

*Министерство образования Российской Федерации*  
*АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ*  
*Факультет математики и информатики*

**И.А. Шпехт, Р.Р. Саакян**

**Моделирование  
систем  
массового обслуживания  
в среде GPSS**

**Учебно-методическое пособие**

**Благовещенск  
2001**

**ББК 22.18Я73**  
**Ш 83**

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
факультета математики и информатики  
Амурского государственного  
университета*

**И.А. Шпехт, Р.Р. Саакян**

**Моделирование систем массового обслуживания в среде GPSS: Учебно-методическое пособие.** Благовещенск: Амурский гос. ун-т 2001.

Пособие содержит постановку и краткий анализ задач моделирования систем массового обслуживания, а также набор заданий и последовательность их выполнения. Предназначено для студентов 2-го курса специальности «Информационные системы».

*Рецензент: А. В. Духовный, главный специалист группы информационных технологий  
Межрегионального коммерческого банка развития связи и информатики  
(ОАО) АКБ «Связь-Банк», канд. техн. наук.*

## *ВВЕДЕНИЕ*

Требования государственного образовательного стандарта дисциплины «Системы моделирования» для специальности 0719 – ОПД.Ф.09 (119 часов) включают в себя следующие разделы: математические схемы моделирования систем; непрерывно-стохастические модели; имитационное моделирование; моделирование с использованием типовых математических схем; обработка и анализ результатов моделирования систем.

*Цель учебно-методического пособия* – закрепить теоретические знания студентов об имитационном моделировании объектов, формализуемых в виде систем массового обслуживания (СМО), дать им практические навыки имитационного моделирования СМО в среде GPSS.

Пособие включает 12 лабораторных работ. Каждая лабораторная работа содержит краткие теоретические сведения, задание и порядок выполнения работы, пример моделирования, варианты заданий.

Выполнение каждой лабораторной работы складывается из нескольких стадий: подготовка, разработка программы, получение результатов, оформление и сдача отчетов по работе.

*Оформление и сдача отчета по лабораторной работе.* Каждую лабораторную работу студент оформляет в рабочей тетради в виде отчета, который должен содержать:

- исходные данные по вариантам;
- структурную схему моделируемой системы;
- принятую единицу модельного времени;
- таблицу определений

Элементы <i>GPSS</i>	Интерпретация
Транзакты: Приборы: Многоканальные устройства: Очереди: Функции:	

- текст программы;
- полученные результаты в форме таблиц;
- необходимые расчеты и выводы по работе.

Пакет GPSS (General Purpose Simulating System – общецелевая система моделирования) является одним из наиболее эффективных и распространенных программных средств моделирования дискретных систем на IBM PC и успешно используется для моделирования систем, формализуемых в виде схем массового обслуживания (СМО).

Примерами таких схем могут служить: телефонные станции, ремонтные мастерские, билетные кассы, справочные бюро, парикмахерские и т.п. Каждая такая система состоит из определенного числа обслуживающих единиц, называемых «каналами» обслуживания. В качестве каналов могут фигурировать: линии связи; лица, выполняющие те или иные операции; различные приборы и т.д. Системы массового обслуживания могут быть как одно-, так и многолокальными.

Работа любой системы массового обслуживания состоит в выполнении поступающего в нее потока требований или заявок. Заявки поступают одна за другой в некоторые, вообще говоря, случайные моменты времени. Обслуживание поступившей заявки продолжается какое-то время, после чего канал освобождается и готов для приема следующей заявки.

Случайный характер потока заявок (требований) и времени обслуживания приводят к тому, что в какие-то периоды времени на входе СМО скапливается излишнее количество заявок (они либо становятся в очередь, либо покидают СМО необслуженными); в другие же периоды СМО будет работать с недогрузкой или вообще простаивать.

Работа СМО представляет собой случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем; состояние СМО меняется скачком в моменты появления каких-то событий (или прихода новой заявки, или окончания обслуживания, или момента, когда заявка, которой надоело ждать, покидает очередь).

С помощью имитационного моделирования на GPSS возможно построение моделей, связывающих заданные условия работы СМО (число каналов, их производительность, правила работы, характер потока заявок) с интересующими нас характеристиками – показателями эффективности СМО, описывающими, с той или другой точки зрения, ее способность справляться с потоком заявок.

В качестве таких показателей (в зависимости от обстановки и целей исследования) могут применяться, например, среднее число заявок, обслуженных СМО в единицу времени; среднее число занятых каналов; среднее число заявок в очереди и среднее время обслуживания и т.д.

СМО делятся на типы (классы) по ряду признаков: первое деление - СМО с отказами и СМО с очередью.

В СМО с отказами заявка, поступившая в момент, когда все каналы заняты, получает отказ, покидает СМО и в дальнейшем процессе обслуживания не участвует. Примеры СМО с отказами встречаются в телефонии: заявка на разговор, пришедшая в момент, когда все каналы связи заняты, получает отказ и покидает СМО необслуженной.

В СМО с очередью заявка, пришедшая в момент, когда все каналы заняты, не уходит, а становится в очередь и ожидает возможности быть обслуженной. Этот вариант встречается чаще всего, недаром теория массового обслуживания имеет второе название - «теория очередей».

СМО с очередью подразделяются на разные виды в зависимости от того, как организована очередь, – ограничена она или не ограничена. Ограничения могут касаться как длины очереди, так и времени ожидания.

При анализе СМО должна учитываться также и «дисциплина обслуживания»: заявки могут обслуживаться либо в порядке поступления (раньше пришла – раньше обслуживается), либо в случайном порядке.

Нередко встречается так называемое обслуживание с приоритетом – некоторые заявки обслуживаются вне очереди.

Существуют и другие классы СМО, которые подробно рассматриваются в книгах по теории вероятностей.

Модель СМО может быть представлена в виде блок-схемы, которая представляет собой набор фигур с характерным описанием блоков, соединенных между собой линиями. Вид каждого блока стандартен.

*Понятие транзакта.* Конфигурация блок-схемы GPSS-модели отражает направления, по которым происходит движение перемещающихся элементов. Каждый такой элемент называется транзактом.

Транзакт – динамический (движущийся) элемент GPSS-модели (например: покупатель, автомобиль на мойке, заявка на складе).

Работа GPSS-модели заключается в перемещении транзактов от блоков к блокам.

В самом начале моделирования в GPSS-модели нет ни одного транзакта. В процессе моделирования транзакты входят в модель в определенные моменты в соответствии с логическими потребностями, которые возникают в моделируемой системе.

Подобным же образом транзакты покидают модель в определенные моменты в зависимости от специфики моделирования.

В общем случае в модели существует большое количество транзактов, однако в один момент времени двигается только один транзакт.

Если транзакт начал движение, он перемещается от блока к блоку, вызывая выполнение соответствующих подпрограмм.

Продвижение транзакта продолжается до тех пор, пока не произойдет одно из следующих возможных событий:

1. Транзакт входит в блок, функция которого – задержка транзакта на некоторое определенное модельное время (например, кресло парикмахера).

2. Транзакт входит в блок, который удаляет транзакт из модели.

3. Транзакт пытается войти в некоторый блок согласно блок-схеме, но блок отказывается его принять. В этом случае транзакт остается в том блоке, в котором он находится. Позднее он повторит свою попытку войти в блок. Одна из таких попыток может оказаться успешной, после чего транзакт может продолжать свое перемещение в модели.

Если возникло одно из описанных условий, транзакт остается на месте, и начинается перемещение в модели другого транзакта.

В общем случае выполнение модели заключается в последовательном обращении к подпрограммам, являющемся следствием входа в определенные блоки перемещающихся транзактов.

Различные события реальных систем происходят в течение некоторого периода времени. Клиенты приходят в парикмахерскую; когда приходит их очередь, они попадают на обслуживание к парикмахеру. Стрижка заканчивается, и клиент покидает парикмахерскую. Если все эти события представить в модели, то их возникновение должно происходить на фоне модельного времени.

Таймер модельного времени корректируется автоматически, в соответствии с логикой модельного процесса.

Особенности таймера:

1. Таймер GPSS регистрирует только целые значения. Это означает, что события могут возникать только в «целые» моменты времени.

2. Единицу времени, которая может быть отмечена таймером, определяет разработчик. Разработчик следит за тем, чтобы все данные, связанные со временем, были выражены через эту определенную единицу времени.

*Различие между модельным и реальным временем.* Когда значение таймера модельного времени продвигается в следующую точку, происходит некоторая задержка, чтобы скорректировать модель. В реальной же системе такого времени на корректировку не существует.

Не исключено, что для моделирования только одной минуты модельного времени потребуется несколько десятков минут реального времени (например, при моделировании вычислительных систем).

С другой стороны, эксперименты, которые проводят в течение нескольких недель, могут занимать всего несколько секунд реального времени при моделировании на ЭВМ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ С ПРИБОРОМ**

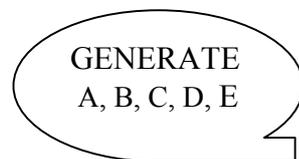
**Внесение транзактов в модель**

Блок GENERATE (ГЕНЕРИРОВАТЬ).

GENERATE – это блок, через который транзакты входят в модель.

В одной модели может быть любое число блоков GENERATE.

Изображение:



Операнды:

A – средний интервал времени (по умолчанию – ноль);

B – половина поля допуска равномерно распределенного интервала (по умолчанию – ноль);

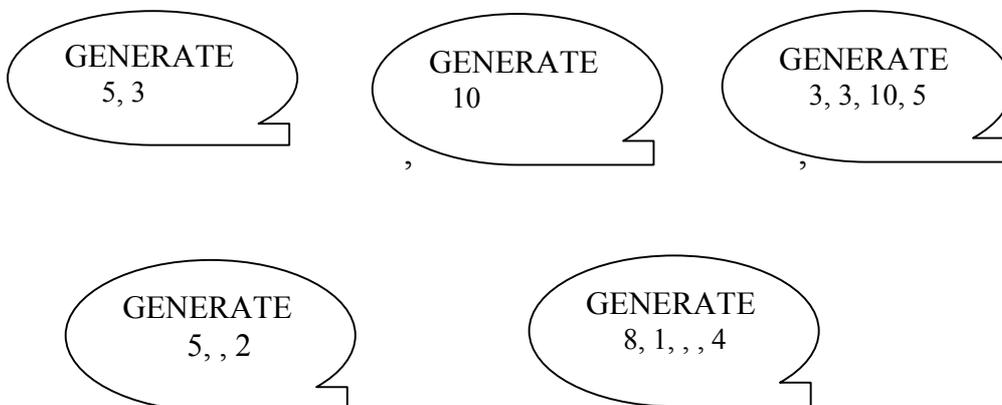
C – смещение интервала (по умолчанию – смещение отсутствует);

D – ограничитель количества транзактов, проходящих через блок (по умолчанию -  $\infty$ );

E – уровень приоритета (по умолчанию – 0).

Любой из операндов может отсутствовать.

**Пример:**



## Удаление транзактов из модели

Блок TERMINATE (ЗАВЕРШИТЬ).

Транзакты удаляются из модели, попадая в блок TERMINATE.

Изображение блока:



Операнд А – указатель уменьшения счетчика завершений (по умолчанию – ноль).

В модели может быть несколько блоков TERMINATE, но счетчик завершений только один. Счетчик завершений – ячейка памяти ЭВМ, которая хранит некоторое значение, записанное в начале моделирования. В процессе моделирования транзакты попадают в блоки TERMINATE, и таким образом происходит уменьшение содержания счетчика на параметр А (обычно А=1, но не обязательно).

Обычно счетчик завершений задается параметром А команды начала моделирования START (о командах управления процессом моделирования см. ниже).

## Элементы, символизирующие обслуживающие приборы

Элементами, представляющими прибор, может быть либо человек, либо какой-то предмет. Люди: парикмахер, заправщик бензоколонки, продавец. Предметы: стоянка автомобилей, подъемный кран и др.

Приборы характеризуются двумя основными свойствами:

1. Каждый прибор в любой момент времени обслуживает только одно требование. Если в процессе обслуживания появляется новое требование, оно либо ждет, либо отправляется в другое место системы, либо прерывает протекающее обслуживание до его завершения.
2. Когда на прибор поступает требование, оно задерживается в блоке прибора на некоторое время, называемое временем обслуживания.

Поскольку в различных точках системы может быть несколько приборов, то, чтобы различать их, им могут быть даны имена. Числовые – положительное целое; символические – 3-5 алфавитно-цифровых символов, причем первые три – буквы.

### Занятие свободных приборов

#### Блоки SEIZE (ЗАНЯТЬ) и RELEASE (ОСВОБОДИТЬ)

Предположим, что мы хотим использовать прибор. При этом мы должны выполнить следующие шаги:

1. Ожидаем своей очереди, если это необходимо. Естественно, что ожидание требует некоторого интервала времени.

2. Когда приходит наша очередь, занимаем прибор. Событие «занятие прибора» происходит в некоторой точке времени.

3. Прибор остается в состоянии занятости, пока не закончится обслуживание. Для обслуживания требуется также некоторый интервал времени.

4. Когда обслуживание заканчивается, мы освобождаем прибор. Событие «освобождение прибора» также происходит в некоторой точке времени.

Рассмотрим подробнее 2-й и 3-й пункты.

Чтобы занять прибор, транзакт должен войти в некоторый блок, который должен обладать следующими свойствами:

- 1) если прибор уже используют, транзакт не может войти в блок, т.е. ему не разрешается занять прибор в данный момент времени, и он должен ждать в очереди - т.е. таким образом транзакт на время исключается из рассмотрения;
- 2) если прибор не используют, транзакт может войти в блок.

Вход транзакта в блок вызывает выполнение подпрограммы обработки этого блока. Результат – изменение статуса прибора из «незанято» в «занято».

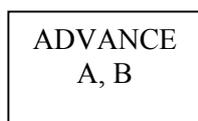
Блоком, который обладает этими свойствами, является блок SEIZE (Занять).

Вход транзакта в блок SEIZE моделирует занятие прибора, вход этого же транзакта в другой блок моделирует освобождение прибора. Этим блоком является блок RELEASE (Освободить).

Оба блока используют операнд А – имя занимаемого или освобождаемого прибора.



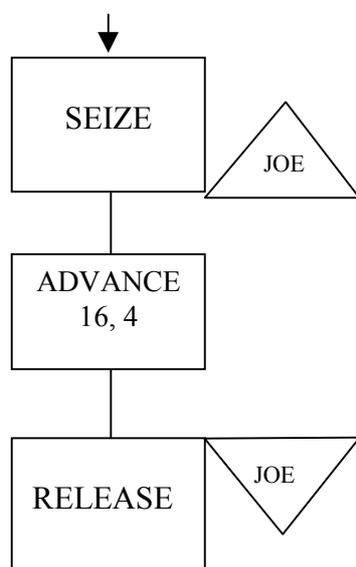
Для имитирования работы прибора и, соответственно, задержки транзакта на некоторое время используется блок ADVANCE.



Изображается в виде прямоугольника, располагается между блоками SEIZE и RELEASE (классический случай).

Операнды А и В: А – задержка на время обслуживания;  
В – половина поля допуска.

Классический случай «занять-задержать-освободить»:



Поместив эти три блока между блоками GENERATE и TERMINATE, получим схему продвижения транзакта через прибор.

### Написание программы

При написании программы строка экрана условно делится на три части.

Со 2 по 6 позицию записывается имя блока, с 8-й по 18 позицию – операции. Операнды записываются в поле, начинающемся с позиции 19. Операнды следуют один за другим, их отделяют друг от друга запятыми. Между операндами не должно быть пробелов. Первый пробел, содержащийся в поле операндов,

указывает на то, что операнды закончены и интерпретатор прекращает чтение строки. Это свойство может быть использовано для записи поясняющих комментариев.

Первая позиция строки не является частью поля имени. Если в этой позиции стоит символ `*`, то интерпретатор игнорирует всю строку. Это дает возможность документировать модель с помощью более длинных комментариев, а также позволяет оставлять пропуск между отдельными сегментами модели.

Текст программы всегда начинается со слова `SIMULATE` (МОДЕЛИРОВАТЬ), помещенного в поле операций.

Затем следует текст программы, т.е. описание блоков сегментов модели; сегменты отделяются друг от друга строками комментариев.

За описанием блоков следуют управляющие команды. Из них две присутствуют обязательно – это команды `START` и `END`.

Моделирование начинается после того, как интерпретатором в модели найдена команда `START`. Это объясняет, почему команда располагается в конце программы-модели.

Команда `START` записывается в поле операций и имеет операнд `A`, указывающий количество прогонов модели. Операнд `A` называют еще счетчиком завершений.

После того, как один прогон модели завершен, работа ЭВМ над моделью еще не заканчивается. У разработчика остается много возможностей для продолжения работы. Независимо от того, используются ли эти возможности, существует некоторая точка в модели, перед которой помещены все команды управления прогонами. Здесь должна быть расположена команда `END` (ЗАКОНЧИТЬ). Эта команда побуждает интерпретатор вернуть управление в операционную систему. Запись команды осуществляется в поле операции.

Для модели в целом очень важен порядок, в котором располагаются записи блоков отдельных сегментов, но порядок их расположения безразличен.

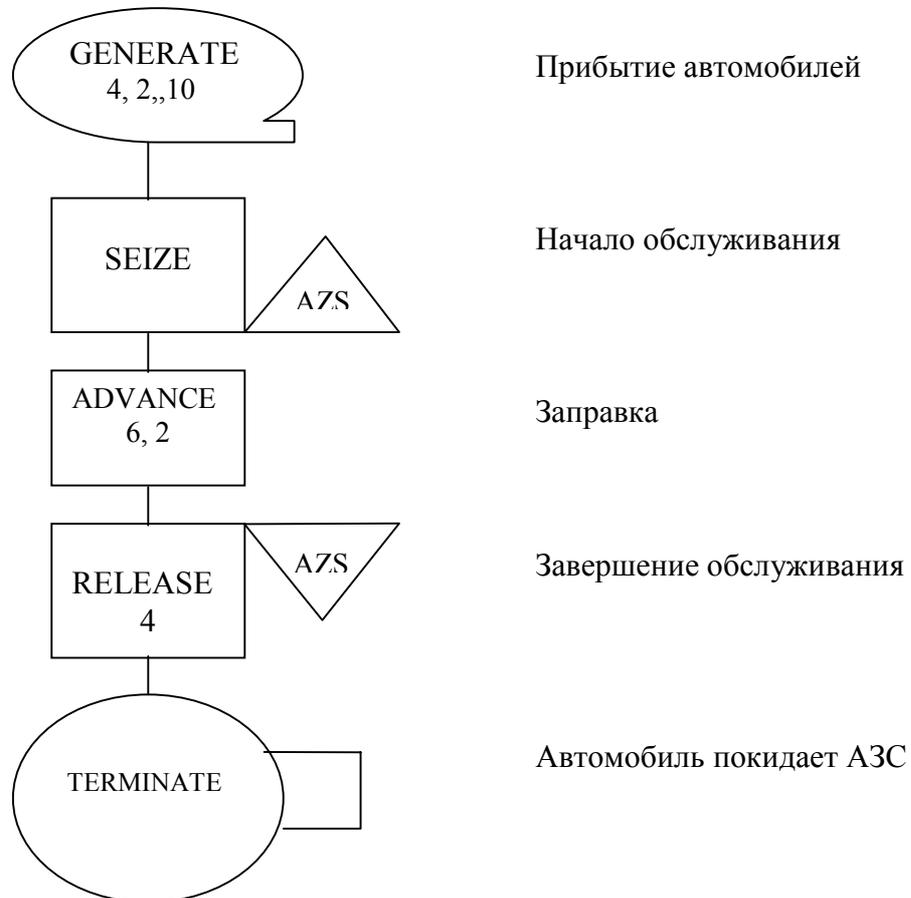
### **Пример.**

#### **1. Постановка задачи.**

Обслуживание автомобилей на автозаправочной станции производится с интервалом  $(6 \pm 2)$  мин. Клиенты приходят с интервалом  $(4 \pm 2)$  мин. Смоделируем обслуживание десяти машин.

## 2. Структурная схема.

Схема состоит из одного сегмента.



## 3. Таблица определений.

Сегмент 1

Единица моделирования – 1 мин.

Элементы GPSS	Назначение
Транзакты: 1-й сегмент	Автомобили
Приборы: AZS	Заправочная станция

## 4. Текст программы.

```

SIMULATE
*
*   1-й сегмент
*
GENERATE      4, 2
SEIZE         AZS
ADVANCE       6, 2
RELEASE       AZS
TERMINATE     1
*
*   Команды управления
*
START         300
END

```

**Варианты заданий**

1.Заказы на горячие блюда в кафе поступают с интервалом  $(7\pm 3)$  мин., время на приготовление блюда занимает от 20 до 10 мин. Смоделируйте обслуживание 20 клиентов.

2.Прививка животных ветеринаром занимает  $(5\pm 2)$  мин., животные поступают с интервалом  $(2\pm 1)$  мин. Смоделируйте очередь из 70 животных.

3.Обслуживание автомобилей на автозаправочной станции производится в среднем за  $(6\pm 2)$  мин., клиенты приходят с интервалом  $(4\pm 2)$  мин. Смоделируйте очередь для 300 автомобилей.

4.Прием у врача длится от 10 до 15 мин., пациенты приходят с интервалом  $(3\pm 1)$  мин. За время приема врач обслуживает 20 пациентов.

5.Поиск книги в библиотеке занимает от 5 до 7 мин., читатель обращается за книгами каждые  $(7\pm 3)$  мин. Смоделируйте обслуживание 50 человек.

6.Заявка на резервирование билетов поступают с интервалом  $(5\pm 2)$  мин., времени на одну операцию затрачивается  $(12\pm 10)$  мин. Смоделировать очередь из 30 человек.

7.Экзаменатор принимает экзамен у одного человека за  $(15\pm 5)$  мин., группа состоит из 25 студентов. Смоделируйте очередь, если студенты готовятся к ответу  $(30\pm 10)$  мин.

8.Токарь обрабатывает деталь на станке за  $(12 \pm 3)$  мин., детали приходят с интервалом  $(7 \pm 2)$  мин. Смоделируйте очередь для 100 деталей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

**МОДЕЛИРОВАНИЕ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПО ВРЕМЕНИ.  
СБОР СТАТИСТИКИ ПРИ ОЖИДАНИИ**

Когда при моделировании СМО ставится условие ограничения по времени, в модель добавляется сегмент, моделирующий таймер.

Пример.

Разработчик выбрал в качестве единицы измерения 1 мин., его интересует поведение системы в течение 8 часов одного дня. Затем моделирование должно быть закончено. Тогда параметр START будет иметь значение 1, а одним из сегментов блок-схемы будут два блока GENERATE и TERMINATE.

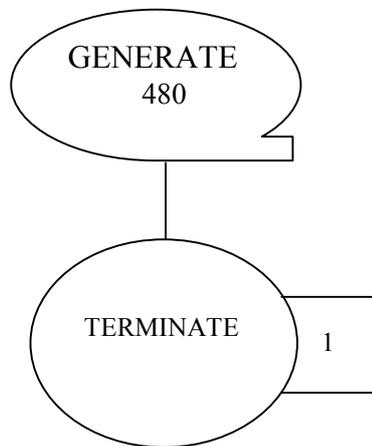


Рис.1. Сегмент-таймер

Когда модельное время достигнет 480, сегмент GENERATE генерирует транзакт-таймер, который переходит в блок TERMINATE и выводится из системы, при этом из счетчика завершений вычитается 1 (параметр А блока TERMINATE), значение счетчика будет нулевым (параметр А карты START тоже равен 1), это означает завершение моделирования.

Время от времени в различных точках модели может происходить вынужденное ожидание, т.е. возникает очередь из транзактов. Автоматический сбор статистических данных об очереди осуществляет средство GPSS, называемое регистратором очередей.

Рассмотрим события, которые происходят, когда транзакт вынужденно не может использовать ограниченный ресурс (например, прибор).

1.Транзакт присоединяется к очереди, т.е. образует с другими требованиями группу «ожидающих обслуживания». Присоединение к очереди происходит в некоторый момент времени.

2.Транзакт ждет своей очереди. Ожидание происходит в течение некоторого интервала времени.

3.Транзакт покидает очередь. Уход из очереди происходит в некоторый момент времени.

Часто бывает необходимо собрать статистику, описывающую особенности протекания процесса. Эта статистика должна дать ответ на следующие вопросы:

- 1.Сколько раз требования приходили в очередь?»?
- 2.Сколько пришедших требований фактически присоединилось к очереди и сколько сразу заняли прибор?
- 3.Каково было максимальное ожидание длины очереди?
- 4.Каково было среднее число ожидающих требований?
- 5.Каково среднее время ожидания тех требований, которым пришлось ждать?

Ответы на такие вопросы может дать регистратор очередей. Регистраторы очередей различают заданием имен. Условия назначения имен те же, что и условия назначения имен приборов. Регистратор очереди вносится в модель с помощью пары взаимодополняющих блоков QUEUE (СТАТЬ В ОЧЕРЕДЬ) и DEPART (ПОКИНУТЬ ОЧЕРЕДЬ).

Эти два блока вместе с операндом А показаны на рис.2.

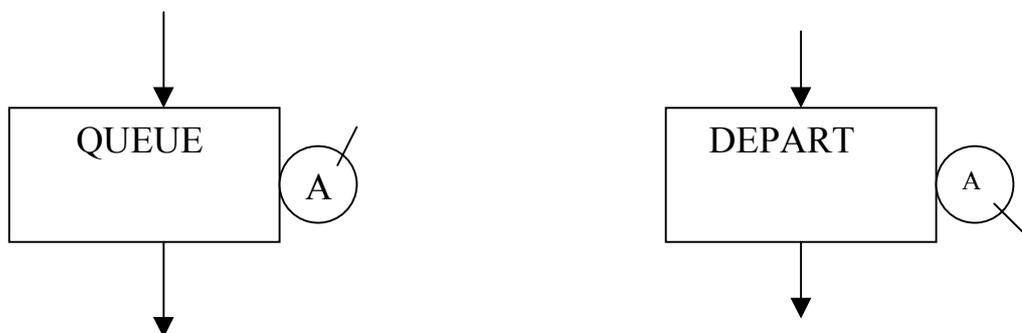


Рис.2.

Операнд А используют в блоках QUEUE - DEPART для указания имени соответствующей очереди. При входе транзакта в блок QUEUE выполняется обработка соответствующей подпрограммы, включающей следующие четыре действия.

1.«Счетчик входов» для данной очереди увеличивается на единицу.

2.Запись «счетчика текущего содержимого» для данной очереди также увеличивается на единицу.

3.Транзакт «привязывается» к очереди указанием ее имени.

4.Транзакт «привязывается» к очереди с запоминанием значения текущего модельного времени.

Транзакт перестает быть элементом очереди, если он переходит в блок DEPART соответствующей очереди. Когда это происходит, интерпретатор выполняет подпрограмму обработки блока, включающую следующее.

1.Запись «счетчика текущего содержимого» соответствующей очереди уменьшается на единицу.

2.Используя привязку к значению времени, интерпретатор определяет, является ли время, проведенное транзактом в очереди, нулевым. Если да, то такой транзакт по определению является транзактом с «нулевым преобразованием» в очереди; соответствующим образом изменяется счетчик «нулевых вхождений».

3.Ликвидируется привязка транзакта, указывающая на принадлежность транзакта соответствующей очереди.

Если в модели необходимо собрать статистику по очереди перед некоторым прибором, блок QUEUE ставится перед блоком SEIZE, а блок DEPART – после блока SEIZE (т.е. если транзакт проходит на обслуживание, он автоматически покидает очередь).

Необходимо отметить, что регистратор очередей никак не влияет на поведение модели и его отсутствие не изменяет процесс моделирования; очередь из транзактов накапливается в блоке, непосредственно предшествующем блоку, моделирующему ограниченный ресурс.

### Варианты заданий

1.Заказы на горячие блюда в кафе поступают с интервалом  $(7\pm 3)$  мин., время на приготовление блюда занимает от 20 до 10 мин. Смоделируйте обслуживание в течение 5 часов.

2.Прививка животных ветеринаром занимает  $(5\pm 2)$  мин., животные поступают с интервалом  $(2\pm 1)$  мин. Смоделируйте очередь за 4 часа.

3.Обслуживание автомобилей на автозаправочной станции производится в среднем за  $(6\pm 2)$  мин., клиенты приходят с интервалом  $(4\pm 2)$  мин. Смоделируйте очередь за 8 часов.

4.Прием у врача длится от 10 до 15 мин., пациенты приходят с интервалом  $(3\pm 1)$  мин. Время приема 4 часа. Смоделируйте очередь.

5.Поиск книги в библиотеке занимает от 5 до 7 мин., читатель обращается за книгами каждые  $(7\pm 3)$  мин. Смоделируйте обслуживание за 3 часа.

6.Заявка на резервирование билетов поступают с интервалом  $(5\pm 2)$  мин., времени на одну операцию затрачивается  $(12\pm 10)$  мин. Смоделировать очередь за 6 часов.

7.Экзаменатор принимает экзамен у одного человека за  $(15\pm 5)$  мин. Смоделируйте очередь, если студенты готовятся к ответу  $(30\pm 10)$  мин. Сколько студентов примет экзаменатор за 4 часа.

8.Токарь обрабатывает деталь на станке за  $(12\pm 3)$  мин., детали приходят с интервалом  $(7\pm 2)$  мин. Смоделируйте очередь за 8 часов.

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3***РАСШИРЕНИЕ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОДНИМ ПРИБОРОМ И ОЧЕРЕДЬЮ****1 . Постановка задачи.**

В парикмахерскую с одним креслом могут приходить клиенты двух типов.

Клиенты первого типа желают только подстричься. Распределение интервалов их прихода -  $35 \pm 10$  мин.

Клиенты второго типа желают подстричься и побриться. Распределение интервалов их прихода -  $60 \pm 20$  мин.

Парикмахер обслуживает клиентов в порядке “первым пришел – первым обслужен”.

На стрижку уходит  $18 \pm 6$  мин; а на бритье -  $10 \pm 2$  мин.

Необходимо написать модель парикмахерской для 8 часов модельного времени.

**2 . Метод построения модели.**

Такую модель невозможно построить в виде единственной последовательности блоков, так как один блок GENERATE нельзя использовать для моделирования двух типов приходов, а также нельзя построить различие в обслуживании только стригущихся или бреющихся клиентов.

Такую систему можно промоделировать с помощью двух независимых сегментов или последовательностей .

Одна из последовательностей моделирует обслуживание только стригущихся клиентов, а другая – стригущихся и бреющихся.

В каждой из двух последовательностей пара блоков QUEUE - DEPART описывает одну и ту же очередь, поэтому клиенты, проходящие в этих последовательностях, обеспечивают совместный сбор статистики.

Таким же образом пара блоков SEIZE - RELEASE описывает в каждой из двух последовательностей один и тот же прибор и моделирует самого парикмахера.

В сегменте только стригущихся блок ADVANCE используется для моделирования времени стрижки; в сегменте стригущихся и бреющихся пара последовательных блоков ADVANCE

используется для моделирования затрат времени на бритье и далее на стрижку.

При таком подходе моделировать систему довольно легко.

### 3. Таблица определений.

Единица времени – 1 минута.

Элементы GPSS	Интерпретация
Транзакты:	
1-й сегмент модели	Только стригущиеся клиенты
2-й сегмент модели	Стригущиеся и бреющиеся клиенты
3-й сегмент модели	Таймер
Приборы:	
PRK	Парикмахер
Очереди:	
PRKQ	Очередь для клиентов обоих типов

4. Структурная схема (составить самостоятельно).

5. Текст программы .

```

SIMULATE
*
*   1-й сегмент
*
GENERATE      35,10
QUEUE        PRKQ
SEIZE        PRK
DEPART       PRKQ
ADVANCE      18,6
RELEASE      PRK
TERMINATE

*
*   2-й сегмент
*
GENERATE      60,20

```

```

QUEUE          PRKQ
SEIZE          PRK
DEPART        PRKQ
ADVANCE       10,2
ADVANCE       18,6
RELEASE       PRK
TERMINATE

*
*   3-й сегмент
*
GENERATE      480
TERMINATE     1

*
*   Команды управления
*
START        1
END

```

#### 5а. Статистика.

Прибор	Среднее загрузка	Входы	Ср.время/ транзакт
PRK	0.87	20	20.79

Очередь	Мах	Ср.знач.	Входы	0 входы	% 0 вх.	Ср.вр.	Без 0 вх.	Тек.зн.
PRKQ	1	0.34	20	8	40	8.7	13.61	0

Статистические данные по этому процессу показывают суммарный эффект от обслуживания клиентов обоих типов. Известно, что парикмахер был занят всего 20 раз. Но нет никаких указаний, сколько из его клиентов относятся к типу только стригущихся и сколько - к типу стригущихся и бреющихся. То же самое относится и ко времени, потраченному на клиентов разных типов.

Если нам понадобится дифференцировать статистику по типам клиентов, включим в нашу модель еще два регистратора очередей - PRK1 и PRK2. Соответственно в первый сегмент модели включается пара блоков QUEUE PRK1 – DEPART PRK1 , а во второй - модели

QUEUE PRK2 – DEPART PRK2 . Эти блоки ставятся выше и ниже блока SEIZE PRK, каждые в своем сегменте модели. В результате получаем статистику, разделенную по типам клиентов.

Закончите задачу с разделенными очередями и проанализируйте полученные результаты.

### **Варианты заданий**

1. Механики первой категории приходят в кладовую каждые  $(330 \pm 250)$  с. Там они получают детали для неисправных станков. Кладовщику требуется  $(280 \pm 150)$  с на поиск необходимой детали. Каждые  $(220 \pm 70)$  с приходят рабочие за инструментом, на обслуживание каждого кладовщик тратит  $(150 \pm 30)$  с. Выполните моделирование для 8 часов работы.

2. В регистратуре поликлиники обслуживаются три категории пациентов: впервые обратившиеся к врачу, повторно обращающиеся, а также пациенты, впервые обратившиеся в поликлинику. Время, затраченное на обслуживание первых, равно  $(6 \pm 2)$  мин; вторых –  $(3 \pm 1)$  мин; третьих –  $(10 \pm 2)$  мин. Интервалы прихода первой категории пациентов –  $(20 \pm 5)$  мин., второй категории –  $(15 \pm 7)$  мин., третьей категории –  $(30 \pm 10)$  мин. Выполните моделирование регистратуры в течение 10 часов работы.

3. В почтовое отделение по приему/выдаче переводов приходят клиенты, желающие отправить перевод, – с интервалом  $(25 \pm 10)$  мин., а клиенты, желающие получить перевод, – с интервалом  $(15 \pm 10)$  мин. Обслуживание клиентов первого типа занимает  $(10 \pm 2)$  мин., а второго –  $(5 \pm 2)$  мин. Смоделируйте работу отделения за 8 часов работы.

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4*

**ИЗМЕНЕННАЯ ДИСЦИПЛИНА ОБСЛУЖИВАНИЯ В СИСТЕМЕ С ОДНИМ ПРИБОРОМ И ОЧЕРЕДЬЮ**

1. Постановка задачи.

На фабрике в кладовой работает один кладовщик. Он выдает запасные части механикам, обслуживающим станки. Время, необходимое на выполнение запроса, зависит от типа запасной части. Запросы бывают двух категорий. Соответствующие данные представлены в таблице.

Категория запроса	Интервалы времени прихода механиков, с	Время обслуживания, с
1	$420 \pm 360$	$300 \pm 90$
2	$360 \pm 240$	$100 \pm 30$

Кладовщик обслуживает механиков по принципу «первым пришел – первым обслужен» независимо от категории запроса.

Поскольку вышедший из строя станок ничего не производит, то простой механика в очереди приносит убыток 0,25 коп. в секунду. Этот показатель не зависит от того, за какой запасной частью стоит механик.

Промоделируйте работу цеха в течение восьмичасового рабочего дня.

2. Метод построения модели.

В системе есть два различных типа заявок, поступающих на обслуживание к единственному прибору. Различаются распределения интервалов прихода и времени обслуживания для этих типов заявок.

Запросы категории 1 могут моделироваться одним сегментом, а запросы категории 2 – другим.

3. Таблица определений.

Единица времени моделирования 1 с.

Элементы GPSS	Интерпретация
Транзакты:	
1-й сегмент	Механики, делающие запрос категории 1
2-й сегмент	Механики, делающие запрос категории 2
3-й сегмент	Таймер
Приборы:	
SKLAD	Кладовщик
Очереди:	
LINE	Очередь, используемая для сбора статистики о механиках, делающих запросы обеих категорий

4. Структурная схема (составить самостоятельно).

5. Текст программы (составить самостоятельно).

5а. Статистика (Выполнить прогон модели и вывести результаты в виде таблицы).

Руководитель считает, что среднее число простаивающих механиков можно уменьшить, если запросы категории 2 будут выполняться быстрее запросов категории 1. Среднее время обслуживания запроса категории 2 меньше, чем категории 1.

Если обслуживающий прибор выбирает запрос с наименьшим временем обслуживания, то говорят, что имеет место дисциплина обслуживания «ближайшая операция – кратчайшая». Только в том случае, когда в очереди нет ни одного запроса категории 2, обслуживаются запросы категории 1.

Уменьшится ли среднее число механиков в очереди?

Сравните потери предприятия из-за простоя механиков. В стоимость потерь не стоит включать простои механиков во время обслуживания.

Система, которую необходимо промоделировать, аналогична приведенной выше. Усложнение заключается в том, что один из типов транзактов имеет преимущество в обслуживании.

Различие относительных приоритетов задается путем использования в качестве операнда E блока GENERATE для запросов категории 2 большего значения, чем для запросов категории 1.

Например, запросы категории 2 могут входить в модель через блок GENERATE с операндом E, равным 2, а запросы категории 1 – через блок GENERATE с операндом E, равным 1.

Вообще, абсолютный уровень приоритетов не имеет значения, важно лишь то, что транзакты, представляющие механиков категории 2, имеют приоритет по сравнению транзактами, представляющими механиков категории 1.

5б. Статистика. (Измените приоритеты транзактов, выполните прогон модели и выведите результаты в виде таблицы).

6. Выводы по работе.

Рассчитайте потери механиков для первого и второго вариантов и проанализируйте полученные результаты.

### Варианты заданий

1. В зубной кабинет с одним креслом пациент приходит каждые  $(15 \pm 2)$  мин. по записи. Каждые  $(60 \pm 10)$  мин. приходят пациенты с острой болью, которые проходят к стоматологу без очереди. Лечение плановых клиентов происходит за  $(14 \pm 6)$  мин., а пациентов с острой болью – за  $(10 \pm 3)$  мин. Начало приема врача –  $8^{00}$ , в  $11^{00}$  врач делает перерыв на 30 мин. Смоделируйте работу кабинета за шестичасовой рабочий день. Рассчитайте прибыль врача, если стоимость визита планового пациента 100 руб., а пациента с острой болью – 50 руб. На обед врач уходит, обслужив пациента, который сейчас находится в кресле.

2. В библиотеку университета, где работает один библиотекарь, приходят студенты каждые  $(8 \pm 4)$  мин. и каждые  $(60 \pm 5)$  мин. заходят преподаватели. Преподаватели обладают правом приоритетного обслуживания. Обслуживание длится  $(4 \pm 1)$  мин. Библиотека начинает работу в  $8^{00}$  часов утра, а заканчивает – в  $18^{00}$ . В  $12^{00}$  библиотека закрывается на обед на 1 час, кроме того, в библиотеке есть два 15-

минутных технических перерыва – в 10<sup>00</sup> и в 15<sup>00</sup>. Промоделируйте работу библиотеки за 1 рабочий день. Перерывы начинаются вовремя, несмотря на состав и длину очереди.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

**ПЕРЕХОД ТРАНЗАКТОВ В БЛОК,  
ОТЛИЧНЫЙ ОТ ПОСЛЕДУЮЩЕГО**

Иногда возникает необходимость передать транзакт безусловным образом в блок, отличный от последующего.

Это можно выполнить, используя блок TRANSFER (ПЕРЕДАТЬ) в режиме безусловной передачи.

Использование блока в этом режиме показано на рис.3.

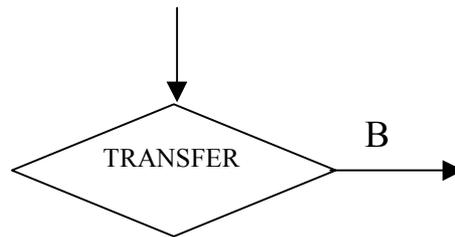


Рис.3.

Операнд А при таком использовании блока не участвует. Это значит, что в колонке 19, с которой записываются операнды, должна стоять запятая. Наличие этой запятой указывает на безусловный характер передачи.

Операнд В указывает имя блока, в который транзакт должен сделать попытку перейти. Имя блока – символьное либо номер блока.

В режиме безусловной передачи блок TRANSFER не может отказать транзакту во входе. Когда транзакт входит в блок, он сразу же пытается войти в блок В. Если блок В отказывает ему в этом, транзакт остается в блоке TRANSFER и в цепи текущих событий. В какой-то момент транзакт повторит попытку войти в блок, которая может оказаться успешной.

Использование блока TRANSFER в режиме безусловной передачи проиллюстрируем на примере моделирования системы обслуживания с прибором, очередью и обратной связью.

1. Постановка задачи.

Производство деталей определенного вида включает длительный процесс сборки, заканчивающийся коротким периодом обжига в печи.

Так как содержание печи обходится довольно дорого, несколько сборщиков используют одну печь, в которой одновременно можно обжигать только одну деталь.

Сборщик не может начать новую сборку, пока не вытащит из печи предыдущую деталь. Таким образом, сборщик работает в следующем режиме:

1. Собирает очередную деталь.
2. Ожидает возможности использования печи по принципу «первым пришел – первым обслужен».
3. Использует печь.
4. Возвращается к п.1.

Время операций:	Сборка	30±5 мин.
	Обжиг	8±2 мин.

Проведите моделирование для 40 часов рабочей недели и четырех сборщиков.

## 2. Метод построения модели.

Для моделирования на GPSS необходимо определить:

1. условия работы моделируемой системы;
2. элементы GPSS, используемые в модели.

В нашей задаче есть два вида ограничительных условий:

- одна печь;
- фиксированное число сборщиков.

Естественно, для обозначения печи используем понятие прибор, для сборщиков – транзакты. Тогда можно считать, что сборщики циркулируют в системе. Аналогично тому, как они периодически осуществляют сборку и обжиг, транзакты циркулируют в GPSS-модели системы. В реальной системе после того, как сборщик вынимает из печи обожженную деталь, он возвращается и начинает новый этап сборки. В модели после того, как транзакт завершает использование прибора, моделирующего печь, он должен быть возвращен назад посредством блока TRANSFER в блок следующей сборки.

Для ограничения общего числа транзактов, циркулирующих в модели, необходимо использовать операнд D блока GENERATE.

## 3. Таблица определений.

Единица времени 1 мин.

Элементы GPSS	Интерпретация
Транзакты:	
1 сегмент	Сборщики
2 сегмент	Таймер
Приборы:	
PECH	Печь

4. Структурная схема (составьте самостоятельно).

5. Текст программы:

```

SIMULATE
*
*   1-й сегмент
*
    GENERATE    „,4
SBOR ADVANCE   30,5
    SEIZE       PECH
    ADVANCE     8,2
    RELEASE     PECH
    TRANSFER    , SBOR
*
*   2-й сегмент
*
    GENERATE    2400
    TERMINATE   1
*
*   Управляющие команды
*
    START      1
    END

```

6. Обсуждение модели. Это первая модель, в которой представляется случай дать имя блоку. Блок ADVANCE (30,5) получил имя SBOR. Имя блока записывается со второй позиции строки набора текста программы.

Несмотря на отсутствие регистратора очередей, очередь имеет место, и транзакты остаются в блоке ADVANCE (30,5), даже если время задержки истекло.

### Варианты заданий

В автомобильной мастерской стоит одна полировальная машина для полирования некоторой детали двигателя машины. Для этого необходимо выполнить следующие этапы:

1. Извлечь деталь из автомобиля ( $12\pm 3$ ) мин.
2. Установить ее в полировочной машине ( $10\pm 4$ ) мин.
3. Фаза 1-й полировки ( $80\pm 20$ ) мин.
4. Поворот детали в машине ( $15\pm 7$ ) мин.
5. Фаза 2-й полировки ( $110\pm 30$ ) мин.
6. Достать отполированную деталь из машины ( $10\pm 4$ ) мин.
7. Установить деталь на прежнее место ( $12\pm 3$ ) мин. и перейти к этапу 1.

Деталь слишком тяжелая, и поэтому для ее подъема и переноса требуется кран. Его необходимо использовать на этапах 1, 2, 4, 6, 7. В мастерской имеется только один подъемный кран для различных работ. Для других видов работ кран может потребоваться каждые ( $39\pm 10$ ) мин. Время, на которое забирают кран, – ( $25\pm 10$ ) мин. Смоделируйте работу мастерской для 400 часов.

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Два или более приборов часто работают рядом, выполняя аналогичное обслуживание.

Таковыми приборами могут быть и люди, и механизмы (кассиры универсама, контролеры в театре, парикмахеры, места на стоянке автомобилей, подъёмные краны в металлургическом цехе и т.д.)

Если различные параллельно работающие приборы являются однородными, GPSS представляет для моделирования таких приборов специальный элемент «Многоканальное устройство».

В системе может быть несколько многоканальных устройств, поэтому им дают имена. Число приборов, которое моделируется каждым из многоканальных устройств, определяется из условий задачи и называется емкостью многоканального устройства.

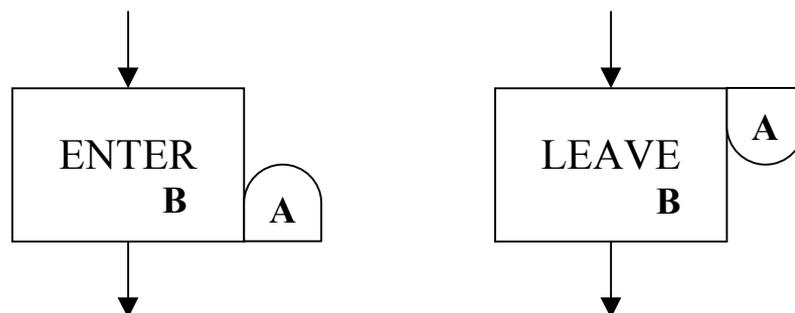
Использование многоканального устройства для моделирования одного из параллельно работающих приборов аналогично использованию одиночного прибора. Элементом, который занимает и использует устройство, является транзакт. Эти события происходят в следующем хронологическом порядке:

- 1) транзакт ожидает своей очереди, если необходимо;
- 2) транзакт занимает устройство;
- 3) устройство осуществляет обслуживание в течение некоторого интервала времени;
- 4) транзакт освобождает устройство.

Как и в случае с прибором, устройство моделируется с применением двух дополняющих друг друга блоков, которые моделируют выполнение событий 2 и 4.

Когда транзакт входит в первый из этих блоков, моделируется событие и занятие одного из группы параллельно работающих приборов. Подобным же образом, когда транзакт входит во второй из этих блоков, моделируется выполнение события «Освобождения параллельно работающего прибора».

Блоками, соответствующими состояниям «занято» и «освобождено», являются ENTER (ВОЙТИ) и LEAVE (ВЫЙТИ):



Операнд А используется для указания имени соответствующего многоканального устройства.

Когда транзакт входит в блок ENTER, интерпретатор выполняет следующие действия:

- 1) счётчик входов многоканального устройства увеличивается на 1;
- 2) текущее содержимое многоканального устройства увеличивается на 1;
- 3) доступная емкость многоканального устройства уменьшается на 1.

Подобным же образом, когда транзакт входит в блок LEAVE, интерпретатор выполняет следующие действия:

- 1) текущее содержимое многоканального устройства уменьшается на 1;
- 2) доступная ёмкость многоканального устройства увеличивается на 1.

### **Использование в блоках ENTER и LEAVE операнда В**

Иногда возникает ситуация, когда один транзакт занимает два или более приборов (например, транзакт – корабль, а многоканальное устройство моделирует причал в порту; в зависимости от размера кораблю может потребоваться несколько причалов).

GPSS по отношению к блоку ENTER реализует подход «всё или ничего». Транзакт не может занимать приборы один за другим, пока не займет требуемое число приборов.

Когда транзакт пытается войти в блок ENTER, интерпретатор проверяет, больше или равна доступная емкость многоканального устройства значению операнда В. Если результат проверки отрицателен, транзакт остается в том блоке, где он находился, и позднее снова будет пытаться войти в блок ENTER.

Действия при входе в ENTER и LEAVE такие же, что и раньше, но изменение «Текущего содержимого» и «Доступной емкости» изменяется на операнд В.

Необходимо помнить, что статистика по многоканальному устройству собирается относительно приборов, а не транзактов, – следовательно, «число входов» является полным числом приборов, занимаемых в процессе моделирования.

Соотношение «один к одному» между приборами и транзактами выполняется только тогда, когда операнд В в блоках ENTER и LEAVE равен 1.

### **Строка записи ёмкости многоканальных устройств**

Строка записи ёмкости разделена на три поля:

- поле имени;
- поле операции;
- поле операндов.

В поле имени располагается имя многоканального устройства, в поле операции – слово STORAGE (многоканальное устройство), операнд А специфицирует ёмкость многоканального устройства:

PORT STORAGE 3

где PORT – имя многоканального устройства,  
3 – многоканальное устройство содержит 3 прибора.

Строка записи ёмкости располагается сразу после строки SIMULATE (МОДЕЛИРОВАТЬ).

### **Различие между приборами и многоканальными устройствами ёмкостью 1**

Основное отличие – прибор может не только заниматься, но и захватываться. Захват означает, что даже занятый прибор немедленно должен быть предоставлен по соответствующему требованию.

### **Многоканальная система массового обслуживания с очередью**

Очень часто при параллельном обслуживании перед каждым прибором образуется очередь.

Клиент оценивает ситуацию и принимает решение, в какую очередь ему встать. В этом смысле пользователь своим выбором прибора отбрасывает другие приборы. Такое отбрасывание невозможно, когда параллельное обслуживание моделируется многоканальным устройством. Приборы, являющиеся частью многоканального устройства, не имеют своей индивидуальности. Это означает, что нет возможности разделить очереди по какому-либо признаку. Следовательно, реализуется концепция: если подошла очередь какого-либо пользователя, то он идет на обслуживание к любому свободному прибору.

Хотя пользователи не могут выбрать прибор, прибор может выбирать пользователя. Выбор осуществляется по приоритетному признаку: «первым пришел – первым обслужен внутри приоритетного класса».

Пример.

1. Постановка задачи.

Клиенты приходят в парикмахерскую с двумя креслами каждые  $(9 \pm 4)$  мин. Оба парикмахера затрачивают по  $(16 \pm 4)$  мин. на обслуживание одного клиента.

Напишите модель, собирающую статистику об очереди ожидающих клиентов. Прodelайте работу системы в течение одного дня. Пусть парикмахерская открывается в 9 часов и закрывается 17 часов и парикмахеры работают без перерыва на обед.

2. Структурная схема (составить самостоятельно).

3. Таблица определений.

Единица моделирования - 1 мин.

Элементы GPSS	Интерпретация
Транзакты:	
1-й сегмент	клиенты
2-й сегмент	таймер
Многоканальное устройство:	
PRK	парикмахер
Очередь:	
LINE	сбор статистики о многоканальном устройстве

4. Текст программы:

```

SIMULATE
PRK STORAGE      2
*
* 1-й сегмент
*
GENERATE      9,4

```

QUEUE	LINE
ENTER	PRK
DEPART	LINE
ADVANCE	16,4
LEAVE	PRK
TERMINATE	

\*  
\* 2-й сегмент  
\*

GENERATE	480
TERMINATE	1

\*  
\* Управляющие команды  
\*

START	1
END	

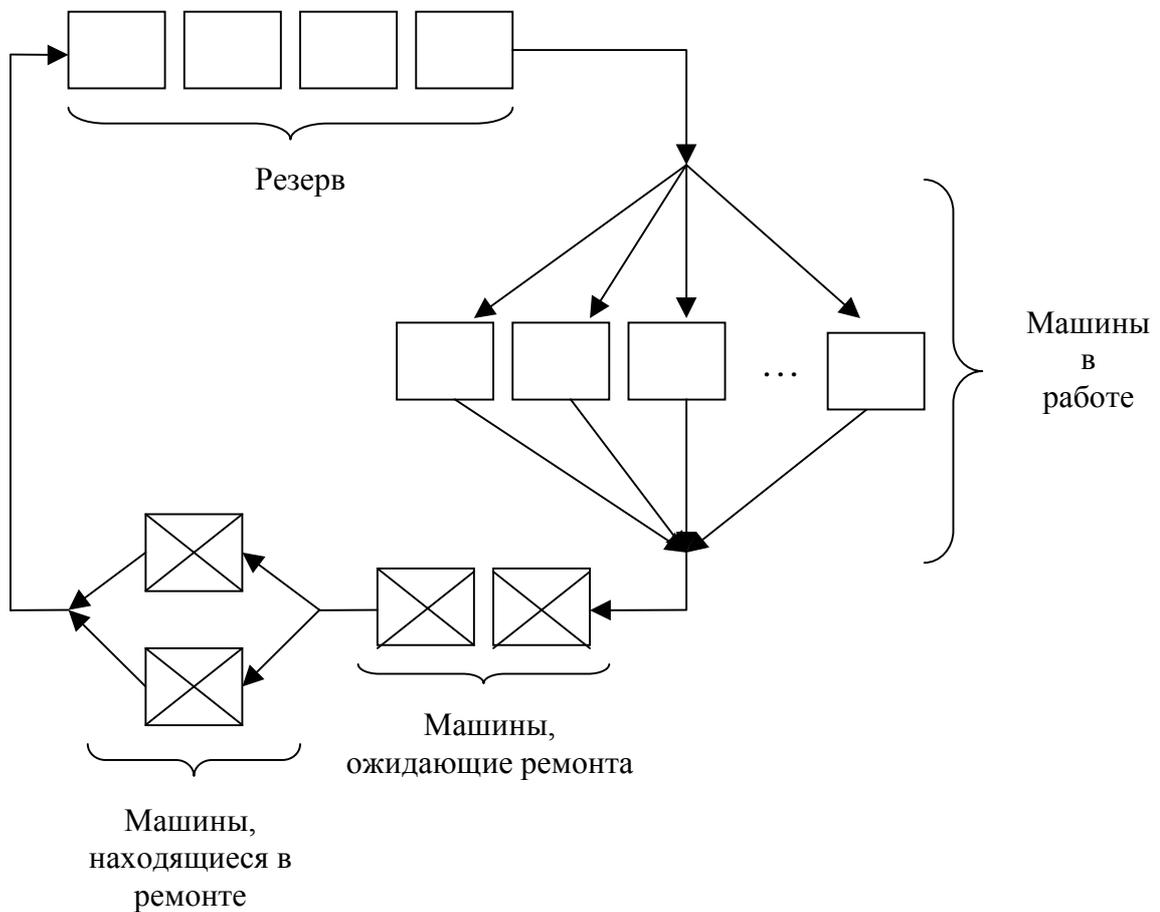
1. Результаты моделирования (выполните прогон модели и выведите результаты в виде таблицы).

### Варианты заданий

1. Задача об управлении производством.

На трикотажной фабрике 50 швейных машин работают по 8 часов в день и по 5 дней в неделю. Любая из этих машин может в любой момент времени выйти из строя. В этом случае ее заменяют резервной машиной (либо сразу, либо по мере ее появления). Вышедшую из строя машину отправляют в ремонтную мастерскую, где ее чинят и возвращают в цех, но уже в качестве резервной.

В существующем замкнутом цикле движения машин легко выделить четыре фазы:



Управляющий хочет знать:

- 1) сколько механиков нужно взять для ремонта машин;
- 2) сколько машин иметь в резерве и какую платить за них арендную плату.

Цель – минимизация стоимости производства.

Оплата рабочих-механиков – 3,75 руб/час.

За резервные машины платят 30 руб/день.

Почасовой убыток при использовании менее 50 машин в производстве оценивается в 20 руб. за машину. Этот убыток возникает из-за снижения производства.

На ремонт уходит  $(7 \pm 3)$  часа.

Время наработки машины до отказа –  $(157 \pm 25)$  часов.

Плата за аренду не работают машины или нет.

Постройте модель работы мастерской за 3 года (в году 52 недели).

## 2. Метод построения модели.

Рассмотрим ограничения:

- 1) число механиков;
- 2) максимальное число швейных машин, находящихся в производстве;
- 3) общее число машин, циркулирующих в системе.

Для моделирования условий 1 и 2 удобно использовать многоканальные устройства, а третье ограничение моделировать транзактами.

Пусть машина находится в резерве, многоканальное устройство заполнено, резервные машины не могут войти в производство. Через некоторое время какие-то из машин сломаются и выйдут из многоканального производства, а их место займут машины из резерва.

Вышедшие из строя машины теперь ожидают возможности войти в многоканальное устройство, моделирующее ремонтный участок.

Войдя в это многоканальное устройство, транзакт играет роль ремонтируемой машины. Отремонтированная машина вновь возвращается в резерв. Общее число машин, циркулирующих в системе, равно 50 собственным машинам плюс некоторое число арендуемых для резерва.

Это число следует задавать до начала прогона модели с использованием ограничителя блока GENERATE.

Промоделируйте все ситуации, когда арендуются 3, 4, 5 машин, а в мастерской работают 3, 4, 5 механиков.

Составьте следующие таблицы:

1. Среднее значение работы многоканального устройства.

Механики	Машины		
	53	54	55
3			
4			
5			

2. Дневные расходы, руб/день.

а) фиксированная плата (плата за резерв машин плюс зарплата механикам)

Механики	Резерв машин		
	3	4	5

3			
4			
5			

б) потери из-за снижения объёма производства

Механики	Машины		
	53	54	55
3			
4			
5			

в) общие дневные расходы

Механики	Машины		
	53	54	55
3			
4			
5			

2. Необходимо промоделировать работу участка цеха, состоящего из нескольких станков и обрабатывающего два потока деталей различного типа.

Маршрут обработки:

1-й поток – операция 1 – операция 2 – операция 3;

2-й поток – операция 4 – операция 5 – операция 6.

На станке А1 выполняются операции 1 и 4; на станке А2 – 2 и 5; на станке А3 – 3 и 6.

Интервалы времени между поступлениями деталей и времена выполнения операций распределены равномерно.

Время поступления деталей:

первый поток -  $30 \pm 5$  мин.;  
второй поток -  $20 \pm 5$  мин.

Информация о времени выполнения операций (таблица)

№ операции	1	2	3	4	5	6
Время	$5 \pm 2$	$20 \pm 4$	$8 \pm 3$	$7 \pm 3$	$15 \pm 5$	$10 \pm 5$

Смоделируйте работу участка за 5 восьмичасовых рабочих дней.

Определите по результатам моделирования:

- среднюю загрузку станка;
- среднее время обработки детали;
- длину очереди;
- размер склада для готовой продукции.

Предложите способы модификации участка с целью повышения эффективности его работы.

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7*

**ПЕРЕХОД ТРАНЗАКТА СЛУЧАЙНЫМ ОБРАЗОМ  
В ОДИН ИЗ ДВУХ БЛОКОВ**

Иногда бывает необходимо передать транзакт в один из блоков случайным образом, при этом надо выбирать одну из двух возможностей.

Это можно сделать, применяя блок TRANSFER (ПЕРЕДАТЬ) в режиме статистической передачи. Первым операндом является вероятность перехода транзакта в блок, имя которого находится в поле операнда С. Во всех остальных случаях транзакт переходит в блок, определяемый операндом В. В операнде А записывается не более трех цифр:

TRANSFER .25, WORK, PLAY

В примере 25% всех транзактов переходят в блок PLAY, а в остальных 75% случаев переходят в блок WORK.

Возможен вариант использования блока TRANSFER в режиме статистической передачи, когда операнд В не используется:

TRANSFER .333, , MEN

В примере 33,3% всех транзактов переходят в блок MEN, а в остальных 67,7% случаев транзакты «проваливаются» в блок следующий за блоком TRANSFER.

В режиме статистической передачи блок TRANSFER не запрещает транзакту входить в него.

Когда транзакт входит в блок, происходит выбор следующего блока. Затем транзакт пытается войти в выбранный блок.

Если вход запрещен, транзакт остается в блоке TRANSFER и в цепи текущих событий.

При каждом последующем просмотре цепи текущих событий делается новая попытка войти в выбранный блок.

Возможно, что одна из таких попыток окажется успешной.

Пример моделирования.

1. Постановка задачи.

Собранные телевизионные приемники после сборки проходят серию испытаний на станциях технического контроля.

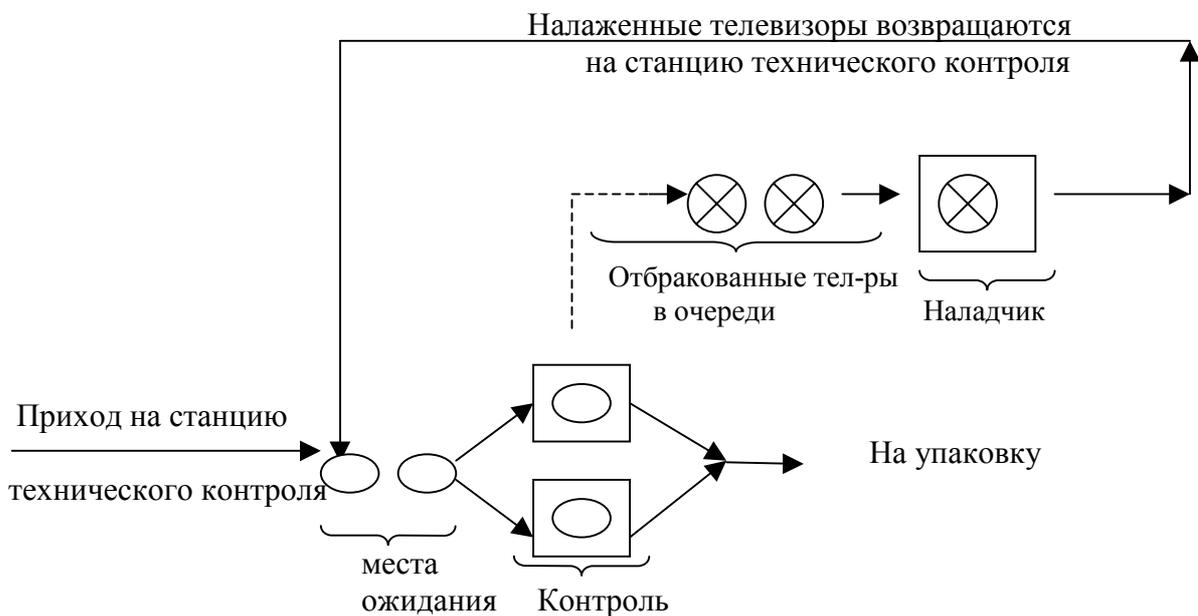
На последней из этих станций проверяют регулировку установки кадров по вертикали.

Если оказывается, что функционирование телевизора ненормально, то отбракованный телевизор переправляют в цех наладки, где заменяют блок установки кадров по вертикали.

После наладки телевизор возвращают на последнюю станцию контроля и снова проверяют.

Телевизионные приемники уходят с последней станции после одной или нескольких проверок в цех упаковки.

Функциональная схема



Телевизионные приемники попадают на последнюю станцию с предыдущей каждые  $5,5 \pm 2$  мин.

На станции находятся два контролера.

Каждому из них на проверку требуется  $8,5 \pm 3$  мин.

Примерно 85% телевизоров проходят проверку успешно и попадают в цех рабочей упаковки.

Остальные 15% попадают в цех наладки, в котором находится один рабочий – наладчик.

Наладка блока регулировки по вертикали занимает  $25 \pm 10$  мин.

Напишите на GPSS модель функционирования этого подразделения производственной линии.

Время моделирования – 8-часовой рабочий день.

## 2. Метод построения модели.

Такую модель можно реализовать в виде одной последовательности блоков.

Транзакты–телевизоры проходят последовательность

QUEUE – ENTER – DEPART – ADVANCE – LEAVE

(стать в очередь)–(войти)–(покинуть очередь)–(задержаться)–(выйти),

моделирующую станцию контроля.

Из блока LEAVE они входят в блок TRANSFER (передать) в режиме статистической передачи. Отсюда в 85% случаев они «проваливаются» в блок TERMINATE (ЗАВЕРШИТЬ).

Остальные 15% переходят в последовательность

QUEUE – SEIZE – DEPART – ADVANCE – RELEASE

(стать в очередь)–(занять прибор)–(выйти из очереди)–(задержать)–(освободить прибор),

моделирующую станцию наладки.

После выхода из блока RELEASE транзакты безусловно передаются в блок QUEUE, связанный со станцией контроля.

Смоделировать работу станции контроля и наладки и проанализировать полученные данные.

### 3. Таблица определений

Единица времени 0,1 мин.

Элементы GPSS	Интерпретация
Транзакты:	
1-й сегмент	Телевизоры
2-й сегмент	Транзакт-таймер
Приборы:	
FIXER	Рабочий-наладчик
Многоканальное устройство:	
TEST	Рабочие на станции тех. контроля
Очереди:	
AREA1	Места для ожидания на контроле
AREA2	Места для ожидания наладки

## Варианты заданий

1. В примере было принято нереальное предположение о том, что даже после того, как телевизор прошел наладку, вероятность его отбраковки после контроля всё равно остается 0,15.

Видоизмените модель с учетом того, что после одного или более прохождений через цех наладки вероятность отбраковки становится 0,03.

С помощью этой модели оцените, сколько мест на стеллажах необходимо предусмотреть на входе станции контроля и в цехе наладки.

Место на стеллажах – это пространство, предназначенное для хранения ожидающих в очереди элементов, в данном случае телевизионных приемников.

Счетчики максимального содержимого для обеих очередей можно интерпретировать как объем места на стеллажах, предназначенных для хранения приемников на станциях контроля и наладки соответственно.

2. К секции одежды универмага покупатели приходят каждые  $(2 \pm 1)$  мин. Покупатели, вошедшие в секцию, действуют следующим образом:

- 60% покупателей только осматривают товар и уходят;
- половина оставшихся покупателей осматривает, примеряет, но не покупает, а снова переходит к осмотру товара.

Осмотр товара длится  $(5 \pm 2)$  мин., примерка –  $(10 \pm 5)$  мин.

Для примерки одежды используется специальная кабинка.

Вход в секцию доступен, только если в ней находится не более 19 человек.

Смоделируйте работу секции в течение 8 часов.

Укажите минимальное число кабинок, необходимое для того, чтобы перед ними не скапливалось более двух человек. Проследите динамику очереди перед входом в отдел.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ОГРАНИЧЕНИЕ ОЧЕРЕДИ

#### 1. Постановка задачи.

В женскую парикмахерскую приходят клиенты трех типов: для стрижки, для химической завивки, для стрижки и химической завивки одновременно. Распределение интервалов их приходов соответственно  $(20 \pm 10)$  мин.,  $(30 \pm 10)$  мин.,  $(35 \pm 15)$  мин.

Парикмахер тратит на стрижку  $(18 \pm 6)$  мин., на химическую завивку  $(40 \pm 5)$  мин.

Стоимость стрижки составляет 20 руб., а химической завивки – 70 руб.

Парикмахер вместе с местом обслуживания обходится в 100 руб./день.

Исследуйте работу парикмахерской в течение восьмичасового рабочего дня, если можно, установите приоритет для посетителей.

Мест для ожидания в очереди – три.

#### 2. Метод построения модели.

В предложенной задаче на очередь накладывается ограничение – не более трех. Для моделирования такой ситуации необходимо очередь моделировать как многоканальное устройство емкостью 3, а при его заполнении вновь прибывшие заявки покидают очередь необслуженными. Команда, отсеивающая лишние заявки:

IF MNU=F,BЛОК1

где

MNU – имя многоканального устройства;

IF MNU=F – «если многоканальное устройство заполнено»;

BЛОК1 – имя блока, куда переправляются необслуженные заявки.

Самостоятельно проведите моделирование и проанализируйте полученные результаты.

### Варианты заданий

1. Психолог в службе «Телефона доверия» ведет разговор с клиентом в течение  $(25 \pm 15)$  мин. Запросы на разговор поступают каждые  $(20 \pm 5)$  мин. Клиент, услышавший сигнал “занято”, бросает трубку. Определите необходимое количество психологов, чтобы доступ к разговору получили не менее 90% клиентов.

Промоделируйте работу службы доверия для одной недели, если время работы ежедневно с 20.00 до 24.00.

2. В телевизионное ателье поступают заявки на ремонт телевизоров двух типов: на мелкий ремонт, производимый на дому, и на крупный ремонт, производимый в ателье. Поступление заявок распределяется соответственно:  $(2 \pm 0,5)$  час и  $(5 \pm 1)$  час. Мастер затрачивает на ремонт в среднем  $(1 \pm 0,5)$  час и  $(5 \pm 3)$  час. Кроме того, на дорогу тратится  $(1 \pm 0,4)$  час.

Определите оптимальное количество мастеров, если заявка ставится в очередь, когда в ней находится не более 10 заявок. Отдельные заявки теряются, убытки от этого составляют 20 руб. Потери от простоя мастера составляют 5 руб/час. Промоделируйте работу телеателье в течение 24 недель (неделя – пять 8-часовых рабочих дня). Исследуйте модель с различными вариантами приоритетов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В GPSS

Во всех ранее рассмотренных моделях интервалы прихода требований и времени их обслуживания предполагали распределенными равномерно.

Для описания неравномерных распределений разработчик должен воспользоваться функциями. Изменения включают два этапа:

1. Необходимо определить функции, описывающие каждое из неравномерных распределений.
2. Во всех блоках GENERATE и ADVANCE операнды A и B, описывающие равномерные распределения, должны быть заменены ссылками на соответствующие функции.

Предположим, что случайная переменная может получать значения 6, 7, 8, 9, 10, с относительной частотой 0,15; 0,20; 0,25; 0,22 и 0,18.

Заполним таблицу – в первом столбце запишем значения переменной, во втором столбце – относительные частоты их использования, в третьем столбце запишем функцию распределения, записанную в интервале от 0 до 1. Она образуется путем суммирования функции распределения предыдущего значения случайной переменной и относительной частоты, соответствующей данному значению случайной переменной. В нашем случае 0,15; 0,35; 0,60; 0,82; 1,00.

В четвертом столбце запишем диапазоны интервалов, соответствующие каждому из значений:

- 0,0 ÷ 0,15;
- 0,15 ÷ 0,35;
- 0,35 ÷ 0,60;
- 0,60 ÷ 0,82;
- 0,82 ÷ 1,00

Например, значению 7 соответствует интервал 0,15 ÷ 0,35.

Наконец, пятый столбец – порядковый номер интервала.

Значения переменной	Относит. частота	Функция распределения	Диапазоны интервалов	Порядков. номер интервала
6	0,15	0,15	0,0 ÷ 0,15;	1
7	0,20	0,35	0,15 ÷ 0,35;	2
8	0,25	0,60	0,35 ÷ 0,60;	3

9	0,22	0,82	0,60 ÷ 0,82;	4
10	0,18	1,0	0,82 ÷ 1,00	5

Покажем теперь, каким образом происходит выбор переменной. В GPSS существует генератор случайной величины, который выдает шестизначное число из выборки равномерно распределенных в интервале 0,000000 – 1,000000.

Допустим, генератор выбрал число 0,52. Просматривая таблицу, видим, что число 0,52 попадает на интервал 3. Искомым значением переменной будет третье ее значение, то есть 8.

Посмотрим теперь задание дискретной функции GPSS.

1. Функции должно быть присвоено имя. Соглашения об именах приборов, очередей и многоканальных устройств остаются в силе и для функции.

2. Необходимо задать аргумент функции. Аргумент задается в виде RNj, где j = 1,8. Выбор числа остается за пользователем. RN означает генератор случайных чисел, а j показывает номер генератора (всего их 8).

3. Необходимо задать число различных значений, которые может принимать случайная переменная.

4. Необходимо задать сами значения переменной и соответствующие значения функции распределения (суммарной частоты).

Три первых элемента задаются в одной строке, называемой строкой определения функции.

В поле имени 2-6 – имя функции.

В поле операции 8-18 – слово FUNCTION.

В поле операндов с 19 – операнды A и B.

Запись осуществляется после команды SIMULATE.

Операнд A – источник случайных чисел RNj, j=1,8.

Операнд B состоит из символа D (для дискретных функций) и целого числа, определяющего количество значений, которые может принимать случайная величина.

На следующей строке – значения случайной величины и соответствующие им значения функции распределения.

Со второй позиции:  $X_1, Y_1 / X_2, Y_2 / \dots / X_n, Y_n$

где  $X_i$  –  $i$ -я суммарная частота,

$Y_i$  – соответствующее значение переменной, причем  $X_1 < X_2 < X_3 < \dots < X_n$ , то есть суммарные частоты расположены в порядке возрастания.

Для нашего примера:  
 .15,6 / .35,7 / .6,8 / .82,9 / 1,10

Использование дискретных функций в блоках GENERATE и ADVANCE.

Способ определения функции в блоке зависит от того, как задано имя функции: в символическом или числовом виде. Если имя функции числовое, то ссылка на функцию записывается как

FNj, где j – имя функции (FN16, 16 – имя функции); если имя символическое, ссылка на функцию записывается в виде FN \$ имя (FN \$ FUNC, FUNC – имя функции).

### Задание

Задача о сборке и обжиге деталей.

Производство деталей определенного типа включает в длительный процесс сборки, заканчивающийся коротким периодом обжига в печи. Поскольку содержание печи обходится довольно дорого, несколько сборщиков используют одну печь, в которой одновременно можно обжигать только одну деталь. Сборщик не может начать новую сборку, пока не вытащит из печи предыдущую деталь.

Таким образом, сборщики циклически повторяют следующие операции.

1. Сборка очередной детали.
2. Ожидание возможности занять печь при дисциплине выборки из очереди «первым пришел – первым обслужен».
3. Использование печи для обжига детали.
4. Возврат в пункт 1.

Проведите моделирование на интервале пятидневной 8-часовой рабочей недели и определите оптимальное число сборщиков, использующих одну печь. Под оптимальным понимают такое число, которое дает максимальную прибыль. Предположите, что в течение рабочего дня нет перерывов, а рабочие дни идут подряд без выходных дней.

Стоимость операций/изделий:

Зарплата сборщика – 3,75 руб. в час;

- Стоимость печи – 80 руб. за 8-часовой рабочий день  
(вне зависимости от времени использования);
- Цена материала – 2 руб. за одну деталь;
- Стоимость готового изделия – 7 руб. за одну деталь.

Время сборки	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Относит. частота	0,01	0,03	0,05	0,1	0,18	0,26	0,18	0,1	0,05	0,03	0,01

Время использования печи:

Время	6	7	8	9	10
Относительная частота	0,05	0,25	0,4	0,25	0,05

Чтобы вычислить прибыль, соответствующую заданному числу сборщиков, необходимо знать, какое количество готовых деталей они сделали в течение моделируемого периода. Число использования печи в точности совпадает с этим значением.

Просчитайте модель с 4, 5 и 6 сборщиками.

Статистика.

Кол-во сборщиков	Прибор	Ср. загрузка	Число входов	Ср. время/транзакт
4	РЕСН			
5				
6				

Проанализируйте результаты и определите оптимальное число сборщиков.

Кол-во сборщиков	Стоимость использ. печи	Зарплата	Кол-во деталей	Прибыль
4				
5				
6				

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ

Кроме дискретных величин, *GPSS* позволяет задавать непрерывную функцию.

Как и дискретная, непрерывная задается парой чисел – функцией распределения и значениями функции в двух точках – в начальной и  $(n+1)$ -й, где  $n$  – конечная точка.

Функция распределения задается двумя значениями: 0 в первой паре и 1 во второй. Так как генератор случайных чисел не дает 1, конечная точка в розыгрыше не участвует, для этого и берется точка  $(n+1)$ .

В начальной фазе непрерывная функция вычисляется так же, как и дискретная.

При обращении к функции разыгрывается случайное число, затем просматривается таблица для определения интервала значений суммарной вероятности, на который выпало случайное число.

В случае дискретной функции берут второй элемент соответствующей пары, и его значение считается значением функции.

Если функция определена как непрерывная, выполняется линейная интерполяция для пары крайних точек.

Результат интерполяции и является значением функции.

Непрерывная функция определяется с помощью символа *C* (в отличие от символа *D* для дискретных функций) в строке определения функции.

Например, поступление потока заявок описывается непрерывной функцией на отрезке  $10 \div 20$  мин.

В программе это записывается следующим образом:

```
SIMULATE
FUN1 FUNCTION RN1,C2
0,10/1,21
```

### Моделирование пуассоновских потоков

Если интервалы времени поступления заявки распределены по экспоненциальному закону, говорят об интенсивности прихода распределения по закону Пуассона, или пуассоновским потоком. При пуассоновском потоке используется функция *XPDIS*.

В начале программы записывается пуассоновский поток:

XPDIS FUNCTION RN1,C24  
 0, 0 / .1, .104 / .2, .222 / .3, .355 / .4, .509  
 .5, .69 / .6, .915 / .7, 1.2 / .75, 1.38  
 .8, 1.6 / .84, 1.83 / .88, 2.12 / 0.9, 2.3  
 .92, 2.52 / .94, 2.81 / .95, 2.99 / .96, 3.2  
 .97, 3.5 / .98, 3.9 / .99, 4.6 / .995, 5.3  
 .998, 6.2 / .999, 7 / 1., 8

В блоках GENERATE и ADVANCE в качестве параметра A используется среднее время между двумя поступлениями.

Интенсивность равна четырем в течение 24 часов, – следовательно, среднее время – 8 часов. Для точности вычислений необходимо так масштабировать время, чтобы среднее время было не меньше 50.

### Варианты заданий

1. В кладовую за запасными деталями приходят рабочие трех типов соответственно через каждые  $(5,2 \pm 2)$  мин.,  $(3 \pm 1,5)$  мин.,  $(7 \pm 4,5)$  мин. Для поиска соответствующих деталей кладовщику требуется  $(4,4 \pm 3)$  мин.,  $(2 \pm 1)$  мин.,  $(5,2 \pm 3,6)$  мин. После получения деталей рабочий затрачивает время на ремонт станка, распределенное по экспоненциальному закону, со средним 3, 2 и 4 мин. соответственно. Потери от простоя станков равны соответственно 4, 5 и 6 руб. в час. Для содержания дополнительного кладовщика требуется 10 руб. в час. Определите оптимальное количество кладовщиков для работы на складе и оптимальный порядок обслуживания заявок. Время моделирования – 8 часов.

2. В почтовое отделение поступает пуассоновский поток клиентов трех типов:

- клиенты, отправляющие посылки, со средним временем появления 7 мин.;

- клиенты, которые получают посылки, со средним временем появления 5 мин.;

- посетители, покупающие открытки, со средним временем появления 2 мин.

Время обслуживания клиентов составляет  $(12 \pm 3)$  мин.,  $(5 \pm 2)$  мин.,  $(1 \pm 0,5)$  мин.

Клиенты третьего типа уходят, если в очереди более трех человек, клиенты первого типа уходят, если в очереди более 7 человек.

Смоделируйте работу отделения за 4 часа работы и найдите оптимальное количество обслуживающего персонала, если известно, что потери клиентов первого и третьего типов составляют 30 и 3 руб. с человека. Стоимость работы почтового служащего составляет 13 руб/час.

3. Одна насосная станция закачивает 1 тонну нефти за  $(15 \pm 5)$  мин. На станцию поступают заявки двух типов: на 5 и на 10 тонн нефти. Поток заявок на нефть подчинен Пуассоновскому закону, со средним 50 мин. каждый.

Определите необходимое количество насосных станций, если потери от простоя насоса составляют 80 руб/час, в ожидании может находиться не более трех заявок. Кроме того, заявки теряются, при этом убыток составляет 200 руб.

Рассмотреть возможность приоритетного обслуживания заявок для оптимального обслуживания. Насосные станции работают круглосуточно.

Смоделируйте работу станций за 1 месяц.

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11***УПРАВЛЯЮЩИЕ КАРТЫ GPSS****Команда R M U L T**

Как указывалось ранее, GPSS располагает 8 генераторами случайных чисел, каждый из них имеет связанный с ним множитель.

Значение любого генератора изменяется при каждом обращении к нему для выполнения процедуры генерации. Следовательно, имеет смысл говорить о некотором начальном значении множителя, а при обращении к генератору – о текущем значении множителя.

Если не указаны никакие дополнительные сведения, то начальным значением любого из 8 множителей в схеме генерации случайных чисел в GPSS является единица (или другое число).

По умолчанию все восемь генераторов воспроизводят одну и ту же последовательность случайных чисел.

Синхронность редко бывает необходимой. Поэтому в GPSS есть специальная команда управления, с помощью которой текущее значение одного или нескольких из 8 множителей генераторов может быть изменено.

Эту команду управления можно использовать:

1) до первой команды START для изменения начального, задаваемого по умолчанию, значения любого числа множителей (не > 8) перед началом моделирования;

2) между командами START для восстановления начальных состояний множителей одного или более генераторов; множители могут быть восстановлены либо в значения, задаваемые по умолчанию интерпретатором с самого начала, либо в указанные значения, который пользователь задал в начале работы;

3) между командами START для определения нового состава множителей.

Команду управления, используемую для этих целей, называют картой RMULT (установить значения генераторов). В этой команде поле имени не используют. Слово RMULT записывается в поле операции.

Могут быть использованы 8 операндов от A до H, соответствующие генераторам 1-8.

Для изменения текущего значения множителя генератора задается целое нечетное положительное число, содержащее не более 5 цифр в соответствующем операторе карты RMULT.

Пример.

RMULT 1,1,1,1,1,1,1

RMULT ,1,1,,1

RMULT 453,721,555

В программе использование команды RMULT будет выглядеть следующим образом:

```
START 1
RMULT 13,15,,1,7
CLEAR
START 1
RMULT 1,145,9,,315
CLEAR
... и т.д.
```

Команда CLEAR используется для очистки предыдущих значений множителя.

### Задание

Измененная дисциплина обслуживания в системе с одним прибором и очередью.

1. Постановка задачи.

На некоторой фабрике в кладовой работает 1 кладовщик. Он выдает запасные части механикам, обслуживающим станки.

Два типа запасных частей.

Категория запроса	Интервалы времени прихода механиков	Время обслуживания
1	$60 \div 780$	$210 \div 390$
2	$120 \div 600$	$70 \div 130$

Время прихода и время обслуживания представляют собой непрерывные функции.

В 1-й этап моделирования исследуйте 10 различных дней работы кладовой. Рабочий день длится 8 часов, без перерывов на обед.

Кроме того, необходимо построить модель с приоритетами и без приоритетов.

Результат моделирования

День	Число входов в очередь	Среднее содержимое очереди					
		без приор.	Δ	с приоритетами			
				1,2	Δ	2,1	Δ
1							
2							
...							
10							
Среднее значение			-		-		-
Ср.кв.отклонение	_____		-		-		-

Найдите разницу между средними длинами очередей в каждом из рядов и среднее значение отклонений.

Простой механика в очереди приносит убыток 0,25 руб/сек.(3руб/час). Посчитайте среднее значение убытков.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

## ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗАКТОВ

### 1. Постановка задачи.

Небольшой продовольственный магазин состоит из трех прилавков и кассы на выходе из магазина.

Покупатели приходят в магазин, входной поток имеет пуассоновский характер, причем среднее значение интервала прихода составляет 75 с.

Войдя в магазин, каждый покупатель берет корзинку и может обойти один или несколько прилавков, отбирая продукты.

Характеристика покупок:

№ прилавка	Вероятность выполнения покупок	Время обхода прилавка, с	Число покупок, сделанных у прилавка
1	0,75	120± 60	3±1
2	0,55	150±30	4±1
3	0,82	120±45	5±1

Время, требуемое для обхода прилавка, и число покупок, выбранных у прилавка, распределены равномерно.

После того как товар отобран, покупатель становится в конец очереди к кассе.

Уже стоя в очереди, покупатель может захотеть сделать еще (2±1) покупки.

Время обслуживания покупателя в кассе пропорционально числу сделанных покупок. На 1 покупку уходит 3 сек. проверки.

После оплаты продуктов покупатель оставляет корзинку и уходит.

Замечания к построению модели:

1. Число покупок у каждого прилавка и в конце очереди задается в виде непрерывной функции:

AIL1 FUNCTION RN1, C2

0,2/1,4

AIL2 FUNCTION RN1, C2

0,3/1,5

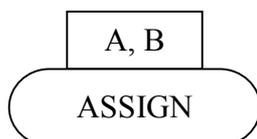
AIL3 FUNCTION RN1, C2

0,4/1,6

IMPUL FUNCTION RN1, C2

0,1/1,3

2. Используется блок TRANSFER в статистическом режиме для моделирования вероятностей подхода к прилавку.
3. Для моделирования увеличения числа покупок используется блок ASSIGN (назначить)



A – параметр транзакта;  
B – измененное значение.

В нашей задаче блок используется в режиме приращения.

У каждого транзакта может быть до 12 параметров (по умолчанию).

В нашем случае назначим первым параметром количество покупок.

Параметр A блока ASSIGN – 1+ (+ - в режиме приращения).

Параметр B – количество покупок, определяемое функциями AYL и IMPUL.

Для нашей задачи параметры A и B будут иметь вид соответственно:

1. 1, FN\$AYL1 ;
2. 1+, FN\$AYL2 ;
3. 1+, FN\$AYL3 ;
4. 1+, FN\$IMPUL .

4. Задание интервала обслуживания в кассе.

Блок ADVANCE , параметр FN\$COTYM.

Функция COTYM задается в начале программы.

Зависимость времени от количества покупок задается в начале программы:

COTYM FUNCTION P1, C2

1,3/18,54

P1 – значение параметра, где содержится количество покупок каждого транзакта (покупателя);

пара 1, 3 – на обслуживание одной покупки затрачивается 3 с;

пара 18, 14 – на обслуживание 18 покупок затрачивается 54 с.

5. Емкость многоканального устройства = Время / среднее время прихода.

### **Задание**

Постройте модель, описывающую процесс покупок в продовольственном магазине.

Проведите моделирование 8-часового рабочего дня и определите:

- 1) нагрузку кассира;
- 2) максимальную длину очереди перед кассой;
- 3) сколько покупок в среднем сделал один покупатель;
- 4) считая, что число корзинок не ограничено, определите максимальное число корзинок, находящихся у покупателей одновременно.

*ЛИТЕРАТУРА*

1. *Шрайбер Г.Дж.* Моделирование на GPSS. М.: Машиностроение, 1980.
2. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем: Лабораторный практикум. М.: Высшая школа, 1989.
3. *Морозова Е.И., Назаренко Н.В.* Имитационное моделирование в среде GPSS: Учебно-методическое пособие. Благовещенск: АмГУ, 1997.

**Шпехт Ирина Александровна,**

*доцент кафедры информационных и управляющих систем АмГУ,  
канд. техн. наук;*

**Саакян Рустам Рафикович,**

*доцент кафедры математического анализа и моделирования АмГУ,  
канд. техн. наук.*

**Моделирование систем массового обслуживания в среде GPSS: Учебно-методическое пособие.**