделирования	41
2.2. Изменение значений параметров транзактов	43
2.2.1. Блок ASSIGN	43
2.2.2. Блок PLUS	44
2.2.3. Блок INDEX	44
2.2.4. Блок MARK	45
2.3. Занятие одноканального устройства и его освобождение	45
2.4. Имитация обслуживания посредством задержки во времени	47

2.5. Проверка состояния одноканального устройства	49
2.5.1. Проверка состояния одноканального устройства блоком GATE	49
2.5.2. Проверка состояния булевой переменной и блоком TEST	50
2.6. Методы сбора статистики в имитационной модели	53
2.6.1. Регистратор очереди	53
2.6.2. Статистические таблицы	56
2.7. Методы изменения маршрутов движения транзактов в модели	57
2.7.1. Блок TRANSFER	58
2.7.1.1. Режим безусловной передачи	58
2.7.1.2. Режим статистической передачи	59
2.7.1.3. Режим BOTH	60
2.7.1.4. Режим ALL	61
2.7.1.5. Режим PICK	63
2.7.1.6. Функциональный режим	65
2.7.1.7. Параметрический режим	65
2.7.1.8. Подпрограммный режим	66
2.7.1.9. Одновременный режим	66
2.7.2. Блок LOOP	67
2.7.3. Блок DISPLACE	70
2.8. Примеры построения моделей с одноканальным устройством обслуживания	74
3. Разработка и эксплуатация моделей в GPSS World	80
3.1. Создание объекта «Модель»	80
3.1.1. Запуск GPSS World	80
3.1.2. Ввод операторов модели	82
3.2. Создание объекта «Процесс моделирования»	87
3.3. Команды GPSS World	91
3.3.1. Интерактивные операторы	91
3.3.2. Команды определения объектов GPSS	92
3.3.3. Команды управления процессом моделирования	92
3.3.3.1. Команда CLEAR	93
3.3.3.2. Команда CONDUCT	93
3.3.3.3. Команда CONTINUE	94
3.3.3.4. Команда EXIT	94
3.3.3.5. Команда HALT	95
3.3.3.6. Команда INCLUDE	95
3.3.3.7. Команда REPORT	95
3.3.3.8. Команда RESET	96
3.3.3.9. Команда SHOW	97
3.3.3.10. Команда STEP	98
3.3.3.11. Команда STOP	98

3.4. Окна GPSS World	99
3.5. Отладка моделей	100
3.6. Отчеты	111
4. Построение моделей систем с одноканальными устройствами, функционирующими в режимах прерывания и недоступности	115
4.1. Прерывание одноканального устройства	115
4.1.1. Прерывание в приоритетном режиме	116
4.1.2. Прерывание в режиме «захвата»	121
4.1.3. Проверка состояния одноканального устройства, функционирующего в приоритетном режиме	126
4.2. Недоступность одноканального устройства	132
4.2.1. Перевод в недоступное состояние и восстановление доступности	132
4.2.2. Проверка состояний недоступности и доступности одноканального устройства	134
4.3. Сокращение машинного времени и изменение дисциплин обслуживания методом применения списков пользователя	136
4.3.1. Ввод транзактов в список пользователя в безусловном режиме	136
4.3.2. Вывод транзактов из списка пользователя	138
4.3.3. Ввод транзактов в список пользователя в условном режиме	144
4.4. Примеры построения моделей систем с одноканальными устройствами, функционирующими в различных режимах	146
5. Построение моделей систем с многоканальными устройствами и переключателями	158
5.1. Занятие многоканального устройства и его освобождение ...	158
5.2. Перевод многоканального устройства в недоступное состояние и восстановление доступности	160
5.3. Проверка состояния многоканального устройства	163
5.3.1. Проверка состояния блоком GATE	163
5.3.2. Проверка состояния булевой переменной и блоком TEST	165
5.4. Моделирование неисправностей многоканальных устройств	169
5.5. Моделирование переключателей	178
5.5.1. Проверка состояния логического ключа блоком GATE	178
5.5.2. Проверка состояния логического ключа блоком TEST и булевой переменной	180
5.6. Примеры построения моделей систем с многоканальным устройством обслуживания	183

6. Методы применения функций в имитационных моделях ..	188
6.1. Генераторы псевдослучайных чисел	188
6.2. Типы функций	189
6.3. Методы розыгрыша псевдослучайных чисел для дискретных равномерных распределений	190
6.4. Методы розыгрыша псевдослучайных чисел для дискретных неравномерных распределений	193
6.5. Процедура розыгрыша псевдослучайных чисел при непрерывном равномерном распределении	196
6.6. Методы розыгрыша псевдослучайных чисел для непрерывных неравномерных распределений	198
6.6.1. Моделирование экспоненциального распределения	199
6.6.2. Моделирование нормального распределения	201
6.7. Функции типа E, L и M	204
6.8. Примеры построения моделей с использованием функций ...	205
7. Особенности применения GPSS для моделирования сложных систем	212
7.1. Применение в моделях блоков создания копий транзактов ...	212
7.2. Организация в моделях синхронизации движения транзактов	214
7.2.1. Блок ASSEMBLE	214
7.2.2. Блок GATHER	217
7.2.3. Блок MATCH	219
7.3. Уменьшение числа объектов в модели методом косвенной адресации	222
7.4. Обработка одновременных событий	227
7.5. Методы построения моделей с рациональными вариантами обслуживания	234
7.5.1. Блок COUNT	234
7.5.2. Блок SELECT	236
7.6. Организация прогонов при изменении версий модели	248
7.7. Применение текстовых объектов и потоков данных	255
7.7.1. Блок OPEN	255
7.7.2. Блок CLOSE	256
7.7.3. Блок READ	257
7.7.4. Блок WRITE	258
7.7.5. Блок SEEK	259
7.7.6. Пример применения текстовых объектов и потоков данных	259

7.8. Непрерывное моделирование	266
7.8.1. Команда INTEGRATE	266
7.8.2. Блок INTEGRATION	267
7.8.3. Фазы моделирования и ошибки интегрирования	268
7.8.4. Пример непрерывного моделирования	268
8. Язык PLUS	272
8.1. Алфавит	272
8.2. Имена	272
8.3. Выражения	273
8.4. Plus-операторы	275
8.5. Библиотека процедур	277
8.6. Подготовка текстовых объектов	282
8.7. Реализация собственного метода интегрирования	286
8.8. Отладка Plus-процедур	288
9. Эксперименты с имитационными моделями	291
9.1. Основные понятия теории планирования экспериментов	291
9.1.1. Необходимость планирования экспериментов	291
9.1.2. Стратегическое планирование эксперимента	293
9.1.3. Тактическое планирование эксперимента	295
9.2. Дисперсионный анализ (отсеивающий эксперимент)	297
9.3. Эксперименты пользователя	310
9.4. Регрессионный анализ (оптимизирующий эксперимент)	318
Список литературы	322
Приложение 1	324
Приложение 2	332
Приложение 3	336
Приложение 4	342
Элементы стандартного отчета	342
1. Общая информация о результатах работы модели	342
2. Информация об именах	342
3. Информация о блоках	343
4. Информация об объектах типа «устройство»	344
5. Информация об объектах типа «очередь»	344
6. Информация об объектах типа «многоканальное устройство»	345

7. Информация о таблицах	345
8. Информация о списках пользователя	346
9. Информация о группах транзактов	346
10. Информация о числовых группах	347
11. Информация о логических переключателях	347
12. Информация о сохраняемых величинах (ячейках)	347
13. Информация о матрицах	347
14. Информация о списках текущих и будущих событий	348

2. Построение моделей с одноканальными устройствами, функционирующими в режиме занятия и освобождения устройства

Для представления собственно обслуживания используются определенные элементы. Такими элементами могут быть либо люди, либо какие-то предметы. Независимо от этого подобные элементы в GPSS называют объектами аппаратной категории, к которой относят одноканальные (ОКУ) и многоканальные устройства (МКУ) и логические ключи (переключатели).

ОКУ характеризуются двумя основными свойствами:

- каждое ОКУ в любой момент времени может обслужить только один транзакт; если в процессе обслуживания появляется новый транзакт, он должен либо подождать своей очереди обслуживания, либо пойти куда-нибудь в другое место, либо, если он имеет более высокий приоритет, прервать протекающее обслуживание до его завершения;
- когда на ОКУ поступает транзакт, в модели надо пропустить время, необходимое для его обслуживания.

Поскольку ОКУ в модели может быть много, для различия им дают символические имена. Имена образуются так же, как и имена блоков.

При моделировании возможны следующие режимы организации функционирования ОКУ:

- занятие ОКУ и его освобождение;
- прерывание обслуживания ОКУ;
- недоступность ОКУ и восстановление доступности.

В данной главе мы рассмотрим режим занятия ОКУ и его освобождения. Основные режимы работы ОКУ будут изложены в главе 4.

Прежде чем сразу рассматривать блоки, моделирующие ОКУ, вспомним, что потоки, существующие в реальных системах, в моделях имитируют транзакты. Поэтому сначала узнаем, как вводятся транзакты в модель и как выводятся из нее. А так как построение самых простейших моделей невозможно без некоторых блоков GPSS, такие блоки будут также рассмотрены в данной главе.

2.1. Организация поступления транзактов в модель и удаления транзактов из нее

2.1.1. Поступление транзактов в модель

GENERATE — это блок, через который транзакты входят в модель. Блок GENERATE имеет следующий формат записи:

GENERATE [A], [B], [C], [D], [E]

Скобки [] означают, что данный операнд является необязательным. Не существует ограничений на число различных блоков GENERATE в одной модели.

Интервалы времени между последовательными появлениями транзактов блока GENERATE называют интервалом поступления. Все разработчики должны задавать спецификацию распределения интервалов времени поступления в блоке GENERATE. Информация, необходимая для этого, задается операндами A и B. Все возможные виды распределения интервалов времени поступления в GPSS делят на *равномерно распределенные* и все *другие виды распределения*.

Операнд A — средний интервал времени между последовательными поступлениями транзактов в модель.

Операнд B — задает модификатор, который изменяет значения интервала генерации транзактов по сравнению с интервалом, указанным операндом A. Есть два типа модификаторов: модификатор-интервал и модификатор-функция.

С помощью *модификатора-интервала* задается *равномерный закон* распределения времени между генерацией транзактов.

Операнды A и B могут быть именем, положительным числом, выражением в скобках или непосредственно СЧА. Перечень блоков GPSS, их операндов и возможных значений операндов приведены в приложении 3.

При вычислении разности значений ($A-B$), заданных операндами A и B, получается нижняя граница интервала, а при вычислении суммы ($A+B$) — верхняя граница. После генерации очередного транзакта выбирается число из полученного интервала, это и будет значение времени, через которое следующий транзакт выйдет из блока GENERATE.

Когда операнды A и B задают в виде констант (B — модификатор-интервал), они должны быть неотрицательными числами, т. е. интервал времени может быть выражен числами, например, 4.1,...,12.7. Предположим, что транзакт входит в модель — блок GENERATE — в момент модельного времени 25.6. После того, как этот транзакт попадет в следующий блок модели, планировщик GPSS разыграет случайное значение из распределения интервалов времени, равного 8.4 ± 4.3 .

Пусть разыгранным значением будет число 9.7. Тогда планировщик планирует приход следующего транзакта в блок GENERATE в момент времени $25.6 + 9.7 = 35.3$.

Можно выбрать для розыгрыша генератор равномерно распределенных случайных чисел. Это устанавливается на странице Random Numbers (Случайные числа) в журнале настроек модели. Нужно выбрать Edit ► Settings (Правка ► Настройка) и страницу Random Numbers (Случайные числа), на которой в поле ввода GENERATE ввести номер генератора — любое положительное число. По умолчанию используется генератор номер 1.

Операнды А и В не обязательно должны быть заданы. Когда один или оба операнда не указаны, по умолчанию предполагается их нулевое значение. Например, $A=16.4$, $B=0$. Поскольку $B=0$, то интервалы времени распределены равномерно, 16.4 ± 0 , т. е. интервал времени поступления равен 16.4. Это пример того, как может быть задано детерминированное значение интервалов времени.

Более сложные интервалы времени поступления транзактов (не по равномерному закону) могут быть заданы с использованием *модификатора-функции*. Под действием модификатора-функции значение операнда А умножается на значение функции, заданной операндом В.

При любом способе вычисления интервала времени значение операнда В не должно превышать значения операнда А, в противном случае в блоке GENERATE может быть получен отрицательный интервал времени, который вызовет останов по ошибке «Отрицательное время задержки».

Рассмотрим три дополнительных операнда: С — смещение интервалов, D — ограничитель, E — уровень приоритета.

Смещение интервалов (первоначальная задержка) С — это момент времени, в который в блоке GENERATE должен появиться первый транзакт. После этого первого прихода все остальные приходы транзактов возникают в соответствии с распределением интервалов времени, задаваемых операндами А и В. Операнд С можно использовать как для ускорения, так и для замедления прихода первого транзакта или для указания прихода в нужный момент времени. Начальная задержка может быть меньше, равна или больше среднего времени, заданного операндом А. Когда операнд С не используется, интервалы генерирования определяются операндами А и В (они не оказывают влияния на задержку). Операнд С может быть таким же, как и операнды А и В.

Операнд D задает граничное значение общего числа транзактов, которые могут войти в модель через данный блок GENERATE в течение времени моделирования. Когда это число достигнуто, данный блок GENERATE перестает быть активным. Если не определено граничное значение (операнд D не используется), блок GENERATE остается активным в течение всего времени моделирования, т. е. по умолчанию ограничения на количество создаваемых транзактов нет.

Операнд E устанавливает класс приоритета каждого из транзактов, входящих в модель через данный блок GENERATE. Для задания приоритетов с целью повышения эффективности работы GPSS World рекомендуется использовать последовательность целых чисел 0, 1, 2, 3,... вместо, например, 37, 43, 88, 122,...

Чем выше число, тем выше приоритет. Если операнд E не используется, по умолчанию приоритет генерируемых данным блоком GENERATE транзактов равен нулю.

Операнды D и E могут задаваться так же, как и операнды A, B и C, но при этом принимать значения только целых положительных и целых чисел соответственно.

В любом блоке GENERATE должен быть обязательно задан либо операнд A, либо операнд D. *Нельзя использовать в качестве операнда параметры транзактов.* Необходимо также помнить, что транзакт не должен входить в блок GENERATE. Если транзакт пытается это делать, возникает ошибка выполнения.

Приведем примеры записи блоков GENERATE:

а) с операндом A

```
GENERATE      38.6
GENERATE      X$IntPostTran
GENERATE      MX$VrPost(3,6)
GENERATE      V$Prom
GENERATE      (Exponential(11,0,X$Mat))
GENERATE      IntPostTran
```

б) с операндами A и B

```
GENERATE      73.25,X$0tk
GENERATE      X$Sredne,FN2
GENERATE      Sredne,FN4
GENERATE      (V$Post+7.1),FN$Mod
```

в) с операндами A и C

```
GENERATE      7.3,,4.1
GENERATE      7.3,,X$VrSm
GENERATE      V$IntPost,,MX2(X$Stroka,X$Stolbez)
GENERATE      (Normal(3,X$Sre,X$Sre0tk)),,Sme
```

г) с операндами A, B, E

```
GENERATE      13.3,2.8,,1
GENERATE      (Normal(8,X$Sred,X$SreKv0tk)),Post,,1
GENERATE      V$IntPostTran,(V1-12.3),,12
```

Приведенные примеры демонстрируют различные способы задания операндов блока GENERATE. Однако при этом нужно помнить следующее.

В начальный момент времени в каждом блоке GENERATE производится подготовка к выходу одного транзакта. На этой стадии модель еще полностью не инициализирована для выполнения. По этой причине все СЧА, описанные в блоке GENERATE, должны быть уже определены. В модели блоку GENERATE должны предшествовать команды определения EQU, INITIAL, FUNCTION, VARIABLE, FVARIABLE. Это делается для того, чтобы СЧА в блоке GENERATE, который ссылается на них, давали нужные результаты. Например:

SrIntPost	EQU	47.2
StanOtkl	EQU	28.6
	INITIAL	X\$KolTrans, 43
	...	
	GENERATE	SrIntPost, StOtk, , X\$KolTrans

Как видно из примера, блоку GENERATE предшествуют присвоения командой EQU именам числовых значений и командой INITIAL начального значения сохраняемой ячейке с именем KolTrans.

2.1.2. Удаление транзактов из модели и завершение моделирования

Транзакты удаляются из модели, попадая в блок TERMINATE (завершить).

Блоки TERMINATE всегда позволяют войти всем транзактам, которые пытаются это сделать. В модели может быть любое число блоков TERMINATE. Блок имеет следующий формат записи:

TERMINATE [A]

Значением операнда A является число единиц, на которое блок TERMINATE уменьшает содержимое *счетчика завершения*, определяющего момент окончания моделирования. Операнд A может быть именем, положительным целым числом, выражением в скобках, СЧА или СЧА*<параметр>. По умолчанию значение операнда A равно нулю. В этом случае транзакт уничтожается, а значение счетчика завершения не меняется.

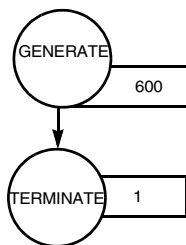
Счетчик завершения представляет собой ячейку памяти, которая хранит положительное целое число, записанное в начале процесса моделирования командой START.

В процессе моделирования транзакты попадают в блок TERMINATE и в соответствии со значением операнда A вычитают определенное число из счетчика завершения. При достижении содержимым счетчика нуля моделирование завершается. *В модели может быть много блоков TERMINATE, но счетчик завершения только один.*

Когда пользователь подготавливает модель, он задает время моделирования, указывая в команде START значение счетчика завершения. Поскольку пути транзактов в модели имеют различный смысл, каждый блок TERMINATE может либо уменьшать, либо не уменьшать содержимое счетчика завершения.

Рассмотрим пример, в котором блок TERMINATE и команда START используются для управления временем моделирования. Предположим, что разработчик выбрал в качестве единицы времени 1 мин. Он хочет промоделировать поведение системы в течение 10 часов, затем моделирование должно быть закончено. За единицу модельного времени возьмем 1 мин, тогда время моделирования равно $10 \cdot 60 = 600$ единицам.

Любая модель на GPSS состоит из одного или нескольких сегментов. Для управления временем моделирования разработчик (см. блок-диаграмму):



- 1) включает в модель сегмент из блоков GENERATE и TERMINATE;
- 2) во всех прочих блоках TERMINATE модели использует операнд A по умолчанию;
- 3) в команде START в качестве операнда A использует 1.

В процессе моделирования транзакты, которые двигаются в других сегментах модели, время от времени выводятся из модели в других блоках TERMINATE, но они не оказывают воздействия на счетчик завершения. В момент модельного времени 600 транзакт в приведенном выше сегменте попадает в блок GENERATE и сразу же переходит в следующий блок TERMINATE. Поскольку операнд этого блока содержит 1, то из счетчика завершения вычитается 1 и значение счетчика равно нулю. В результате планировщик прекращает моделирование.

Команда START используется для запуска процесса моделирования. Она имеет следующий формат записи:

START A, [B], C, [D]

Операнд A задает значение счетчика завершения, определяющего момент окончания прогона модели. Может быть только целым положительным числом. Операнд B — операнд вывода статистики. Он может быть NP («нет вывода данных») либо опущен. При задании NP стандартный отчет не выводится. По умолчанию выводится стандартный отчет. Операнд C не используется и сохранен для совместимости с описаниями ранних версий GPSS. Он использовался как счетчик «кадров» для периодического вывода отчета. Эта функция доступна при использовании в модели более одной команды START и REPORT. Операнд D определяет необходимость вывода содержимого списков событий. Если операнд D указать любым положительным целым числом, например, 1, списки текущих и будущих событий включаются в стандартный отчет и выводятся. Если операнд D опущен, по умолчанию списки в стандартном отчете не выводятся.

Команду START можно сразу указывать в конце программы модели при ее подготовке и в таком виде записывать на магнитный носитель. Тогда после трансляции модели, т. е. создания объекта «процесс моделирования», начинается моделирование. Эту же команду можно вводить в программу модели в интерактивном режиме.

Однако может возникнуть необходимость завершить моделирование не по истечении какого-то времени, а после обработки определенного количества транзактов, имитирующих, например, изготовленные детали, переданные по каналу связи сообщения и т. д. В этом случае сегмент задания времени моделирования не нужен. Для организации такого способа завершения моделирования необходимо сделать следующее. В блоках TERMINATE, которые выводят из модели транзакты, имеющие смысл тех же изготовленных деталей или переданных сообщений, указать число, на которое уменьшается счетчик завершения моделирования. В команде START также указать число, деление которого на указанное в блоке TERMINATE число даст требуемое количество из-

готовленных деталей или переданных сообщений. Например, требуется завершить моделирование после изготовления 100 деталей. В модели это может быть так:

```

      . . .
TERMINATE      1
      . . .
TERMINATE      1
      . . .
TERMINATE
START          100
    
```

Блоков TERMINATE, которые выводят из модели транзакты, соответствующие изготовленным деталям, может быть несколько. Все эти блоки должны иметь 1 в качестве операнда A. У остальных блоков TERMINATE, если они есть в модели, операнд A должен быть опущен.

Итак, транзакты введены в модель. Но аналоги транзактов — элементы потоков в реальных системах имеют различные характеристики. Рассмотрим, как эти же характеристики присваиваются транзактам.

2.2. Изменение значений параметров транзактов

2.2.1. Блок ASSIGN

Каждый транзакт может иметь любое число параметров. Интерпретация смысла параметров произвольная. В момент генерации транзактов все его параметры нулевые (только те, которые используются в модели). Блок ASSIGN является основным средством для задания значений параметров транзактов. Формат записи:

```

ASSIGN      A, B, [C]
    
```

Операндом A задается номер параметра, которому присваивается значение. Операнд A может быть именем, положительным целым числом, выражением в скобках, СЧА, СЧА*параметр и следующими за ними знаками + (если нужно увеличить), — (если нужно уменьшить).

Операнд B определяет значение, которое следует добавить, вычесть или которым следует заменить значение в параметре, заданном операндом A. Если такой параметр не существует, он создается со значением, равным 0. Операнд B может быть таким же, как и операнд A, кроме того, числом и строкой.

Операнд C задает номер модификатора-функции. При использовании операнда C значение операнда B умножается на значение модификатора-функции. Полученное произведение становится значением, которое изменяет значение параметра, заданного операндом A. Следует отметить, что операнд C определяет номер функции или ее имя (не нужно использовать СЧА FN или FN\$ перед ним). Если используется СЧА FN, например FN3, вычисляется функция номер 3 GPSS. Полученный результат используется для определения вто-

рой функции GPSS, которая также вычисляется и ее значение умножается на значение операнда B. Приведем примеры записи блока ASSIGN:

```

ASSIGN      1, 754.3
ASSIGN      4+, Q5
ASSIGN      3-, 5.85, 7
ASSIGN      Name, "Plan"
ASSIGN      Tr1-, (Normal(32, Sredn, SrKvOtkl), Expdis

```

В первом примере параметру 1 присваивается 754.3. Во втором примере к значению параметра 4 прибавляется значение длины текущей очереди номер 5. В третьем примере из значения параметра 3 вычитается произведение 5.85 на вычисленное значение функции номер 7. В четвертом примере параметру с именем Name присваивается строка Plan. В пятом примере вычисляются выражение в скобках и функция с именем Expdis, перемножаются и полученное произведение вычитается из значения параметра с именем Tr1.

2.2.2. Блок PLUS

В GPSS World значения параметров транзактов можно также изменять блоком PLUS. Блок PLUS вычисляет выражение и может записать его в параметр. Блок PLUS имеет следующий формат:

```
PLUS      A, [B]
```

Операнд A — выражение. Может быть именем, числом, строкой, выражением в скобках, СЧА или СЧА*параметр.

Операнд B — номер параметра транзакта, в котором сохраняется результат. Операнд может быть именем, положительным целым числом, выражением в скобках, СЧА или СЧА*параметр.

Например:

```
PLUS      (Exponential(23, 0, 32.7)+48.75), Itog
```

При входе транзакта в блок PLUS вычисляется выражение в скобках, которым задан операнд A. Затем полученный результат присваивается параметру с именем Itog. Если такой параметр не существует, он создается.

2.2.3. Блок INDEX

Изменить значение параметра транзакта можно еще блоком INDEX следующего формата:

```
INDEX      A, B
```

Операнд A — номер параметра транзакта. Может быть именем, положительным целым числом, выражением в скобках, СЧА или СЧА*параметр.

Операнд B — числовое значение, которое прибавляется к значению параметра, указанного операндом A. Может быть именем, числом, выражением в скобках, СЧА или СЧА*параметр.

Полученный результат заносится в первый параметр транзакта. Например:

INDEX Slag1, (Normal(21, Mat, Sre0tk)+X\$post)

При входе транзакта вычисляется выражение в скобках, которым указан операнд В, и складывается со значением параметра с именем Slag1. Результат сложения присваивается параметру номер один транзакта. Если этот параметр не существует, он создается. Если же нет параметра, указанного операндом А, происходит останов по ошибке «Обращение к несуществующему параметру».

2.2.4. Блок MARK

В GPSS имеется также блок MARK, который заносит в активный транзакт или его параметр значение абсолютного модельного времени. Блок MARK имеет следующий формат:

MARK [A]

Операнд А — номер параметра транзакта, в который записывается значение абсолютного модельного времени. Может быть именем, положительным целым числом, выражением в скобках, СЧА или СЧА*параметр. Например:

MARK
MARK Vxod

В первом примере операнд А не используется. По умолчанию вошедшему в этот блок транзакту устанавливается время входа в систему, равное абсолютному модельному времени.

Во втором примере операнд А используется. Поэтому значение абсолютного модельного времени (СЧА AC1) заносится в параметр с именем Vxod вошедшего транзакта. Если этого параметра нет, он создается.

Блок MARK можно использовать, если необходимо, например, определить время обработки транзакта, которое складывается из времен обработки на нескольких этапах. С помощью блока MARK нужно записать абсолютное модельное время начала и конца обработки, а затем найти разность, которая и будет искомым временем.

ЗАМЕЧАНИЕ

В блоках ASSIGN, PLUS, INDEX, MARK и LOOP при записи операндов, которые являются параметром транзакта, СЧА Р не используется.

2.3. Занятие одноканального устройства и его освобождение

В GPSS элементами, которые требуют обслуживания, являются транзакты. Они перемещаются в модели от блока к блоку. Если в какой-то момент активности транзакт занимает ОКУ, то для этого он входит (или пытается вой-

ти) в соответствующий блок, описывающий это ОКУ. Блок должен обладать следующими свойствами:

- если ОКУ уже используют, транзакт не может войти в блок и должен ждать в очереди;
- если ОКУ не используют, транзакт может войти в блок. Статус ОКУ изменяется на «занято».

Блок, который обладает этими свойствами, является блоком SEIZE (занять). Вход транзакта в блок SEIZE моделирует занятие ОКУ.

После обслуживания (блок, имитирующий обслуживание, будет рассмотрен в п. 2.4) вход того же транзакта в другой блок моделирует освобождение ОКУ. Назначением этого блока является изменение состояния ранее занятого ОКУ с «занято» в «незанято». Этим блоком является блок RELEASE (освободить). Форматы блоков:

SEIZE	A
RELEASE	A

В обоих блоках операнд A — это имя занимаемого (освобождаемого) ОКУ. Может быть именем, положительным целым числом, выражением в скобках, СЧА, СЧА*параметр. Планировщик автоматически обеспечивает возникновение транзактов и ОКУ, когда этого требует логика модели. В то время как транзакты находятся в модели временно, ОКУ, используемые в модели, существуют постоянно в течение всего процесса моделирования. Прежде чем освободить ОКУ, транзакт может пройти через неограниченное число блоков. Например:

SEIZE	Can
· · ·	
RELEASE	Can

Если ОКУ с именем Can не занято, активный транзакт занимает его. Если ОКУ занято, транзакт помещается в *список задержки* данного ОКУ позади транзактов с таким же приоритетом и не входит в блок SEIZE. Транзакту также отказывается во входе в блок SEIZE, если ОКУ с именем Can находится в недоступном состоянии (режим недоступности ОКУ рассматривается в п. 4.2).

ОКУ, как уже отмечалось, может иметь имя или номер. В данном случае разрешается записывать вместо операнда A номер непосредственно без предварительного присвоения его имени командой EQU. Например:

SEIZE	5
· · ·	
RELEASE	5

Блоки SEIZE и RELEASE при необходимости могут переопределяться. Для этого они должны иметь метки.

2.4. Имитация обслуживания посредством задержки во времени

Обычно транзакт занимает ОКУ для того, чтобы немедленно начать на нем обслуживание, которое длится некоторый промежуток модельного времени. В течение этого времени транзакт должен прекратить двигаться по модели. Только по истечении времени обслуживания он должен попасть в блок RELEASE для освобождения ОКУ.

Для задержки транзакта в течение некоторого интервала модельного времени используется блок ADVANCE. Чаще всего этот интервал задается случайной переменной. Как и при использовании блока GENERATE, информация, необходимая для описания соответствующего времени обслуживания и его распределения, задается операндами A и B. Формат записи блока ADVANCE следующий:

ADVANCE A, [B]

Здесь A — среднее время обслуживания, а B — способ модификации операнда A. Каждый из операндов A и B может быть именем, числом, выражением в скобках, СЧА или СЧА*параметр.

Как и в блоке GENERATE, модификаторы могут быть двух типов: модификатор-интервал и модификатор-функция, т. е. блок ADVANCE вычисляет время задержки (приращения модельного времени) такими же способами.

Если задан только операнд A, он вычисляется и используется в качестве времени задержки. Например:

ADVANCE (Normal(12, X\$Srednee, X\$Sre0tk))

Время задержки распределено по нормальному закону со средним значением и среднеквадратическим отклонением, предварительно записанными командой INITIAL в сохраняемые ячейки с именами Srednee и Sre0tk соответственно. Для генератора нормального распределения источником случайных чисел, равномерно распределенных в интервале [0, 1], является генератор номер 12 (RN12).

При задании операндов A и B, и B не определяет функцию, оба операнда вычисляются (если они не константы) и в качестве времени задержки выбирается случайное число, равномерно распределенное в интервале (A–B, A+B). Для розыгрыша может быть выбран любой генератор равномерно распределенных случайных чисел. Делается это так же, как и при выборе генератора для блока GENERATE. Только номер генератора на странице Random Numbers (Случайные числа) в журнале настроек модели нужно указать в поле ввода ADVANCE. По умолчанию используется генератор случайных чисел номер 1. Например:

ADVANCE 56.7, 23.2

В данном примере входящий транзакт задерживается на время, равномерно распределенное в интервале от 33.5 до 79.9.

Так же, как и в блоке GENERATE, при любых способах вычисления времени задержки значение операнда В не должно превышать значение операнда А. Если в приведенном выше примере операнд В взять равным 56.8, в процессе моделирования произойдет останов по ошибке «Отрицательное приращение времени».

Для задания времени задержки по другому закону, отличному от равномерного, в операнде В записывается модификатор-функция. При обращении к функции определяется некоторое число — значение функции. Это значение умножается на значение операнда А. Результат используется как время задержки. Например:

```
ADVANCE      Ring, FN$Exper
```

В примере вычисляется значение функции с именем Exper и умножается на значение переменной пользователя Ring, которой предварительно должно быть присвоено числовое значение командой EQU.

Как отмечалось ранее, в блоке GENERATE можно использовать функции и арифметические переменные, предварительно определенные командами FUNCTION и VARIABLE или FVARIABLE. Но в этих командах не должно быть ссылок на параметры транзактов, так как транзактов еще нет. В операндах блока ADVANCE ссылки на параметры транзактов возможны. Естественно, что этим параметрам пользователем должны быть предварительно присвоены соответствующие значения. Например:

```
ADVANCE      P1
ADVANCE      (Exponential(7,0,MX$Sred(P2,P$Stolb)))
ADVANCE      SrIntPost, FN*2
```

В первом примере транзакт задерживается на время, равное значению параметра 1. Во втором примере время задержки определяется по экспоненциальному закону. При этом среднее значение выбирается из элемента матрицы, номера строки и столбца которого содержатся в параметре 2 и параметре с именем Stolb соответственно. Для генератора экспоненциального распределения источником равномерно распределенных случайных чисел в интервале [0, 1] является генератор номер 7 (RN7).

В третьем примере время задержки находится как произведение значения переменной пользователя SrIntPost и вычисленного значения функции, номер которой содержится в параметре 2 активного транзакта.

Блок ADVANCE никогда не препятствует входу транзакта. Любое число транзактов может находиться в этом блоке одновременно.

ЗАМЕЧАНИЕ

Только блоки GENERATE и ADVANCE позволяют поместить транзакты в список будущих событий. С помощью этих блоков моделируется продолжительность какого-либо события или промежутка времени между наступлением каких-либо событий.

Приведем пример использования блоков SEIZE, ADVANCE и RELEASE.