

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кузбасский государственный технический
университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра информационных и автоматизированных
производственных систем

Составители
В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов,
П.И. Николаев, И.С. Кузнецов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО ПОДХОДА

Методические указания к лабораторной работе

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления подготовки
15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
в качестве электронного издания для использования в образовательном
процессе

Кемерово 2022

Рецензенты:

Чичерин И. В. – к.т.н., доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем

Зиновьев Василий Валентинович

Стародубов Алексей Николаевич

Николаев Петр Игоревич

Кузнецов Игорь Сергеевич

Моделирование систем массового обслуживания при помощи имитационного подхода: методические указания к лабораторной работе для обучающихся направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств, всех форм обучения / сост. В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев, И.С. Кузнецов; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2022. – Текст : электронный.

В данных методических указаниях разработанных по дисциплине «Математическое моделирование» приведены цель и задача, общие сведения об изучаемом материале, задания для выполнения, вопросы для самопроверки. Рекомендуемая литература для самостоятельной подготовки приведена в рабочей программе дисциплины.

© Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2022

© В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев, И. С. Кузнецов, составление, 2022

Оглавление

1	Основные теоретические положения.....	4
1.1	Системы массового обслуживания.....	4
1.2	Классификация систем массового обслуживания.....	6
1.3	Представление АПС в виде СМО	8
1.4	Общие сведения о GPSSWorld	9
1.5	Моделирование начала технологического процесса	11
1.6	Моделирование завершения технологического процесса.....	13
1.7	Моделирование технологических операций.....	15
1.8	Моделирование технологического оборудования	16
1.9	Запуск и настройка расширенного редактора GPSSWord.....	18
2	Пример выполнения лабораторной работы	20
2.1	Проведение имитационных экспериментов и анализ результатов	25
3	Задание на лабораторную работу	28
4	Требования к отчету	29
5	Контрольные вопросы	30
6	Список рекомендуемой литературы	30

Цель работы – приобретение практических навыков у магистров по разработке имитационных моделей систем массового обслуживания с помощью среды компьютерного моделирования GPSSWorld.

1 Основные теоретические положения

1.1 Системы массового обслуживания

В основе GPSSWorld лежит математический аппарат систем массового обслуживания (СМО). Теория массового обслуживания предназначена для формализации процессов функционирования систем, которые по своей сути являются процессами обслуживания. В качестве процесса обслуживания могут быть представлены различные по своей физической природе процессы функционирования производственных, технических, информационных, экономических и многих других систем. Например, заявки на обработку различных заготовок, потоки деталей и комплектующих изделий на сборочном конвейере цеха, потоки поставок продукции некоторому предприятию, потоки заданий в вычислительную систему и др. При этом характерным для работы таких объектов является случайное появление заявок на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени, то есть вероятностный характер процесса их функционирования.

Система массового обслуживания описывается потоком заявок, механизмом обслуживания, вместимостью системы и дисциплиной обслуживания. Эти атрибуты СМО более подробно описаны в [Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.].

Структура простой СМО изображена на рис. 1.1.

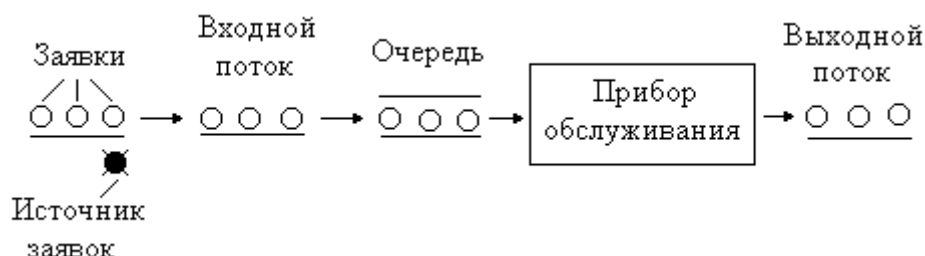


Рис. 1.1 Структура системы массового обслуживания

Источник заявок (требований) – формирует входной поток, задерживая на какой-то отрезок времени поступление заявки в его состав.

Входной поток – временная последовательность событий на входе СМО, для которой появление события подчиняется вероятностным или детерминированным законам. Из входного потока заявки поступают на вход блока очереди. Блок очереди (очередь) – в соответствии с заданным вероятностным (или детерминированным) законом осуществляет выборку (или перераспределение) во времени событий во входном потоке для выдачи их на вход прибора обслуживания. Алгоритм постановки требований в очередь называют правилом формирования очереди, а алгоритм взаимодействия обслуживающих приборов с очередью – дисциплиной обслуживания. Прибор обслуживания осуществляет задержку во времени каждого поступившего на его вход события, в соответствии с заданным детерминированным или случайным законом обслуживания. Обслуженная заявка с некоторой задержкой относительно поступившей на вход прибора поступает в выходной поток. Выходной поток отличается от входного в зависимости от правила формирования очереди и дисциплины обслуживания.

Для СМО характерно, что все явления описываются с помощью событий, которые появляются в те или иные моменты времени, то есть событиями могут являться: начало и окончание обработки заготовки или сообщения, перемещение транспортного средства от одной точки до другой и т. д. Идеализация СМО заключается в том, что все остальные свойства реальных систем, которые не вписываются в эту модель событий, не учитываются (например, коэффициенты трения, температура процессора, изменение скорости при движении транспортного средства и т. д.).

В зависимости от соотношения времени между поступлением заявок и временем обслуживания заявок возможна одна из трех ситуаций:

- Скорость обслуживания меньше скорости поступления заявок и перед прибором образуется очередь;
- Скорость обслуживания равна скорости поступления заявок;

- Скорость обслуживания больше скорости поступления заявок и прибор используется не полностью.

Таким образом, при отображении процесса в виде СМО, как правило, решаются три основных задачи:

- Определение размера очереди заявок перед прибором;
- Оценка времени обслуживания заявки несколькими приборами;
- Оценка степени использования приборов.

1.2 Классификация систем массового обслуживания

Существует достаточно большое число различных моделей СМО. Рассмотрим их краткую классификацию, выделяя основные признаки.

1. По характеру источника заявок различают источники с конечным числом заявок и источники с бесконечным числом заявок. СМО с конечным числом заявок называются замкнутыми, а системы с бесконечным числом заявок – разомкнутыми. В первом случае в системе циркулирует конечное, обычно постоянное, число заявок. Заявки после завершения обслуживания возвращаются в источник, где они пребывают в течение некоторого времени; затем вновь поступают в систему. Во втором случае источник генерирует бесконечное число заявок, и работа источника никак не зависит от работы обслуживающей системы. Примером замкнутой СМО может служить процесс восстановления нескольких единиц оборудования несколькими ремонтниками (рис.1.2).

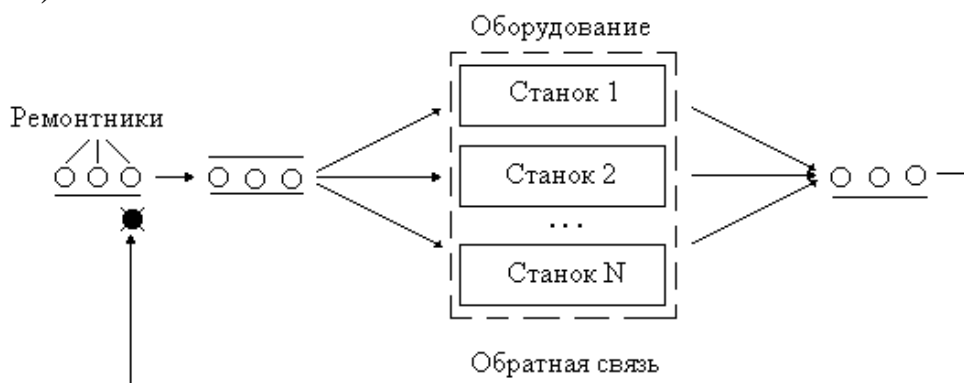


Рис. 1.2 Структура замкнутой СМО

2. По отсутствию или наличию возможности ожидания для заявки выделяют системы с отказами и системы с ожиданием. В

системах с отказами (с потерями) заявка, поступившая в момент, когда все обслуживающие приборы заняты, получает отказ, покидает систему и в дальнейшем процессе обслуживания не участвует. В системах с ожиданием (или без потерь) заявка, поступившая в момент, когда все приборы обслуживания заняты, становится в очередь и ожидает, пока не освободится один из приборов обслуживающей системы. Как только освобождается прибор, принимается к обслуживанию одна из заявок, стоящих в очереди. Системы с ожиданием делятся на системы с неограниченным ожиданием и системы с ограниченным ожиданием. В случае неограниченного ожидания любая заявка, рано или поздно пришедшая в систему, будет обслужена. В системах с ограниченным ожиданием накладываются те или иные ограничения: на длину очереди; на время пребывания заявки в очереди; на общее время пребывания заявки в системе.

По числу приборов СМО могут быть одноканальными (один прибор); или многоканальными (несколько приборов), а по числу этапов (фаз) обслуживания – однофазными или многофазными.

Дисциплина обслуживания в СМО может сводиться к четырем следующим видам:

- «Первым пришел – первым обслужен»;
- Циклическое обслуживание по одной заявке из различных источников;
- «Последним пришел – первым обслужен»;
- Приоритетная (заявка выбирается на обслуживание в соответствии с номером приоритета). Приоритет может быть абсолютным (если во время обслуживания приходит заявка с более высоким приоритетом, то обслуживание прерывается) и относительным (обслуживание происходит до конца, после чего обслуживается заявка с более высоким приоритетом).

При моделировании различных процессов часто заявка последовательно проходит через несколько систем обслуживания. Например, некоторый процесс содержит две стадии, на первой из которых производится обработка заготовок на соответствующем станке (рис. 1.3).

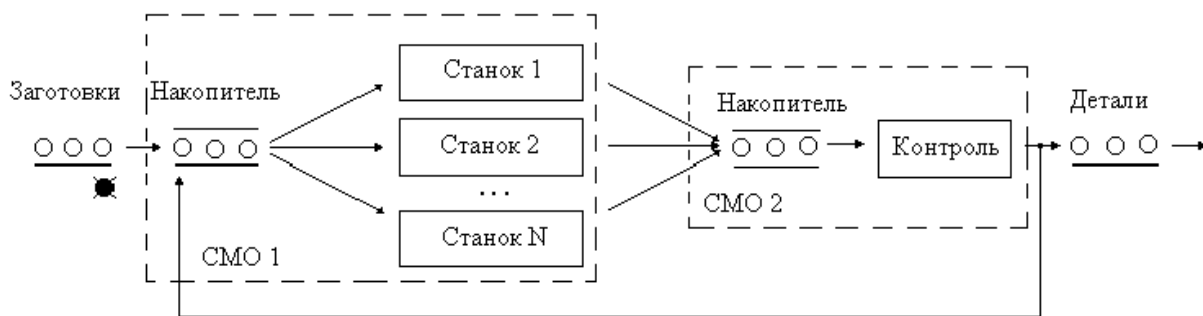


Рис. 1.3 Структура сети СМО

После обслуживания в СМО1 в СМО2 отображается контроль качества детали. В зависимости от результата контроля, моделируется выход из системы, либо возвращение на повторное обслуживание в СМО1. В этом случае СМО образуют сеть, которая характеризуется связями между отдельными СМО и свойствами самих систем.

Рассмотренная классификация СМО является далеко не полной и охватывает только основные их виды, используемые в качестве наиболее распространенных моделей систем.

Рассмотрим примеры представления функционирования гибкой производственной и вычислительной систем в виде СМО и классифицируем их.

1.3 Представление АПС в виде СМО

Пусть в АПС детали последовательно обрабатываются двумя роботизированными технологическими комплексами (РТК). Первый РТК состоит из трех одинаковых станков и накопителя. Второй РТК состоит из одного станка и пристаночного накопителя. Заготовки через случайные интервалы времени поступают в АПС (в накопитель перед РТК1). Время обработки заготовки каждым станком РТК1 также случайное. После обработки на РТК1 полуфабрикаты поступают на станок РТК2, обрабатываются в течение определенного времени и уходят на склад готовой продукции.

Метод построения модели:

Будем считать, что поступающие в АПС заготовки, это заявки в СМО. Тогда в соответствии с технологией эти заявки должны последовательно проходить через обслуживающие приборы РТК1 и РТК2, причем РТК1 содержит группу приборов, то

есть является многоканальным устройством с емкостью равной трем. Если все приборы обслуживания (РТК) заняты, то перед ними образуется очередь (рис. 1.4).

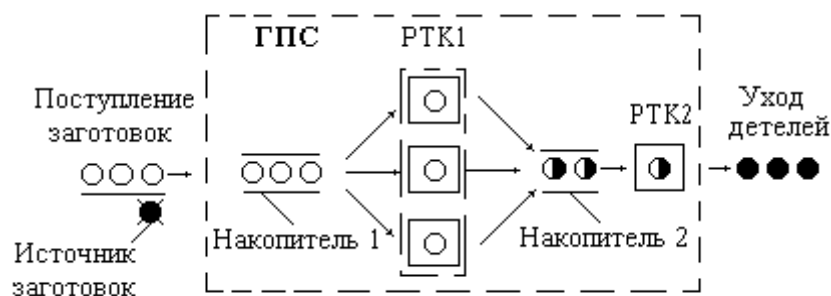


Рис. 1.4 АПС в виде СМО

Исходя из этого работа АПС может быть описана как многоканальная (несколько станков РТК1 могут обслуживать заявки одновременно), многофазная (заявки после обслуживания одним прибором переходят на обслуживание в следующий) СМО без потерь (заявкам разрешается ждать в очереди).

1.4 Общие сведения о GPSSWorld

Среда компьютерного моделирования GPSS World – комплексный моделирующий инструмент, охватывающий области как дискретного, так и непрерывного компьютерного моделирования, обладающий высоким уровнем интерактивности и визуального представления информации.

Основу среды имитационного моделирования составляет язык GPSS, основанный на теории массового обслуживания – концепции движения объектов через приборы с некоторым временем обслуживания. Закон движения объектов и время обслуживания могут изменяться по различным законам распределения случайных величин. Принцип работы модели GPSS заключается в перемещении транзактов от блока к блоку.

В среду компьютерного моделирования также входит расширенный редактор GPSSWorld – инструмент для разработки имитационных моделей и анализа результатов моделирования.

При использовании GPSS World модель сначала строят в виде блок-схемы, обеспечивающей наглядность перед записью программы. Блоки имеют свои графические интерпретации, с помощью которых отображается пространственная конструкция

модели. На рис.1.5 представлена гипотетическая блок-схема не-
которой модели на GPSSWorld.

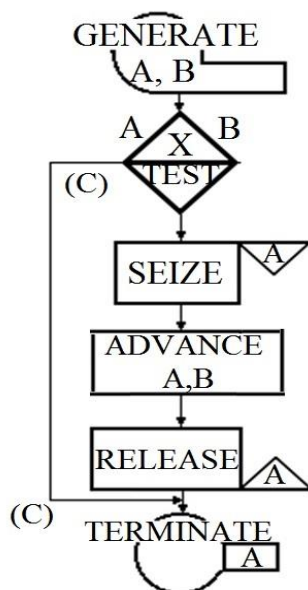


Рис. 1.5 Блок-схема модели на GPSS World

Информация, представленная в блок-схеме, может относиться к трем различным категориям:

1. Местоположение. Каждый блок занимает определенное место в блок-схеме. Это место может быть определено нумерацией, которую интерпретатор осуществляет автоматически. Часто нужно знать, какое место занимает тот или иной блок в модели. Это может оказаться необходимым для реализации ссылки из одного или более блоков на указанный блок. Для этих целей в GPSSWorld используются символические имена.

2. Операции (ADVANCE, RELEASE и т. д.) – команды, описывающие основное функциональное назначение блоков.

3. Операнды (A, B, C, D, E...) – информация специфичная для действия блока.

Модель GPSSWorld состоит из различных объектов. Для упрощения разделим эти объекты на три типа: транзакты, блоки и операторы.

Транзакты – динамические элементы модели GPSSWorld, представляют собой аналоги заявок в системах массового обслуживания (СМО). Они могут описывать, например, заготовки, транспортные средства, рабочих, требования к выполнению какой-либо операции и т. п. Блоки задают логику функционирования

ния модели системы и определяют пути движения транзактов по ней. Блоки – аналоги приборовв СМО, которые отображают, например, участки цеха, станки, транспортные средства. Перемещаясь от блока к блоку, транзакты имитируют процессы, происходящие в системе: обработка заготовки, перемещение транспортного средства, восстановление вышедшего из строя станка и т. д. Блоки функционируют только тогда, когда в них находятся транзакты.

Операторы предназначены для управления процессом моделирования (прогоном модели), задания функций и последовательностей псевдослучайных чисел генераторов GPSSWorld. Операторы напрямую не взаимодействуют с транзактами.

В процессе моделирования интерпретатор GPSS World автоматически регистрирует и корректирует некоторую информацию, касающуюся различных элементов, используемых в моделях. Кроме информации, которая выдается по окончании моделирования, существует и такая информация, которая доступна в процессе моделирования. Эту информацию можно использовать с помощью атрибутов модели. Атрибутами являются: состояние прибора (занят, не занят), счетчик циклов занятий прибора, коэффициент использования прибора, среднее время задержки на одно занятие, величина параметра транзакта, время пребывания транзакта в модели. В процессе моделирования системы транзакты взаимодействуют с блоками, в результате чего происходят изменения их атрибутов, а также преобразования арифметических или логических значений. Такие преобразования называются событиями.

1.5 Моделирование начала технологического процесса

Принцип работы модели GPSSWorld заключается в перемещении транзактов от блока к блоку. В начале в модели нет транзактов. Следовательно, для того, чтобы модель начала функционировать, необходимо создать и запустить транзакты в модель. В GPSSWorld для этих целей используется блок GENERATE.

Блок GENERATE (генерировать) – создание и ввод транзактов в модель (рис. 1.6).

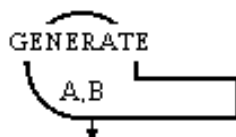


Рис. 1.6 Блок GENERATE

В блоке можно использовать 5 операндов (A, B, C, D, E).

Примечание:

Транзакты могут создаваться через интервалы времени, распределенные по различным законам. Все возможные виды распределения временных интервалов разделим на равномерное и все другие виды распределения. Пока что будем рассматривать только равномерное распределение.

В операнде A записывают среднее значение равномерно распределенных интервалов времени, в операнде B – половину поля допуска распределенного интервала. Операнд C предназначен для задания смещения интервалов. В операнде D указывают значение, ограничивающее число создаваемых транзактов. В операнде E задают приоритет вышедшим транзактам. По умолчанию значения операндов A, B, E равны нулю, а операнда D – ∞ . Операнд C по умолчанию не задает смещение.

Особенности блока GENERATE:

- в модели может использоваться множество блоков GENERATE, при этом каждый из них образует свой сегмент модели;
- в блок GENERATE невозможно направить транзакт;
- значения, устанавливаемый в операндах не могут быть отрицательными;
- обязательно используется либо операнд A, либо операнд D.

Примеры блока GENERATE:

GENERATE 4.1,2.1 транзакты создаются каждые 4.1 ± 2.1 единицы времени.

GENERATE 4.1,,3 первый транзакт создается во время, равное 3, второй во время – 7.1, третий – 11.2 и т. д.

GENERATE 1,,,1 первый и единственный транзакт создается во время, равное 1.

GENERATE 8,1,,,4 каждый созданный транзакт будет иметь уровень приоритета, равный 4 (транзакт с более высоким приоритетом обслуживается раньше, чем транзакт с меньшим приоритетом).

1.6 Моделирование завершения технологического процесса

Созданные транзакты, двигаясь по модели, имитируют операции, происходящие в реальном техпроцессе. Для того чтобы остановить моделирование, необходимо вывести определенное количество транзактов из модели или остановить модель через какое-то заданное время. Для этого используют блок TERMINATE.

Блок TERMINATE (завершить) – удаление транзактов из модели (рис. 1.7).



Рис. 1.7 Блок TERMINATE

При входе транзакта в блок TERMINATE он уничтожается и из специального счетчика завершения вычитается целое число, записанное в операнде А. Счетчик завершения – ячейка памяти, которая хранит положительное целое значение, записанное в начале моделирования. Счетчик завершения в модели GPSSWorld может быть только один. Если его значение станет равным 0 (или меньше 0), моделирование прекратится. Если значение операнда А не установлено (т. е. равно 0), значение счетчика завершения не изменяется.

Примеры блока TERMINATE:

TERMINATE 1

удаляет транзакты из модели, при этом содержимое счетчика завершения (каждый раз при входе транзакта) уменьшается на единицу.

TERMINATE

удаляет транзакты из модели, при этом содержимое счетчика завершения не изменяется.

После того, как написана GPSSWorld-программа, прежде чем выполнять прогоны модели, к ней необходимо добавить специальные операторы. Одним из таких операторов является START.

Оператор START – устанавливает значение счетчика завершения.

В операнде A оператора START записывается начальное значение счетчика (больше 0).

Пример:

1. Предположим, что требуется промоделировать техпроцесс в течение 480 единиц времени. Для этого необходимо:

- а) в модель включить сегмент из двух блоков, называемый счетчиком модельного времени (рис. 1.8);
- б) во всех прочих блоках TERMINATE операнд A обнулить;
- в) операнд A оператора START установить равным 1.

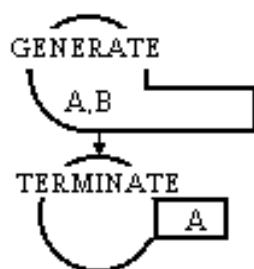


Рис. 1.8 Счетчик модельного времени

Часть программы GPSSWorld будет иметь следующий вид:

* 1-й сегмент модели

GENERATE 3.2,1.2,,2

...

TERMINATE

* 2-й сегмент модели

GENERATE 480

TERMINATE 1

START 1

В момент модельного времени 480 транзакт выйдет из блока GENERATE второго сегмента и сразу же попадет в блок TERMINATE. Поскольку операнд этого блока содержит 1, то из счетчика завершения отнимется 1. Это уменьшит значение счетчика до 0, и интерпретатор остановит прогон модели.

2. Предположим, что требуется закончить прогон модели, после того как будет обслужено 100 транзактов. Для этого необходимо:

а) установить значение операнд А оператора START равным 100;

б) установить операнд А блока TERMINATE равным 1.

Часть программы GPSSWorld будет иметь следующий вид:

```
GENERATE 3.2,1.2,,2
```

```
...
```

```
TERMINATE 1
```

```
START 100
```

Когда транзакт будет входить в блок TERMINATE, счетчик завершения будет уменьшаться на 1. Прогон будет продолжаться, пока значение счетчика не достигнет 0 (т. е. пока не удалится 100 транзактов).

1.7 Моделирование технологических операций

Операции в технологических процессах (обработка заготовок, транспортировка изделий и т. п.) отображаются в СМО временем обслуживания заявки прибором. Для имитации этого в модели GPSS World необходимо задержать транзакт в приборе на время обслуживания заявки. Для этих целей используют блок ADVANCE.

Блок ADVANCE (задержать) – задержка транзактов (рис. 1.9).

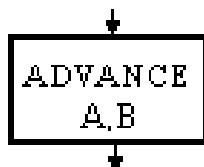


Рис. 1.9 Блок ADVANCE

При равномерном распределении в операнд А записывают среднее время задержки транзакта, а в операнд В – половину поля

допуска. (Неравномерное распределение будет рассмотрено позже). Значение по умолчанию для операндов А и В равно 0.

Примеры блока ADVANCE:

ADVANCE 2.1

транзакты задерживаются на 2.1 единицы времени.

ADVANCE 3.75,1

задержка транзактов колеблется в интервале от 2.75 до 4.75 единиц.

Особенности блока ADVANCE:

- если вычисленное приращение времени меньше нуля, то обработка модели останавливается по ошибке;
- в блоке ADVANCE может одновременно находиться более одного транзакта. При этом каждый транзакт задерживается на определенное в блоке время.

1.8 Моделирование технологического оборудования

При формализации технологических процессов при помощи математического аппарата СМО элементы, которые представляют обслуживание, моделируются приборами. Прибором могут быть, например, станок, транспортное средство, робототехнический комплекс и т. п. Для их моделирования в GPSSWorld используется пара блоков SEIZE и RELEASE.

Блок SEIZE (занять) – занятие прибора обслуживания (рис. 1.10).

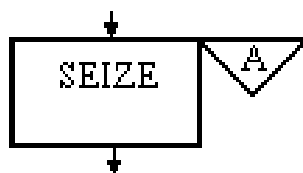


Рис. 1.10 Блок SEIZE

В операнде А записывают имя занимаемого прибора (указывается обязательно). Если транзакт входит в блок SEIZE, он занимает прибор обслуживания и закрывает вход следующим транзактам.

Пример блока SEIZE:

SEIZE SERVER

при входе транзакта в блок занимается прибор с именем SERVER.

Блок RELEASE (освободить) – освобождение занятого прибора обслуживания (рис. 1.11).

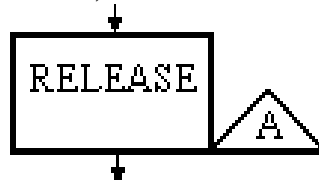


Рис. 1.11 Блок RELEASE

Операнд А – имя освобождаемого прибора (указывается обязательно).

Пример блока RELEASE:

RELEASESERVER

при входе транзакта прибор SERVER освобождается и разрешается вход в него (в блок SEIZESERVER) других транзактов.

Приборы в моделях GPSS World могут быть размещены по разным схемам.

Схема «Классическая»

```
SEIZE    BOX
ADVANCE  16,4
RELEASEBOX
```

Транзакт занимает прибор BOX, задерживается в нем на 16 ± 4 единицы времени и освобождает его.

Схема «Прибор в приборе»

```
SEIZESERVER
ADVANCE    3.0,0.5
SEIZE      BOX
ADVANCE    0.1
RELEASE    BOX
RELEASESERVER
```

После задержки транзакта в блоках ADVANCE приборы BOX и SERVER освобождаются одновременно.

Блок RELEASE не запрещает вход транзактам. Если в модели делается попытка освободить незанятый прибор или если транзакт пытается освободить прибор, занятый другим транзактом, то интерпретатор моделей GPSSWorld выдаст сообщение об ошибке и прогон модели прекратится. Такая ошибка не будет происходить в схеме «Прибор в приборе» начиная с первого транзакта, который входит внутрь комбинации блоков SEIZE-RELEASE, моделирующих занятие прибора SERVER. Однако при разработке более сложных моделей, когда транзакт пытается освободить прибор, который был занят другим транзактом, или не был занят вовсе, это является распространенной ошибкой.

Схема «Использование прибора несколько раз»

SEIZE	BOX
ADVANCE	34.4,2.3
RELEASE	BOX
ADVANCE	2,3
SEIZE	BOX
ADVANCE	12,3
RELEASE	BOX

Транзакт проходя по модели, занимает и освобождает прибор BOX два раза.

1.9 Запуск и настройка расширенного редактора GPSSWord

Перед первым запуском расширенного редактора необходимо его настроить, т. е. указать путь к интерпретатору GPSSWorld. Для этого необходимо:

1. Открыть расширенный редактор GPSS World путем запуска файла GpssEditor.exe из папки ElinaComputer/GpssEditor. После запуска откроется основное рабочее окно, в котором создают модели и проводят эксперименты (рис. 1.12).

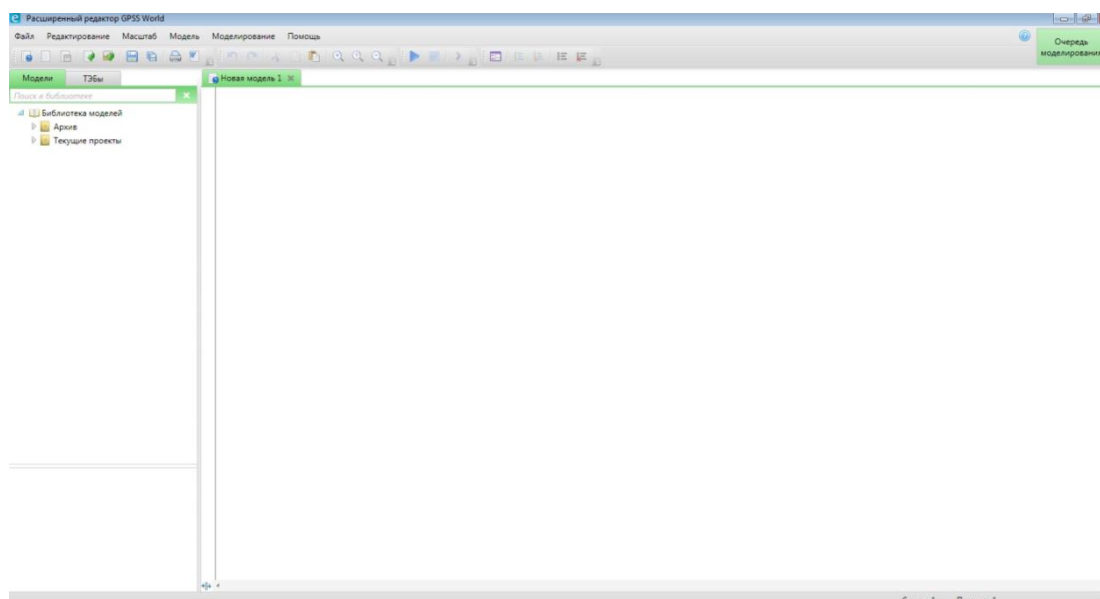


Рис.1.12 Основное рабочее окно расширенного редактора GPSSWorld

2. Зайти в раздел «Редактирование» в верхнем меню и выбрать опцию «Настройка программы» (рис. 1.13).

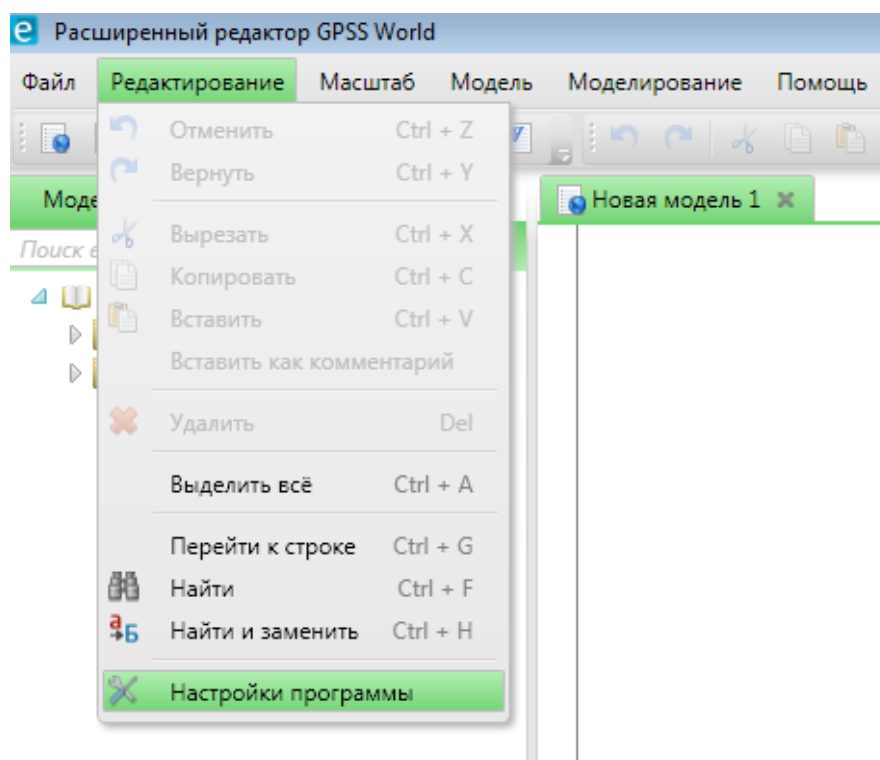


Рис. 1.13 Настройка расширенного редактора GPSS World

3. В появившемся окне «Настройки программы» выбрать вкладку «Моделирование» и указать путь к месторасположению

исполнительного файла GPSS World Student.exe студенческой версии GPSS World (рис. 1.14).

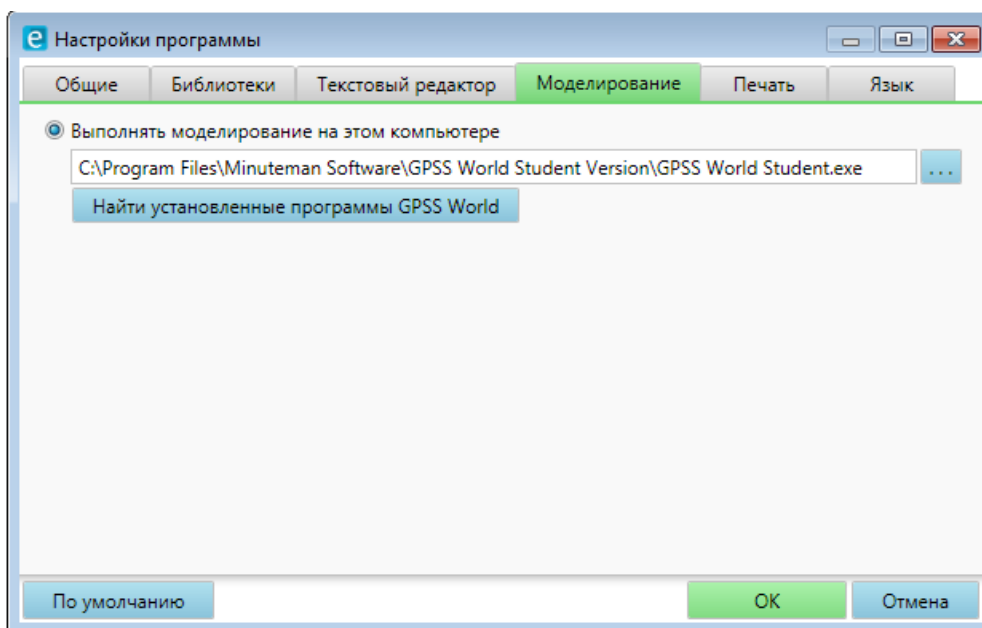


Рис. 1.141 Указание пути к исполнительному файлу GPSS World Student.exe

2 Пример выполнения лабораторной работы

Описание объекта моделирования:

В гибкой производственной системе (ГПС) детали последовательно обрабатываются двумя роботизированными технологическими комплексами (РТК). Первый РТК состоит из трех одинаковых станков и накопителя. Второй РТК состоит из одного станка и пристаночного накопителя.

Заготовки поступают в ГПС (в накопитель перед РТК1) каждые 115 ± 30 с. Время обработки заготовки каждым станком РТК1 составляет 335 ± 60 с. После обработки на РТК1 полуфабрикаты поступают на станок РТК2, обрабатываются в течение 110 ± 25 с и уходят на склад готовой продукции.

Примечание

Емкость пристаночного накопителя перед РТК2 не ограничена.

Задание:

1. Разработайте концептуальную модель гибкой производственной системы, используя математический аппарат систем массового обслуживания (СМО).

2. Осуществите программную реализацию концептуальной модели при помощи среды компьютерного моделирования GPSS World.

3. Используя разработанную модель, проведите имитационные эксперименты и определите:

- количество готовых деталей за 48-часовой рабочий день;
- загрузку РТК1 и РТК2 (в %);
- среднее и максимальное количество заготовок, находящихся в накопителях;
- среднюю продолжительность нахождения заготовок в накопителях.

Выполнение задания:

1. Разработка концептуальной модели работы ГПС в виде системы массового обслуживания (СМО):

Процесс обработки заготовок отображается системой массового обслуживания, в которой поступающие заявки последовательно проходят через обслуживающие приборы РТК1 и РТК2, причем РТК1 содержит группу приборов, то есть является многоканальным устройством с емкостью равной трем. Представим поступающие заготовки, как заявки, а станки в РТК - как приборы, выполняющие заявку за определенное время. Тогда технология обработки заготовок на станках может быть описана как многофазная, многоканальная СМО без отказов (рис. 2.1).

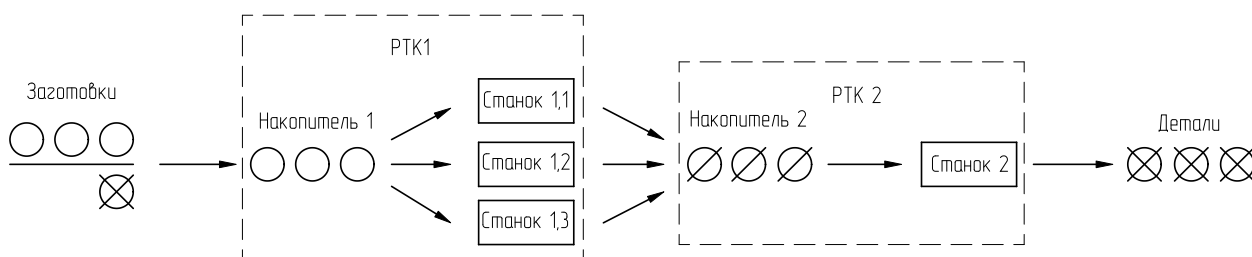


Рис. 2.1 ГПС в виде СМО

2. Ввод концептуальной модели в компьютер:

Переходя от системы массового обслуживания к среде компьютерного моделирования GPSS World, определим, что заявки в СМО соответствуют транзактам в имитационной модели. Для их ввода в модель используем блоки GENERATE. Приборами в модели являются станки. РТК1, как многоканальное устройство описываем цепью блоков ENTER-LEAVE, а РТК2 блоками

SEIZE-RELEASE. Для моделирования продолжительности операций используем блоки ADVANCE с нормальным распределением временных интервалов. Блок TERMINATE применен для удаления транзактов из модели по окончании моделирования. Для имитации 48-часового рабочего дня в модель введем дополнительный сегмент, состоящий из двух блоков GENERATE и TERMINATE.

Разработанная в соответствии с СМО блок-схема имитационной модели процесса обработки деталей приведена на рис.2.2. Она содержит 14 блоков в 2 сегментах.

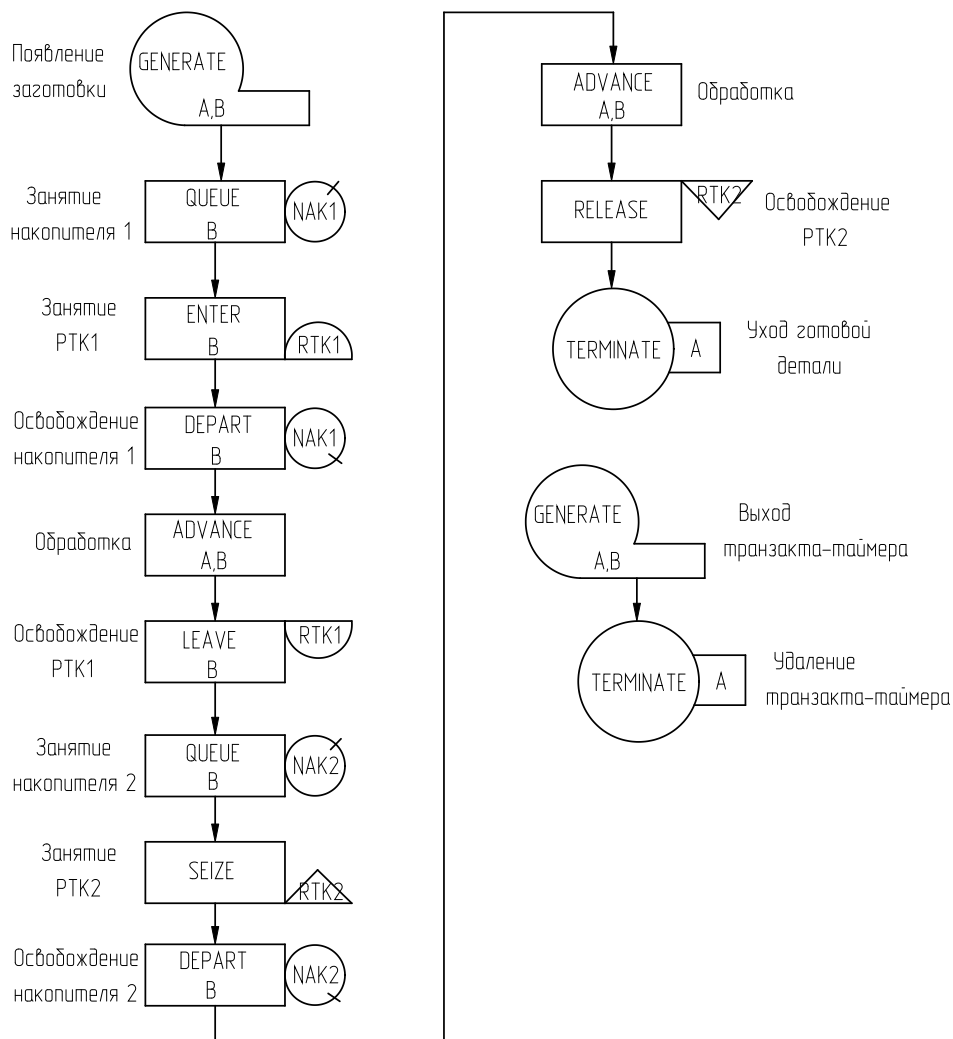


Рис. 2.2 Блок-схема GPSS World модели ГПС

В соответствии с разработанной блок-схемой написана программа на языке GPSSWorld.

RTK1 STORAGE3 УСТАНОВЛИВАЕМ КОЛИЧЕСТВО
СТАНКОВ В РТК1

GENERATE 115,30 ПОСТУПЛЕНИЕ ЗАГОТОВКИ
QUEUE NAK1 ПОПАДАНИЕ В НАКОПИТЕЛЬ 1
ENTER RTK1 ВКЛЮЧЕНИЕ СТАНКА РТК1
DEPART NAK1 УХОД ИЗ НАКОПИТЕЛЯ 1
ADVANCE 335,60 ОБРАБОТКА
LEAVE RTK1 ВЫКЛЮЧЕНИЕ СТАНКА РТК1
QUEUE NAK2 ПОПАДАНИЕ В НАКОПИТЕЛЬ 2
SEIZE RTK2 ВКЛЮЧЕНИЕ СТАНКА РТК2
DEPART NAK2 УХОД ИЗ НАКОПИТЕЛЯ 2
ADVANCE 110,25 ОБРАБОТКА
RELEASE RTK2 ВЫКЛЮЧЕНИЕ СТАНКА РТК2
TERMINATE УХОД ГОТОВОЙ ДЕТАЛИ
GENERATE 172800 СЧЕТЧИК ВРЕМЕНИ
TERMINATE 1
START 1

После интерпретации модели в расширенный редактор GPSSWorld (рис.2.3) и запуска процесса моделирования, создается стандартный файл отчета, с разделением на соответствующие разделы (рис.2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10.)

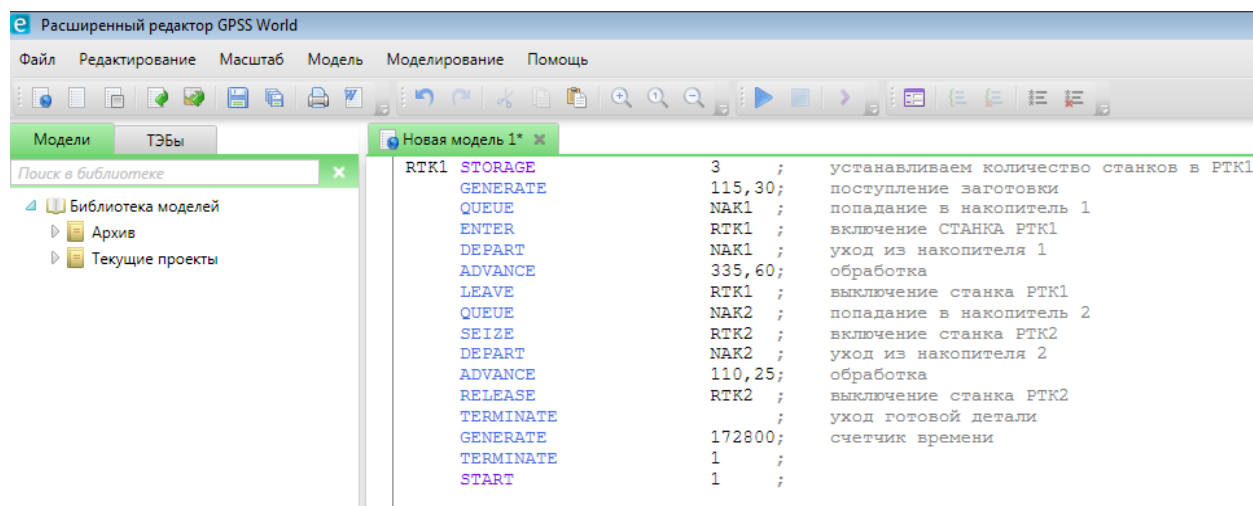


Рис. 2.3 Модель ГПС интерпретирована в GPSSWorld

- Раздел «Общая информация»:

Стандартный отчёт GPSS World.					
Общая информация	Начальное время	Конечное время	Кол-во блоков	Кол-во устройств	Кол-во мн.канал. устройств
Имена					
Блоки	0	172800	14	1	1
Устройства					
Очереди					
Многоканальные устройства					
Будущие события					

Рис. 2.4 Раздел «Общая информация»

- Раздел «Имена»:

Стандартный отчёт GPSS World.		
Общая информация	Имя	Значение
Имена		
Блоки	NAK1	10001
Устройства	NAK2	10002
Очереди	RTK1	10000
Многоканальные устройства	RTK2	10003
Будущие события		

Рис. 2.5 Раздел «Имена»

- Раздел «Блоки»:

Стандартный отчёт GPSS World.	Метка	Позиция блока	Тип блока	Кол-во тран. вошедших в блок	Кол-во тран. в блоке в конце моделирования	Кол-во тран., ожидающих выполнения спец.
Общая информация						
Имена						
Блоки						
Устройства						
Очереди						
Многоканальные устройства						
Будущие события						
	1	GENERATE	1506	0	0	
	2	QUEUE	1506	2	0	
	3	ENTER	1504	0	0	
	4	DEPART	1504	0	0	
	5	ADVANCE	1504	3	0	
	6	LEAVE	1501	0	0	
	7	QUEUE	1501	1	0	
	8	SEIZE	1500	0	0	
	9	DEPART	1500	0	0	
	10	ADVANCE	1500	1	0	
	11	RELEASE	1499	0	0	
	12	TERMINATE	1499	0	0	
	13	GENERATE	1	0	0	
	14	TERMINATE	1	0	0	

Рис. 2.6 Раздел «Блоки»

- Раздел «Устройства»:

Отчёт 1 - Новая модель 1*										
Имя / номер	Кол-во раз, когда устройство было занято	Коэффициент использования	Ср. время занятия устройства одним тран.	Состояние устройства в конце	Номер тран., занимающего устройство	Кол-во тран., ожидающих выполнения	Кол-во прерванных тран.	Кол-во тран., ожидающих выполнения	Кол-во тран., ожидающих занятия	
RTK2	1500	0.953	109.82	1	1501	0	0	0	1	

Рис. 2.7 Раздел «Устройства»

- Раздел «Очереди»:

Имя / номер	Макс. содержимое очереди за	Текущее содержимое очереди	Общее кол-во входов	Общее кол-во входов тран. в очередь с	Ср. значение содержимого очереди	Ср. время пребывания одного	Ср. время пребывания одного транзакта в	Кол-во тран., ожидающих выполнения	
NAK1	3	2	1506	412	0.456	52.337	72.048	0	
NAK2	3	1	1501	281	0.516	59.385	73.063	0	

Рис. 2.8 Раздел «Очереди»

- Раздел «Многоканальные устройства»:

Имя / номер	Емкость памяти	Число свободных единиц памяти	Мин. число единиц памяти	Макс. число единиц памяти	Кол-во входов в память	Состояние памяти в конце	Ср. значение занятой емкости	Коэффициент использования памяти	Кол-во тран., ожидающих выполнения	Кол-во тран., ожидающих в блоках
RTK1	3	0	0	3	1504	1	2.912	0.971	0	2

Рис. 2.9 Раздел «Многоканальные устройства»

- Раздел «Будущие события»:

Номер транзакта	Приоритет транзакта	Время выхода из блока	Номер семейства транзакта	Номер блока, в котором находился транзакт,	Номер след. блока	Имя / номер параметра транзакта	Значение параметра
1501	0	172812.422	1501	10	11		
1503	0	172850.501	1503	5	6		
1508	0	172925.845	1508	0	1		
1504	0	172965.5	1504	5	6		
1505	0	173048.275	1505	5	6		
1509	0	345600	1509	0	13		

Рис. 2.10 Раздел «Будущие события»

2.1 Проведение имитационных экспериментов и анализ результатов

После создания имитационной модели системы приступаем к проведению имитационных экспериментов и определению параметров ГПС.

Для этого запускаем имитационную модель путем нажатия кнопки «Запустить моделирование» или комбинацией клавиш Ctrl+R (рис.2.11)

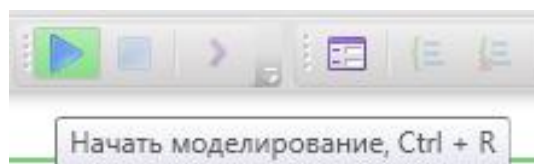


Рис. 2.11 Запуск процесса моделирования

И после запуска сразу откроется стандартный файл отчет, с соответствующими результатами моделирования на основе которых и определяем необходимые параметры:

- Количество готовых деталей за 48-часовой рабочий день – 1504 (рис.2.12):

Имя / номер	Емкость памяти	Число свободных единиц памяти	Мин. число единиц памяти	Макс. число единиц памяти	Кол-во входов в память
РТК1	3	0	0	3	1504

Рис. 2.12 Количество обработанных заготовок

- Загрузка РТК1 – 97,1% (рис.2.12):

Имя / номер	Емкость памяти	Число свободных единиц памяти	Мин. число единиц памяти	Макс. число единиц памяти	Кол-во входов в память	Состояние памяти в конце	Ср. значение занятой ёмкости	Коэффициент использования памяти
РТК1	3	0	0	3	1504	1	2.912	0.971

Рис. 2.13 Загруженность РТК1

- Загрузка РТК2 – 95,3% (рис.2.14):

Имя / номер	Кол-во раз, когда устройство было занято	Коэффициент использования
РТК2	1500	0.953

Рис. 2.14 Загруженность РТК 2

- Среднее количество заготовок, находившихся в накопителе перед РТК1 – 0,456 (рис.2.15):

Имя / номер	Макс. содержимое очереди за	Текущее содержимое очереди	Общее кол-во входов	Общее кол-во входов тран. в очередь с	Ср. значение содержимого очереди
NAK1	3	2	1506	412	0.456
NAK2	3	1	1501	281	0.516

Рис. 2.15 Среднее количество заготовок находившееся в накопителе перед РТК 1

- Максимальное количество заготовок, находившихся в накопителе перед РТК1 – 3 (рис.2.16):

Имя / номер	Макс. содержимое очереди за
NAK1	3
NAK2	3

Рис. 2.16 Максимальное количество заготовок в накопителе перед РТК 1

- Среднее количество заготовок, находившихся в накопителе перед РТК2 – 0,516 (рис.2.17):

Имя / номер	Макс. содержимое очереди за	Текущее содержимое очереди	Общее кол-во входов	Общее кол-во входов тран. в очередь с	Ср. значение содержимого очереди
NAK1	3	2	1506	412	0.456
NAK2	3	1	1501	281	0.516

Рис. 2.17 Среднее количество заготовок находившееся в накопителе перед РТК 2

- Максимальное количество заготовок, находившихся в накопителе перед РТК2 – 3 (рис.2.18):

Стандартный отчёт GPSS World.	
Имя / номер	Макс. содержимое очереди за
Имена	
Блоки	
Устройства	
Очереди	
Многоканальные устройства	
Будущие события	
NAK1	3
NAK2	3

Рис. 2.18 Максимальное количество заготовок находившееся в накопителе перед РТК 2

- Среднее время нахождения заготовок в накопителе перед РТК1 – 52,337 сек (рис.2.19):

Стандартный отчёт GPSS World.		Имя / номер	Макс. содержимое очереди за	Текущее содержимое очереди	Общее кол-во входов	Общее кол-во входов тран. в очередь с	Ср. значение содержимого очереди	Ср. время пребывания одного
Имена		NAK1	3	2	1506	412	0.456	52.337
Блоки		NAK2	3	1	1501	281	0.516	59.385
Устройства								
Очереди								
Многоканальные устройства								
Будущие события								

Рис. 2.19 Среднее время нахождения заготовок в накопителе перед РТК 1

- Среднее время нахождения заготовок в накопителе перед РТК2 – 59,375 сек (рис.2.20):

Стандартный отчёт GPSS World.		Имя / номер	Макс. содержимое очереди за	Текущее содержимое очереди	Общее кол-во входов	Общее кол-во входов тран. в очередь с	Ср. значение содержимого очереди	Ср. время пребывания одного
Имена		NAK1	3	2	1506	412	0.456	52.337
Блоки		NAK2	3	1	1501	281	0.516	59.385
Устройства								
Очереди								
Многоканальные устройства								
Будущие события								

Рис. 2.20 Среднее время нахождения заготовки в накопителе перед РТК 2

3 Задание на лабораторную работу

Описание объекта моделирования:

На автоматизированном участке ведется производство корпусных деталей. Некоторые операции в технологическом процессе сложны для автоматизированного выполнения роботами и

требуют применения ручного управления человеком. Поэтому взаимодействие роботами на участке ведется в режиме интерактивного человеко-машинного управления, при котором часть операций выполняется устройством управления роботом, а другая часть - оператором дистанционного управления.

На участке работает 1 оператор, который управляет 3-мя роботами поочередно. Время автономной работы каждого робота случайно и распределено согласно нормальному закону с математическим ожиданием 20 мин. и среднеквадратическим отклонением 3 мин. Продолжительность работы оператора также случайна и подчинена экспоненциальному закону распределения со средним значением 15 мин.

Задание

1. Разработайте концептуальную модель системы интерактивного управления роботами, используя математический аппарат систем массового обслуживания (СМО).

2. Осуществите программную реализацию концептуальной модели при помощи среды компьютерного моделирования GPSS World.

3. Используя разработанную компьютерную модель, смоделируйте 420 мин. работы системы и оцените количество подключений и степень использования оператора, а также среднее число заданий, ожидающих оператора и время их простоя в очереди.

4. По результатам имитационных экспериментов постройте зависимости степени занятости оператора и средней длины очереди заданий к оператору от доли автоматизированных операций при изменении количества роботов в системе от 1 до 5.

4 Требования к отчету

Отчет о работе должен содержать:

- Задание и исходные данные по лабораторной работе.
- Модель в виде программы в среде компьютерного моделирования GPSS World (файл.gps).
- Результаты имитационных экспериментов.

5 Контрольные вопросы

1. Чем имитационное моделирование отличается от аналитического?
2. Какова основная задача развития программных средств для моделирования систем?
3. Какие типы информации используются в GPSS-моделях?
4. Какое количество операндов можно использовать в блоке GENERATE?
5. Что такое «Счетчик завершений» в GPSS-модели?
6. Какой управляющий оператор в GPSS-модели устанавливает значение «Счетчика завершений»?

6 Список рекомендуемой литературы

1. Зиновьев В. В. Моделирование процессов и систем учебное пособие /В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев // – КузГТУ.: Кемерово, 2016. – 146с.