

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«Брестский государственный технический университет»**

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»
Часть 1



Брест 2012

УДК 629.331.08

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Основы научный исследований и инновационной деятельности» для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1- 37 01 07 «Автосервис», часть 1 содержат методику выполнения оптимизации средств обслуживания автомобилей с использованием системы имитационного моделирования GPSS Word.

Составитель: С.В. Монтик, зав. кафедрой ТЭА, доцент, к.т.н.

Рецензент:

© Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет» 2012

Решение задач технической эксплуатации автомобилей методами имитационного моделирования

1 Основные понятия

Имитационное моделирование воспроизводит процесс функционирования объекта (системы) во времени, при этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Имитационное моделирование позволяет по исходным данным получить сведения о состоянии процесса в определенные моменты времени.

Имитационное моделирование на ЭВМ позволяет получать наглядную картину поведения системы, рассматривать различные варианты модели, отвечающие различным сторонам функционирования системы и возможным структурным преобразованиям, получать значения необходимых количественных характеристик. Поэтому имитационное моделирование в настоящее время получает все большее распространение в исследовании сложных технических систем и технологических процессов. Имитационное моделирование **целесообразно** применять [2]:

- не существует законченной математической постановки задачи либо еще не разработаны аналитические методы решения сформулированной задачи;
- аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;
- кроме оценки определенных параметров, требуется осуществить наблюдение за ходом процесса функционирования системы в течение некоторого времени. При этом имитационное моделирование дает возможность полностью контролировать время изучения системы.

Важными **ограничениями** имитационного моделирования является то, что [2]:

- оно не предоставляет непосредственного решения математических задач, что характерно для аналитических методов. Оно служит в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором;
- разработка хорошей имитационной модели (ИМ) часто обходится дороже создания аналитической модели и требует наличия квалифицированных специалистов и больших затрат времени;
- при использовании ИМ применяются многочисленные методы статистического анализа данных, что усложняет исследование.

Имитационная модель (ИМ) – это формальное описание логики функционирования исследуемой системы во времени, учитывающее наиболее существенные взаимодействия ее элементов и обеспечивающее возможность проведения статистических экспериментов.

2 Имитационное моделирование в среде GPSS World [1,2]

Пакет GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения) предназначен для имитационного моделирования дискретных систем и входит в число наиболее распространенных и используемых на практике средств автоматизации имитационного моделирования. Одна из последних версий пакета GPSS для персональных компьютеров, работающих под управлением операционной системы

Windows, называется GPSS World. Система GPSS World позволяет моделировать *системы массового обслуживания* (СМО).

Система массового обслуживания – это совокупность последовательно связанных между собой входящих потоков требований на обслуживание (автомобилей, заявок, пользователей и т.д.), очередей, каналов обслуживания (станций технического обслуживания, зон технического обслуживания, текущего ремонта автотранспортных предприятий и т.д.) и выходящих потоков требований после обслуживания (обслуженные или отремонтированные автомобили).

Входящий поток требований – это последовательность входящих требований, нуждающихся в обслуживании в системе и подчиняющихся определенному закону.

Выходящий поток требований – это последовательность выходящих требований, обслуженных в системе и подчиняющихся определенному закону.

Требование (транзакт) – это объект, поступающий в систему и нуждающийся в определенном обслуживании в данной системе. Требование является активным элементом в моделируемой системе. Под требованием можно понимать сообщение, автомобиль, изделие, информацию и т.д.

Канал обслуживания (или обслуживающий аппарат) – устройство, в котором выполняется обслуживание требования. Основным параметром канала обслуживания является время обслуживания, которое, как правило, является случайной величиной. Могут быть одно- и многоканальные устройства.

Имитационная модель СМО – это модель, отражающая поведение системы и изменения ее состояния во времени при заданных потоках требований, поступающих на входы системы. Параметры входных потоков требований – внешние параметры СМО. Выходными параметрами являются величины, характеризующие свойства системы – качество ее функционирования, – например такие, как:

- коэффициенты использования каналов обслуживания;
- максимальная и средняя длина очередей в системе;
- время нахождения требований в очередях и каналах обслуживания и т.д.

Имитационное моделирование позволяет исследовать СМО при различных типах входных потоков и разной интенсивности поступления требований в систему, а также различных дисциплинах обслуживания требований.

При имитационном моделировании выделяют три представления времени: реальное, модельное (системное) и машинное время.

Реальное время – это время, в котором происходит функционирование моделируемой системы в реальной жизни, например час, смена, год.

Модельное (системное) время – это время, в котором происходит функционирование моделируемой системы при проведении имитационного моделирования на ЭВМ. В системном времени выполняются следующие действия:

- осуществляется переход моделируемой системы из одного состояния в другое;
- выполняется синхронизация работы всех компонент имитационной модели;
- обеспечивается управление ходом имитационных экспериментов;
- обеспечивается параллельная реализация событий в моделируемой системе.

Машинное время – это время, отражающее затраты времени ЭВМ на проведение имитационного моделирования.

Система моделирования GPSS World основана на переходе требований (транзактов) от блока к блоку (от оператора к оператору) в определенные моменты времени, что называется событием. *Событие* – это нечто, меняющее статус связанных с ним состояний системы. События соответствуют конкретным изменениям в реальной системе: требование появилось, требование вошло в очередь, требование обслуживается и т.д.

Основные объекты GPSS

Транзакты описывают единицы исследуемых потоков (заявки; требования на обслуживание; автомобили, требующие проведения ТО, ТР). Транзакты движутся от блока к блоку так, как движутся элементы, которые они представляют. Каждое продвижение транзакта инициирует в модели некоторые события (например, занятие поста ТО). События обрабатываются GPSS в соответствующий момент модельного времени. Содержательное значение транзактов определяет разработчик модели. Именно он устанавливает аналогию между транзактами и реальными динамическими элементами моделируемой системы, например транзакт соответствует автомобилю, который обслуживается в зоне технического обслуживания (ТО) автотранспортного предприятия (АТП).

Блоки задают логику функционирования ИМ системы и определяют пути движения транзактов. Практически все изменения состояний ИМ (события) происходят в результате входа транзактов в блоки и выполнения блоками своих функций. Основные функции блоков следующие: создание (генерация) и уничтожение транзактов; задержка транзакта на определенный интервал времени; изменение маршрута движения транзакта.

Одноканальные устройства (Facility) описывают оборудование, которое в любой момент времени может быть занято только одним транзактом (например, пост ТО, на котором может обслуживаться только один автомобиль). Одноканальные устройства в GPSS обеспечивают сбор основной статистической информации о своем функционировании.

Многоканальные устройства (Storage) описывают оборудование, которое может использоваться несколькими транзактами одновременно (например, ими может моделироваться зона ТО, состоящая из нескольких постов; АЗС с несколькими колонками). Многоканальные устройства обеспечивают сбор статистической информации о своем функционировании.

Очереди (Queue) обеспечивают сбор основной статистической информации о времени задержки транзактов из-за занятости оборудования.

Все объекты в GPSS имеют свойства, называемые **стандартными числовыми атрибутами (СЧА)**. А свойства ИМ в целом в GPSS называются **системными числовыми атрибутами**. Каждый объект GPSS имеет свой набор СЧА.

Логические ключи используются для блокировки или изменения направления движения транзактов в зависимости от ранее наступивших в модели событий.

Арифметические переменные позволяют вычислять арифметические выражения, в том числе с числовыми атрибутами объектов. В выражениях могут быть использованы функции.

Логические переменные позволяют проверять несколько условий, исходя из состояний или значений СЧА объектов, например, для описания условий, определяющих движение транзактов.

Функции позволяют задавать функциональные зависимости между несколькими переменными, а также переменной и СЧА объектов.

Таблицы предназначены для сбора статистической информации о случайных величинах, заданных пользователем. Таблица состоит из частотных групп, в которые заносится число попаданий заданной случайной величины (переменной или СЧА). Для каждой таблицы автоматически вычисляется математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение значений.

Ячейки и матрицы сохраняемых величин используются для сохранения некоторой числовой информации.

2.1 Создание имитационной модели на языке GPSS

Операторы GPSS. Правила записи операторов языка GPSS

Программа имитационного моделирования на языке GPSS представляет собой последовательность операторов – текстовых строк описания:

- объектов исследуемой системы;
- блоков модели, которые имитируют функционирование элементов системы;
- команд управления моделированием.

Строка оператора GPSS состоит из следующих полей, разделяемых знаком «пробел»:

Номер строки	Поле метки	Поле операции	Поле операндов	Поле комментариев
			A, B, C, D, E, F, G, H	;

Поле «**номер строки**» необязательное. Содержимым поля может быть любое десятичное число из семи символов, в том числе и дробное.

Содержимое **поля метки** зависит от типа оператора. В операторах описания объектов содержимым поля является *имя объекта*, в операторах блоков – *метка*, в управляющих операторах поле *метки пусто*.

Поле операции содержит символическое обозначение оператора.

Содержимое **поля операндов** для разных операторов отличается количеством (от 0 до 8) и назначением операндов. Если при записи оператора пропускаются необязательные параметры, то их отсутствие отмечается запятой.

Поле комментариев (необязательное) содержит информацию, поясняющую назначение оператора, отделяется от прочих полей точкой с запятой.

Команды управления моделированием

Для задания условий моделирования, таких как продолжительность моделирования, число повторных прогонов ИМ, порядок и условия сбора статистики в GPSS World используются управляющие команды: **SIMULATE, START, RESET, CLEAR, HALT, CONTINUE, STEP, STOP**. Команды могут быть включены в текст ИМ или выбраны в пункте **Command** главного меню GPSS. Поступившие команды выстраиваются в очередь и выполняются одна за другой, пока этот процесс не будет приостановлен или пока не будут выполнены все команды.

Команды **SIMULATE** и **START** указывают условия завершения процесса моделирования (моделирование в течение заданного интервала реального времени, или в течение заданного интервала модельного времени, или по окончании обслуживания заданного числа транзактов) и имеют следующий вид:

SIMULATE [A]

A – число минут реального времени, по истечении которого моделирование будет завершено и на экран будет выведена накопленная к данному моменту статистическая информация. Если команда отсутствует или поле A пусто, то завершение моделирования определяется другими условиями.

START A

A – начальное значение счетчика завершений. Моделирование завершается, когда счетчик завершений примет нулевое или отрицательное значение. Значение счетчика завершений уменьшается при поступлении транзактов в блок **TERMINATE** на величину, указанную в блоке **TERMINATE**.

Работа с транзактами

Для создания транзактов и моделирования их поступления в модель предназначен блок **GENERATE**, который имеет следующий формат:

GENERATE A,[B],[C],[D],[E],[F],[G],[H],[I]

A – среднее значение интервала времени между моделируемыми транзактами (по умолчанию – 0); B – величина разброса возможных значений времени; C – модельное время генерации первого транзакта; D – максимальное количество моделируемых транзактов; E – приоритет транзактов (по умолчанию – 0, т.е. самый низкий приоритет); F, ..., I – количество и формат параметров транзактов.

Если транзакт начал свое движение, он передвигается от блока к блоку по пути, указанному блок-схемой (логикой работы модели). В тот момент, когда транзакт входит в блок, вызывается соответствующая этому блоку подпрограмма. Далее транзакт пытается войти в следующий блок.

Для задержки транзактов в течение заданного интервала модельного времени используется блок **ADVANCE**.

Формат блока: **ADVANCE A, [B]**

Операнды A и B аналогичны соответствующим операндам блока **GENERATE**.

Для удаления транзактов из модели используется блок **TERMINATE**, который имеет следующий вид:

TERMINATE [A]

Операнд A указывает число (по умолчанию – 0), на которое уменьшается содержимое счетчика завершений, значение которого задается командой **START**.

Работа с обслуживающими устройствами

Для моделирования работы *одноканальных устройств* систем массового обслуживания в GPSS предназначены блоки **SEIZE**, **RELEASE**. Занятие транзактом одноканального устройства моделируется блоком **SEIZE**, а его освобождение – блоком **RELEASE**:

SEIZE A

RELEASE A

A – имя устройства, занимаемого (освобождаемого) транзактом;

Пара блоков **SEIZE**–**RELEASE** могут работать с одними и теми же устройствами.

Для моделирования *многоканальных устройств* систем массового обслуживания в GPSS предназначены блоки **ENTER** и **LEAVE**. Занятие транзактом одного из приборов многоканального устройства моделируется блоком **ENTER**, а его освобождение – блоком **LEAVE**:

ENTER A,[B]

LEAVE A,[B]

A – имя многоканального устройства, занимаемого (освобождаемого) транзактом; B – число занимаемых (освобождаемых) приборов многоканального устройства (по умолчанию – 1).

При работе с многоканальными устройствами необходимо предварительно указать количество приборов устройства с помощью оператора

A STORAGE B

A – имя многоканального устройства; B – количество приборов многоканального устройства.

Работа с очередями

Для сбора и обработки статистики по очередям используются блоки **QUEUE** и **DEPART**. Блок может быть установлен в любой точке программы, в котором предполагается возникновение очереди, и имеет следующий формат:

QUEUE A,[B]

A – имя очереди, в которую заносится транзакт; B – число мест в очереди, занимаемых транзактом.

Блок **DEPART** освобождает требуемое число мест в очереди при вхождении в него транзакта. Формат блока:

DEPART A,[B]

Операнды A и B определяются аналогично блоку **QUEUE**.

Управление перемещением транзактов. Работа с логическими ключами

Блок **TRANSFER** изменяет маршрут движения транзактов в зависимости от значения первого операнда (в основном или альтернативном направлении) при определенном состоянии оборудования: обслуживающих устройств, очереди, логических ключей и т.п.:

TRANSFER [A],B,[C],[D]

A – режим перехода; B – метка первого альтернативного блока; C – метка второго альтернативного блока; D – константа, используемая для относительной переадресации транзактов.

Если операнд A блока **TRANSFER** отсутствует, то транзакт, поступивший в блок **TRANSFER**, безусловно отправляется в блок с меткой, указанной в операнде B.

Если операнд A – число от 0 до 1, то он определяет вероятность перехода транзакта по адресу C. При этом операнд B определяет альтернативный адрес.

Если операнд A равен «BOTH», то транзакт делает попытку перемещения в блок с меткой B. При невозможности войти в блок с адресом B, транзакт перемещается в блок с меткой, указанной в операнде C.

Если операнд A равен «ALL», то транзакт делает попытку перемещения в блок с меткой B. При невозможности войти в данный блок, транзакт делает попытку перемещения в блок, следующий за блоком с адресом B через D блоков, если и эта попытка безуспешна – то в блок, следующий за блоком с адресом B через 2D блоков. Адрес последнего блока, в который может перемещаться транзакт, записывается в операнде C.

Блок **TEST** определяет направление движения транзакта в зависимости от выполнения условия, заданного алгебраическим соотношением:

TEST XX A,B,[C]

XX – знак логической операции: L – меньше, G – больше, E – равно, LE – меньше или равно, GE – больше или равно, NE – не равно; A, B – сравниваемые значения или СЧА; C – метка блока, куда перемещается транзакт в случае невыполнения заданного условия.

При выполнении условия, записанного в блоке TEST, транзакт переходит в следующий блок. В противном случае он направляется в блок с меткой, содержащейся в операнде C. Если операнд C не задан, то транзакт задерживается в блоке TEST до выполнения условия.

Работа с переменными и функциями

Переменные и функции, используемые в ИМ на GPSS, должны быть предварительно определены. Определение переменных выполняется операторами:

N VARIABLE A определение арифметических переменных

N FVARIABLE A определение арифметических переменных с плавающей точкой

N BVARIABLE A определение логических переменных

N – имя или номер переменной;

A – арифметическое или логическое выражение.

Выражениями, используемыми в арифметических и логических переменных, являются комбинации математических операторов, стандартных функций, СЧА и констант, составленные по правилам математики. В таблице 1 представлены операторы и стандартные функции, используемые в выражениях, в порядке приоритетов их вычисления.

Таблица 1 – Операции и стандартные функции GPSS

Обозначение	Содержание	Обозначение	Содержание
Операции отношения		Логические операции	
'G'	Больше	'NOT'	Логическое отрицание
'L'	Меньше	'AND'	Логическое умножение
'E'	Равно	'OR'	Логическое сложение
'NE'	Не равно	Стандартные функции	
'LE'	Меньше или равно	ABS(.)	Абсолютное значение
'GE'	Больше или равно	ATN(.)	Арктангенс в радианах
Арифметические операции		COS(.)	Косинус в радианах
^	Возведение в степень	INT(.)	Целая часть
#	Умножение	EXP(.)	Экспонента
/	Деление	LOG(.)	Натуральный логарифм
\	Деление нацело	SIN(.)	Синус в радианах
@	Деление по модулю	SQR(.)	Квадратный корень
+	Сложение	TAN(.)	Тангенс в радианах
-	Вычитание		

Определение функций выполняется в GPSS с помощью оператора

N FUNCTION A,B

N – имя или номер функции; A – аргумент функции;

B – указатель типа функции (в частности, D – для дискретной, C – для непрерывной) и числа точек табуляции. За оператором описания функции следует описание множества значений аргумента и функции, которые отделяются друг от друга символом «/».

Определение значения функции выполняется чтением ее СЧА с именем FN.

Значения переменных и функций вычисляются автоматически (уточняются) GPSS всякий раз при поступлении транзактов в блоки, использующие данные переменные или функции.

Работа с константами, ячейками, сохраняемых величин и таблицами

Для удобства отладки программы ИМ на GPSS допускает принудительное присвоение числовых значений строковым переменным или именам объектов с помощью оператора

N EQU A

N – имя объекта GPSS или константы; A – порядковый номер объекта GPSS или числовое значение константы.

GPSS позволяет использовать пользовательские переменные (ячейки и матрицы ячеек), значения которых сохраняются или изменяются в процессе моделирования.

Значения ячеек, необходимо проинициализировать в начале текста модели оператором

INITIAL A,B

A – СЧА ячейки; B – начальное значение.

Например: Initial X\$Time,10; определение ячейки Time и присваивание ей начального значения 10

Для изменения значений ячеек используется оператор

SAVEVALUE A[+,-],B

A – номер или имя ячейки с указанием режима изменения: накопление (+), вычитание (-), замещение (без дополнительных символов); B – величина, используемая для модификации значения ячейки.

Для накопления выборочных значений случайной величины и статистической обработки выборки используется объект GPSS-таблица, который является аналогом сгруппированного статистического ряда распределения (гистограммы) и описывается оператором

N TABLE A,B,C,D

N – имя таблицы; A – СЧА, значение которого учитывается в таблице; B – значение правой границы первого интервала сгруппированного статистического ряда распределения; C – ширина интервала сгруппированного статистического ряда распределения (целое число); D – количество интервалов сгруппированного статистического ряда распределения.

Выборочные значения попадают в таблицу при входе транзактов в блок TABULATE, формат которого следующий:

TABULATE A

A - имя таблицы, в которой табулируется СЧА, соответствующий оператору TABLE.

По результатам моделирования предоставляются частоты попадания значений исследуемого СЧА объекта в каждый интервал таблицы, а также основные числовые ха-

рактические выборки (объем, среднее арифметическое значение и т. д.). Числовые характеристики выборок, записанных в таблицы, доступны и в процессе моделирования.

Оператор **QTABLE** определяет таблицу для очереди

N QTABLE A,B,C,D

N – имя таблицы, A – имя очереди, B – значение правой границы первого интервала сгруппированного статистического ряда распределения; C – ширина интервала сгруппированного статистического ряда распределения (целое число); D – количество интервалов сгруппированного статистического ряда распределения.

Моделирование случайных величин в GPSS

Для моделирования случайных величин с заданными законами распределения в GPSS возможно использование библиотечных функций или задание требуемой функции распределения в табличном виде путем аппроксимации непрерывными функциями.

Встроенная библиотека GPSS содержит функции для моделирования случайных величин, имеющих следующие законы распределения: равномерное (Uniform); экспоненциальное (Exponential); гамма (Gamma); Вейбулла (Weibull); нормальное (Normal); логарифмическое нормальное (LogNormal); биномиальное (Binomial); геометрическое (Geometric); дискретное равномерное (Discrete Uniform); пуассоновское (Poisson); логистическое (Logistic); логлапласово (LogLaplace); треугольное (Triangular).

Для моделирования случайной величины, имеющей экспоненциальное распределение, используется библиотечная функция

EXPONENTIAL(Stream,Locate,Scale)

Stream – номер генератора случайных чисел (от 1 до 7); Locate – величина сдвига (константа, добавляемая к значению моделируемой величины); Scale – параметр формы распределения (математическое ожидание случайной величины при Locate =0).

Для моделирования случайной величины, имеющей распределение Вейбулла, используется библиотечная функция

WEIBULL(Stream,Locate,Scale,Shape)

Stream – номер генератора случайных чисел (от 1 до 7); Locate – величина сдвига (константа, добавляемая к значению моделируемой величины); Scale – параметр масштаба функции распределения; Shape – параметр, определяющий форму распределения.

Для моделирования случайной величины, подчиняющейся нормальному закону распределения, используется библиотечная функция

NORMAL(Stream,Mean,StdDev)

Stream – номер генератора случайных чисел (от 1 до 7); Mean – математическое ожидание; StdDev – среднеквадратическое отклонение.

2.2 Работа в системе GPSS World

Создание, сохранение и открытие файлов имитационных моделей

Для создания новой ИМ необходимо в главном меню GPSS World выбрать пункт «File → New», затем в диалоговом окне выбрать режим создания новой модели. В рабочем окне GPSS World появится новое текстовое окно с заголовком «Untitled Model 1», в котором записывается текст создаваемой ИМ.

Для сохранения текста создаваемой ИМ необходимо в главном меню GPSS World выбрать пункт «File → Save» или «File → Save As». Во втором случае пользователю бу-

дет предложено задать новое имя для файла с текстом ИМ. Файл с текстом модели в GPSS имеет расширение «**gps**».

Для открытия уже существующего файла с текстом ИМ необходимо в главном меню GPSS World выбрать пункт «**File** → **Open**».

Трансляция и запуск имитационной модели в GPSS

Подробную информацию о назначении блоков и примеры их использования можно получить в разделе справки GPSS (пункт «**Help** → **Help Topics**» главного меню) или при вставке блоков с помощью пункта главного меню «**Edit** → **Insert GPSS Blocks...**». В данном режиме пользователю предоставляется возможность указывать значения параметров блоков в диалоговом окне.

После написания текста ИМ на языке GPSS модель необходимо оттранслировать, т.е. преобразовать последовательность текстовых операторов в последовательность команд, написанную в машинных кодах компьютера. Для этого необходимо выбрать пункт создания модели «**Command** → **Create Simulation**» главного меню.

Если при трансляции в тексте ИМ будут обнаружены некорректные директивы, значения параметров или синтаксические ошибки, то в появившемся окне документирования событий («**JOURNAL**») GPSS приведет список ошибочных строк. Для повторной трансляции модели после исправления ошибок используется пункт главного меню «**Command** → **Retranslate**».

После успешной трансляции GPSS сообщит о готовности модели к работе строкой «**Ready**», и станут доступны команды управления моделированием главного меню «**Command**».

Для запуска процедуры моделирования в конце текста ИМ следует задать команду «**START A**» или выбрать пункт главного меню «**Command** → **START**» и в диалоговом окне указать начальное значение счетчика завершений.

Средства отладки имитационных моделей

GPSS имеет в своем составе развитые средства отладки ИМ, доступ к которым осуществляется из пункта главного меню «**Window** → **Simulation Window**».

GPSS реализует пошаговую отладку модели с одновременным отображением процесса перемещения транзактов между блоками ИМ в окне «**BLOCK ENTITIES**». Для этого в главном меню необходимо выбрать пункт «**Window** → **Simulation Window** → **Block Window**».

Для отображения в динамике значений некоторых выражений или СЧА объектов следует выбрать пункт построения временных диаграмм «**Window** → **Simulation Window** → **Plot Window**» главного меню GPSS. В появившемся диалоговом окне «**Edit Plot Window**» следует указать комментарий (поле «**Label**») и интересующее арифметическое или логическое выражение (поле «**Expression**»), затем добавить его в список кнопкой «**Plot**». В поле «**Title**» следует задать имя временной диаграммы, в поле «**Time Range**» – величину отображаемого модельного времени, в полях «**Min Value**» и «**Max Value**» – минимальное и максимальное значения отображаемой величины. По завершении нажать кнопку «**OK**».

Для отображения гистограммы частот значений случайной величины, накопленной в одной из таблиц ИМ, в главном меню GPSS следует выбрать пункт «**Window** → **Simulation Window** → **Table Window**». Затем в диалоговом окне выбрать имя нужной табли-

цы. Аналогично с помощью команды главного меню «Window → Simulation Window» можно получить доступ к текущим значениям ячеек матриц, таблиц и сохраняемых величин, к характеристикам очередей, одно- и многоканальных обслуживающих устройств.

2.3 Анализ результатов моделирования в GPSS

После завершения процедуры моделирования GPSS автоматически открывает окно отчета «**REPORT**», содержащее стандартную выходную информацию о результатах моделирования.

Выходной файл статистики состоит из подразделов, содержащих стандартную статистику об объектах GPSS, используемых в данной модели (устройствах, очередях и т. д.). Начинается файл статистики с заголовка, который содержит имя модели, дату и время моделирования. Далее следует выходная информация, содержащая следующие основные сегменты вывода:

Информацию о результатах работы модели

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
------------	----------	--------	------------	----------

Обозначения: START TIME – абсолютное модельное время в момент начала моделирования; END TIME – абсолютное время или момент, когда счетчик завершений принял значение 0; BLOCKS – количество блоков, использованных в текущей модели, к моменту завершения моделирования; FACILITIES – количество одноканальных устройств, использованных в модели к моменту завершения моделирования; STORAGES – количество многоканальных устройств, использованных в текущей модели к моменту завершения моделирования.

Информация об именах

NAME	VALUE
------	-------

Обозначения: NAME - содержит имена, используемые в программе модели; VALUE – определяет числовое значение (номер), соответствующее имени, устанавливает начальный номер GPSS равным 10000.

Информация о блоках текущей модели

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
-------	-----	------------	-------------	---------------	-------

Обозначения: LABEL – метка оператора, связанного с блоком GPSS; LOC – номер строки модели, связанной с блоком; BLOCK TYPE – тип блока GPSS; ENTRY COUNT – количество транзактов, вошедших в данный блок после последнего выполнения команд с начала процедуры моделирования; CURRENT COUNT – количество транзактов, находящихся в данном блоке и ожидающих выполнения некоторых условий; RETRY – количество транзактов, ожидающих выполнения некоторых условий.

Информация об одноканальных устройствах

FACILITY	ENTRIES	UTIL	AVE. TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
----------	---------	------	-----------	-----------	-------	------	-------	-------	-------

Обозначения: FACILITY – номер или имя одноканального устройства; ENTRIES – количество транзактов, вошедших в устройство после начала работы программы; UTIL. – часть периода моделирования, в течение которого устройство было занято (коэффициент загрузки); AVE. TIME – среднее время занятости устройства одним транзактом в течение процедуры моделирования; AVAILABLE – состояние готовности устройства в кон-

це периода моделирования; OWNER – номер последнего транзакта, занимавшего устройство (0 означает, что устройство не занималось); PEND – количество транзактов, ожидающих устройство; INTER – количество транзактов, обработка которых прервана на устройстве в данный момент модельного времени; RETRY – количество транзактов, ожидающих выполнения некоторых условий; DELAY – количество транзактов, ожидающих занятия устройства (включая транзакты, ожидающие освобождение устройства).

Информация об очередях

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRIES	ENTRIES(0)	AVE.CONT	AVE.TIME	AVE.(–0)	RETRY
-------	-----	-------	---------	------------	----------	----------	----------	-------

Обозначения: QUEUE – имя или номер объекта типа «очередь»; MAX – максимальное содержимое объекта типа «очередь» в течение периода моделирования; CONT – текущее содержимое объекта типа «очередь» в момент завершения моделирования; ENTRIES – общее количество входов в очередь в течение периода моделирования; ENTRIES(0) – общее количество входов в очередь с нулевым временем ожидания; AVE.CONT – среднее значение длины очереди; AVE.TIME – среднее время, проведенное транзактом в очереди с учетом всех входов в очередь; AVE.(–0) – среднее время, проведенное транзактом в очереди без учета «нулевых» входов в очередь; RETRY – количество транзактов, ожидающих специальных условий, зависящих от состояния объекта типа «очередь».

Информация о многоканальных устройствах

STORAGE	CAP.	REMAIN	MIN	MAX	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
---------	------	--------	-----	-----	---------	------	--------	-------	-------	-------

Обозначения: STORAGE – имя или номер многоканального устройства; CAP. – количество каналов, заданное оператором STORAGE; REMAIN – число свободных каналов в конце периода моделирования; MIN – минимальное количество использовавшихся каналов за период моделирования; MAX – максимальное количество использовавшихся каналов за период моделирования; ENTRIES – количество входов в многоканальное устройство за период моделирования; AVL. – состояние готовности многоканального устройства в конце периода моделирования; AVE.C. – среднее число занятых каналов в устройстве за весь период моделирования; UTIL. – часть периода моделирования, в течение которого многоканальное устройство использовалось; RETRY – количество транзактов, ожидающих специальные условия, зависящие от состояния устройства; DELAY – количество транзактов, ожидающих возможность входа в блок ENTER.

Информация о ячейках памяти

SAVEVALUE	VALUE	VALUE
-----------	-------	-------

Обозначение: SAVEVALUE – имя или номер ячейки; VALUE – значение ячейки в конце моделирования; RETRY – количество транзактов, ожидающих наступления специальных условий, зависящих от состояния ячейки.

Более подробная информация о работе с системой GPSS World представлена в [1, 2].

3 Лабораторные работы

3.1 Создание имитационной модели функционирования автозаправочной станции (АЗС) и изучение характеристик ее работы

Задание: создайте в системе GPSS World Student Version имитационную модель функционирования АЗС и равномерным распределением времени поступления автомобилей на заправку и времени заправки автомобилей. Количество топливозаправочных колонок принимайте равным 1, 2, 3. По созданной имитационной модели выполните анализ работы АЗС и определите оптимальное количество колонок. Данные по вариантам даны в таблице А.1.

Создание имитационной модели

Имитационная модель АЗС представляет собой одноканальную незамкнутую СМО. Определим основные элементы СМО при моделировании АЗС.

Входящий поток образуется автомобилями, требующими заправки топливом, и характеризуется интервалами времени поступления требований на заправку. Автомобили моделируются *транзактами*. В соответствии с заданием интервалы времени поступления автомобилей имеют равномерное распределение, для которого задано среднее значение и возможный разброс значений времени.

Каналом обслуживания являются АЗС, которые характеризуются количеством топливозаправочных колонок и временем обслуживания одного требования (временем заправки одного автомобиля), которое распределено по равномерному закону в соответствии с заданием. АЗС моделируется одноканальным устройством **FACILITY** (если одна колонка) или многоканальным устройством **STORAGE**, для которого задают количество каналов обслуживания соответственно 2, 3 (по количеству топливозаправочных колонок АЗС).

Очередь образуется автомобилями, требующими заправки, если все колонки заняты и характеризуется средней и максимальной длиной очереди, средним временем нахождения требования в очереди. Очередь моделируется объектом **QUEUE**.

Выходящий поток образуется заправленными автомобилями (обслуженные требования).

Функциональная схема полученной имитационной модели АЗС представлена на рис. 1. Пример имитационной модели в GPSS World и пояснения даны в таблицах 2, 3. Время моделирования работы АЗС равно времени одних суток (в минутах): 24 ч. x 60 мин. = 1440 мин.

Порядок выполнения

1. Создайте имитационные модели АЗС с 1, 2, 3 колонками (примеры моделей см. ранее). Для создания ИМ АЗС с 3 колонками в операторе STORAGE укажите количество колонок 3. Создание и трансляция модели описано в п. 2.2.
2. Сохраните имитационные модели на диске R с именами АЗС1.gps; АЗС2.gps; АЗС3.gps и распечатайте их. Выполните трансляцию моделей и сохраните отчеты REPORT по результатам моделирования с именами АЗС1.gpr; АЗС2.gpr; АЗС3.gpr и распечатайте их.
3. Выполните анализ работы АЗС. Для этого из полученных отчетов выберите необходимы данные и заполните таблицу 4.

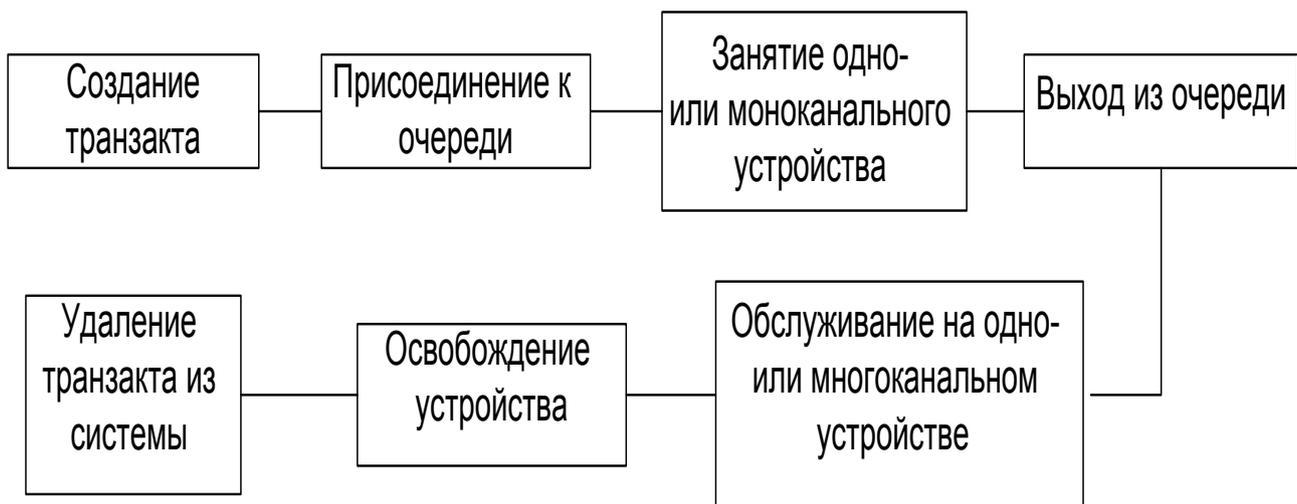


Рисунок 1 - Функциональная схема полученной имитационной модели АЗС

Таблица 2 - Имитационная модель АЗС с 1 колонкой в GPSS World

*** Имитационная модель АЗС с 1 колонкой ***

GENERATE	5.2, 2.0	; создание транзактов и моделирование их поступления в модель (т.е. моделирование поступления автомобилей на АЗС) со средним временем $5,2 \pm 2,0$ мин.
QUEUE	ZAPRAVKA	; Постановка автомобиля в очередь на АЗС, имя очереди ZAPRAVKA
SEIZE	KOLONKA	; Занятие транзактом одноканального устройства KOLONKA (занятие автомобилем колонки)
DEPART	ZAPRAVKA	; Выход транзакта (автомобиля) из очереди ZAPRAVKA
ADVANS	6.3, 3.4	; задержка транзакта (выполнение заправки автомобиля) в течение заданного интервала времени $6,3 \pm 3,4$ мин.
RELEASE	KOLONKA	; Освобождение транзактом одноканального устройства KOLONKA (освобождение автомобилем колонки)
TERMINATE		; Удаление транзакта из модели (автомобиль покидает систему)
GENERATE	1440	; Задание времени моделирования 1440 мин (1 сутки)

TERMINATE	1	; Остановить моделирование
START	1	; Запуск процедуры моделирования

Таблица 3 – Имитационная модель АЗС с 2 колонками в GPSS World

KOLONKA STORAGE	2	; АЗС С 2 КОЛОНКАМИ
GENERATE	5.2, 2.0	; ПОСТУПЛЕНИЕ А/М НА АЗС

; СО СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ 5,2 ±2,0 мин
QUEUE ZAPRAVKA ; ВХОД В ОЧЕРЕДЬ НА АЗС
ENTER KOLONKA ; ЗАНЯТИЕ АВТОМОБИЛЕМ КОЛОНКИ
DEPART ZAPRAVKA ; ВЫХОД ИЗ ОЧЕРЕДИ НА АЗС
ADVANCE 6.3,3.4 ; ЗАПРАВКА А/М НА КОЛОНКЕ
 ; СО СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ 6,3 ±3,4 мин
LEAVE KOLONKA ; ОСВОБОЖДЕНИЕ АВТОМОБИЛЕМ
 ; КОЛОНКИ
TERMINATE ; АВТОМОБИЛЬ ПОКИДАЕТ СИСТЕМУ
GENERATE 1440 ; ЗАДАНИЕ ВРЕМЕНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
 ; 1440 МИН

TERMINATE 1 ; ОСТАНОВИТЬ МОДЕЛИРОВАНИЕ
START 1 ; ЗАПУСК ПРОЦЕДУРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Таблица 4 –Результаты моделирования АЗС

Количество топливозаправочных колонок на АЗС $n_{\text{пост}}$	Очередь QUEUE		Одноканальное FACILITY или многоканальное STORAGE устройство		
	Средняя длина очереди AVE.CONT.	Среднее время нахождения автомобиля в очереди Тср.оч, мин; AVE.TIME	Количество выполненных заправок за время моделирования $N_{\text{запр}}$, ENTRIES	Коэффициент использования (загрузки) колонки Кисп, UTIL.	Среднее число занятых колонок AVE.C.
	1	2	3	4	5
1					для АЗС с 1 колонкой AVE.C.= UTIL.
2					
3					

Примечание – Расшифровка обозначений в отчете REPORT дана в п. 2.3

- На основании анализа таблицы 4 сделайте вывод об оптимальном количестве колонок на АЗС, исходя из следующих критериев: коэффициент использования (загрузки) **UTIL.** колонки находится в пределах от 0,5 до 0,9; среднее число автомобилей одновременно находящихся на АЗС (т. е. заправок и находящихся в очереди **AVE.C.+ AVE.CONT.**) не должно превышать 5; среднее время ожидания заправки **AVE.TIME** не должно превышать среднее время заправки [2] (критерии могут изменяться преподавателем)
- Письменно ответьте на контрольные вопросы.

Содержание отчета

Тема, задание, исходные данные, основные элементы СМО при моделировании АЗС, функциональная схема полученной имитационной модели АЗС, распечатка (либо сохранение на диске R) файлов имитационных моделей (АЗС1.gps; АЗС2.gps; АЗС3.gps) и файлов отчетов (АЗС1.gpr; АЗС2.gpr; АЗС3.gpr); таблица 4; вывод об оптимальном количестве колонок на АЗС; ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение и формат блоков GENERATE, TERMINATE, SEIZE, RELEASE, QUEUE, DEPART, ADVANCE, ENTER, LEAVE, поясните задаваемые параметры.
2. Какая информация содержится об одноканальных устройствах в выходном файле статистики «REPORT» системы GPSS Word?
3. Какая информация содержится об очередях в выходном файле статистики «REPORT» системы GPSS Word?
4. Какая информация содержится об одноканальных устройствах в выходном файле статистики «REPORT» системы GPSS Word?

3.2 Оптимизация зоны технического обслуживания (ТО) автомобилей автотранспортного предприятия (АТП) с использованием имитационного моделирования

Задание: Определить оптимальное количество постов первого технического обслуживания (ТО-1) по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание. При этом необходимо рассмотреть зону ТО-1 с 1, 2, 3 и более постами.

Исходные данные: Исходные данные принимаются в зависимости от номера варианта (см. таблицу А.2).

Порядок выполнения

1. Подготовка данных для моделирования. Технологический расчет зоны ТО

1.1 Корректировка нормативных значений пробегов и трудоемкостей.

Нормативные значения пробегов до ТО-1 $L_{ТО1}^H$, до ТО-2 $L_{ТО2}^H$, до списания $L_{СП}^H$, трудоемкости ТО-1 приводим к заданным условиям эксплуатации в соответствии с ТКП 248-2010 с помощью формул [4]:

$$L_{ТО-1} = L_{ТО-1}^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км};$$

$$L_{ТО-2} = L_{ТО-2}^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км};$$

$$L_{СП} = L_{СП}^H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ км};$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий категорию условий эксплуатации; K_2 – коэффициент, учитывающий модификацию ПС и организацию его работы; K_3 – коэффициент, учитывающий климатический район. Коэффициенты принимаем по [4]: $K_1 = 0,8$; $K_2 = 1$ (для базовых автомобилей или автобусов) или $K_2 = 0,85$ (для самосвалов); $K_{ТО3} = 1$; $K_{СП3} = 1,1$.

Нормативное значение трудоемкости ТО-1 $t_{ТО-1}^H$ приводим к заданным условиям эксплуатации с помощью формул [4]:

$$t_{ТО-1} = t_{ТО-1}^H \cdot K_2 \cdot K_4^2 \cdot K_5 \cdot K_6, \text{ чел.-ч};$$

где K_4^2 – коэффициент, учитывающий пробег с начала эксплуатации; K_5 – коэффициент, учитывающий число автомобилей обслуживаемых и ремонтируемых на АТП и число

технологически совместимых групп ПС; K_6 – коэффициент, учитывающий период эксплуатации.

По [4] принимаем: $K_2 = 1$ (для базовых автомобилей или автобусов) или $K_2 = 1,15$ (для самосвалов); $K_4 = 1$; $K_5 = 1$; $K_6 = 1$.

1.2 Определяем годовую производственную программу по ТО-1 (количество воздействий ТО-1 за год)

Для этого определяем коэффициент технической готовности по формуле [3]:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + L_{CC} \cdot \left(\frac{D_{ТО-ТР} \cdot K_4^1}{1000} \right)}$$

где L_{CC} – среднесуточный пробег, км; $D_{ТО-ТР}$ – нормативный простой ПС в ТО и ТР, дн./1000 км., для автобусов принимаем $D_{ТО-ТР} = 0,50$ дн./1000 км, для грузовых автомобилей $D_{ТО-ТР} = 0,60$ дн./1000 км; K_4 – коэффициент корректирования простоев ПС в ТО и ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации, для заданного пробега $K_4^1 = 0,7$.

Рассчитываем годовой пробег автомобиля по формуле [3]:

$$L_G = A_{И} \cdot D_{РАБ.Г.} \cdot L_{CC} \cdot \alpha_T, \text{ км.};$$

где $D_{РАБ.Г.}$ – количество дней работы в году, дн.(см. исходные данные), $A_{И}$ – количество автомобилей на автотранспортном предприятии (АТП).

Определяем количество воздействий ТО за год по формулам [3]:

$$N_{СП}^Г = \frac{L_G}{L_{СП}},$$

$$N_2^Г = \frac{L_G}{L_{ТО-2}} - N_{СП}^Г,$$

$$N_1^Г = \frac{L_G}{L_{ТО-1}} - N_{СП}^Г - N_2^Г.$$

1.3 Определяем такт поста и ритм производства

Такт поста ТО-1 определяются

$$\tau_{П} = \frac{t_{ТО-1}}{P_{П}} + t_{П},$$

где $t_{ТО-1}$ – трудоемкость ТО-1, чел.-ч; $P_{П}$ – количество рабочих, одновременно работающих на посту, $P_{П} = 3$ чел. по [3]; $t_{П}$ – время на перемещение автомобиля на пост и съезда с поста, $t_{П} = 0,03 \dots 0,05$ часа.

Ритм производства

$$R_{П} = \frac{T_{СМ} \cdot C}{N_{С} \cdot \varphi},$$

где $T_{СМ}$ – длительность смены, $T_{СМ} = 8$ ч.; $N_{С}$ – суточная программа работ по техническому обслуживанию, φ – коэффициент резервирования постов, принимаем $\varphi = 1,25$ по [3], $C = 1$ – количество смен работы зоны ТО-1.

Суточная программа по ТО-1 определяется

$$N_{C_TO-1} = \frac{N_1^r}{D_{РАБ,ЗОНЫ_ТО}},$$

где $D_{РАБ,ЗОНЫ_ТО}$ - число дней работы зоны ТО в году, в соответствие с исходными данными $D_{РАБ,ЗОНЫ_ТО} = 252$ дня.

Требуемое количество универсальных постов ТО по детерминированной типовой методике технологического расчета определяется [3]

$$X_{ТО-1} = \frac{\tau_{п}}{R_{п}}.$$

2. Создание имитационной модели зоны ТО-1 с использованием СМО, расчет ее параметров

Определим основные элементы СМО при моделировании зоны ТО-1 АТП.

Входящий поток образуется автомобилями, требующими технического обслуживания ТО-1, и характеризуется интервалами времени поступления требований на обслуживание $T_{ТО-ТО}$, час. Автомобили моделируются *транзактами*.

Для моделирования простейшего потока требований интервал времени между соседними событиями должен иметь экспоненциальное распределение, поэтому интервалы времени поступления автомобилей на ТО распределялись по экспоненциальному закону.

Каналами обслуживания (обслуживающими аппаратами) являются посты ТО-1, которые характеризуются количеством постов n и временем обслуживания одного требования, которое равно такту поста $\tau_{п}$, час. Зона ТО моделируется одноканальным устройством FACILITY (если один пост в зоне ТО) и многоканальным устройством STORAGE, для которого задают количество каналов обслуживания соответственно 2, 3 и 4 (по количеству постов зоны ТО). Интервалы времени на обслуживание одного автомобиля задавались также по экспоненциальному закону с математическим ожиданием равным такту поста.

Очередь образуется автомобилями, требующими технического обслуживания, если все посты ТО-1 заняты. Очередь характеризуется средней и максимальной длиной очереди, средним временем нахождения требования в очереди. Очередь моделируется объектом QUEUE.

Выходящий поток образуется автомобилями, которые прошли техническое обслуживание (обслуженные требования).

СМО является замкнутой, т.к. обслуживаются автомобили только своего АТП, при этом автомобили, прошедшие ТО, возвращаются к выполнению транспортной работы, а затем после определенного пробега вновь проходят ТО, процесс повторяется в цикле.

2.3 Расчет показателей СМО

Определяем математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТО-1, через которые автомобиль поступит на ТО-1 - $T_{ТО-ТО}$, час.

Для этого находим количество дней, через которые производится ТО-1 автомобиля

$$N_{дней} = \frac{L_{ТО-1}}{L_{СС}}.$$

Количество дней округляется до целых.

Математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТО-1, через которые автомобиль поступит на ТО-1

$$T_{\text{ТО-ТО}} = N_{\text{дней}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot C, \text{ час}$$

Принимаем время моделирования равным 1 год. Тогда время моделирования в часах определяется

$$T_{\text{МОД}} = T_{\text{СМ}} \cdot C \cdot D_{\text{РАБ.Г.}}$$

где длительность смены $T_{\text{СМ}}=8$ часов, количество смен $C=1$, количество дней работы зоны ТО-1 в год $D_{\text{РАБ.Г.}}=252$ дня.

$$T_{\text{МОД}} = 8 \cdot 1 \cdot 252 = 2016 \text{ ч.}$$

2.2 Составление имитационной модели замкнутой СМО и моделирование.

Одноканальная замкнутая СМО моделирует зону ТО-1 с одним постом. Зона ТО-1 моделируется одноканальным устройством FACILITY. Пример имитационной модели представлен ниже. Выделенные цифры необходимо заменить на рассчитанные выше значения. В имитационной модели используются следующие переменные: **AVTO** -- количество заданных автомобилей A_i , ед; **TIME_DO_TO** - среднее время, через которое автомобиль требует ремонта и поступает в зону ТО $T_{\text{ТО-ТО}}$, час; **OBSL** - среднее время выполнения одного технического обслуживания $t_{\text{ТО-1}}$, час; **TIME_MODEL** - время моделирования работы зоны ТО $T_{\text{МОД}}$, час, которое соответствует времени работы зоны ТО в течение одного года.

* Модель одноканальной замкнутой СМО с простейшим потоком требований*

```
INITIAL X$AVTO,100 ; задание количества а/м = 100 ед.
INITIAL X$TIME_DO_TO,320 ; задание среднего времени, через которое
; выполняется ТО-1 =320 ч.
INITIAL X$OBSL,1.81 ; задание среднего времени
; на выполнение ТО-1 =1.81 ч.
INITIAL X$TIME_MODEL,2016 ; задание времени моделирования
; работы зоны ТО-1 2016 ч.
```

```
INFORM QTABLE ON_TO,0,2,100 ; сбор статистических данных для таблицы
; INFORM об очереди ON_TO
GENERATE ,,X$AVTO ; генерация транзактов, соответствующих
; количеству автомобилей
WORK ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X$TIME_DO_TO)) ; задержка автомобиля
; на время выполнения транспортной работы,
; распредел. по экспоненциальному закону
QUEUE ON_TO ; поступление а/м в ОЧЕРЕДЬ на пост ТО
; (имя очереди ON_TO)
SEIZE POST_TO ; занятие поста ТО (имя поста POST_TO)
DEPART ON_TO ; выход а/м из очереди
ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X$OBSL)) ; задержка а/м на время
; выполнения
```

	ТО-1, которое
RELEASE POST_TO	;распределено по экспоненц. закону
TRANSFER ,WORK	; освобождение а/м поста ТО
	; переход на блок с меткой Work

GENERATE X\$TIME_MODEL	; задание времени моделирования
	;зоны ТО
TERMINATE 1	;остановить моделирование
START 1	;запуск процедуры моделирования

Многоканальная замкнутая СМО моделирует зону ТО-1 с 2 и более постами. Зона ТО-1 моделируется многоканальным устройством STORAGE, для которого задают количество каналов обслуживания равное количеству постов ТО-1 в зоне. Пример имитационной модели представлен ниже. Выделенные цифры необходимо заменить на рассчитанные выше значения. Количество постов в зоне ТО задается цифрой в операторе STORAGE.

Максимальное количество постов в зоне ТО задается из следующего условия: расчетное требуемое количество постов $X_{ТО-1}$ округленное до целых в большую сторону плюс три поста. Максимальное количество постов зоны ТО не должно быть меньше четырех.

*Моделирование зоны ТО-1 с помощью двухканальной замкнутой СМО

с простейшим потоком требований

INITIAL X\$AVTO,100	; задание количества а/м = 100 ед.
INITIAL X\$TIME_DO_TO,320	; задание среднего времени, через которое
	; выполняется ТО-1 =320 ч.
INITIAL X\$OBSL,1.81	; задание среднего времени
	; на выполнение ТО-1 =1.81 ч.
INITIAL X\$TIME_MODEL,2016	; задание времени моделирования
	; работы зоны ТО-1 2016 ч.

ZONA_TO	STORAGE 2	;создание зоны ТО с 2 постами
INFORM	QTABLE ON_TO,0,2,100	; сбор статистических данных для таблицы
		;INFORM об очереди ON_TO
	GENERATE ,,X\$AVTO	;генерация транзактов, соответствующих
		;количеству автомобилей
WORK	ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X\$TIME_DO_TO))	; задержка автомобиля
		;на время выполнение транспортной работы, распред.
		; по экспоненциальному закону
	QUEUE ON_TO	; поступление а/м в ОЧЕРЕДЬ на пост ТО
		;(имя очереди ON_TO)
	ENTER ZONA_TO	; занятие зоны ТО автомобилем

DEPART ON_TO ; выход а/м из очереди
 ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X\$OBSL)) ; задержка а/м на время
 ;выполнения ТО-1, которое
 ;распределено по экспоненц. закону
 LEAVE ZONA_TO ; а/м покидает зону ТО
 TRANSFER ,WORK ; переход на блок с меткой Work

GENERATE X\$TIME_MODEL ; задание времени моделирования
 ;зоны ТО
 TERMINATE 1 ;остановить моделирование
 START 1 ;запуск процедуры моделирования

Сохраните созданные имитационные модели на диске **R** с именами **Зона-ТО1_1пост.gps**; **ЗонаТО1_2пост.gps** и т.д. и распечатайте их. Выполните трансляцию моделей и сохраните отчеты REPORT по результатам моделирования с именами **Зона-ТО1_1пост.gpr**; **ЗонаТО1_2пост**; и т.д. и распечатайте их.

3. Анализ результатов моделирования

3.1 Из каждого отчета по моделированию выберите и запишите в таблицу 5 необходимые данные.

Таблица 5 –Результаты моделирования зоны ТО-1

Кол-во постов зоны ТО $n_{пост}$	Очередь QUEUE		Одноканальное FACILITY или многоканальное STORAGE устройство		
	Средняя длина очереди AVE.CONT.	Среднее время нахождения автомобиля в очереди $T_{ср.оч}$, час AVE.TIME	Количество выполненных ТО-1 за время моделирования $N_{ТО1г}$, ENTRIES	Козффициент использования (загрузки) зоны ТО Кисп, UTIL.	Среднее число занятых постов ТО AVE.C.
1	2	3	4	5	6
1					для зоны ТО с 1 постом AVE.C.=UTIL.
2					
3					
4					
.....					
N_{max}					

3.2 Постройте 5 графиков зависимостей показателей работы зоны ТО (столбцы под номерами 1-5) от количества постов в зоне ТО.

3.3 Определите оптимальное количество постов ТО-1 по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 (постов, оборудования, ремонтных рабочих) в ожидании требований на обслуживание.

Для этого определяем суммарное время простоя автомобилей $\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}}$ в ожидании ТО-1 за время моделирования, а также затраты от простоя автомобилей $З_{\text{ПР.АВТО}}$ за время моделирования и заполняем таблицу 6:

$$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}} = N_{\text{ТО1Г}} \cdot T_{\text{СР.ОЧ}}, \text{ час};$$

$$З_{\text{ПР.АВТО}} = \sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}} \cdot C_{\text{ПР.АВТО}}, \text{ д.е.},$$

где $C_{\text{ПР.АВТО}} = 40$ денежных единиц/час – потери прибыли за один автомобиле-час из-за простоя в ожидании ТО.

Определяем суммарное время простоя постов ТО-1 $\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}}$ в ожидании поступления автомобилей на ТО-1 за время моделирования, а также затраты от простоя постов ТО $З_{\text{ПР.ПОСТ}}$ за время моделирования и заполняем таблицу 6:

$$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}} = n_{\text{ПОСТ}} \cdot T_{\text{МОД}} \cdot (1 - K_{\text{ИСП}}), \text{ час};$$

$$З_{\text{ПР.ПОСТ}} = \sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}} \cdot C_{\text{ПР.ПОСТ}}, \text{ д.е.},$$

где $C_{\text{ПР.АВТО}} = 20$ денежных единиц/час – потери прибыли из-за простоя одного поста в ожидании поступления автомобиля на ТО; $T_{\text{МОД}} = 2016$ ч. – время моделирования зоны ТО-1.

Суммарные затраты от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание определяются

$$З_{\Sigma} = З_{\text{ПР.ПОСТ}} + З_{\text{ПР.АВТО}}, \text{ д.е.}$$

Данные заносим в таблицу 6 для каждого варианта зоны ТО-1.

Таблица 6 – Результаты расчета суммарного времени простоя автомобилей, постов ТО, суммарных издержек

Зона ТО с к-вом постов $n_{\text{ПОСТ}}$	$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_АВТО}}$, час	$З_{\text{ПР.АВТО}}$, д.е.	$\sum T_{\text{ПРОСТОЯ_ПОСТ}}$, час	$З_{\text{ПР.ПОСТ}}$, д.е.	$З_{\Sigma}$, д.е.
1					
2					
3					
4					
.....					
Nmax					

По данным таблицы 6 строите на одной точечной диаграмме 3 графика зависимостей затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания, затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание и суммарных затрат от количества постов зоны ТО-1.

Сделайте вывод о том, какое количество постов зоны ТО-1 является оптимальным по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании обслуживания и затрат от простоя постов ТО-1 в ожидании требований на обслуживание. Сравните найденной оптимальное количество постов с рассчитанным $X_{ТО-1}$.

Содержание отчета

Тема, задание, таблица с исходными данными, технологический расчет зоны ТО, расчет показателей СМО, сохраненные и распечатанные файлы моделей и отчетов по ним для каждого варианта зоны ТО, таблица 5 и графики по ней, расчет затрат, таблица 6 и графики по ней, вывод об оптимальном количестве постов ТО-1, ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каким видом СМО моделируется зона ТО?
2. Назовите основные элементы СМО при моделировании зоны ТО-1. Что они моделируют, каким объектам имитационной модели соответствуют, какими параметрами характеризуются?

3.3 Оптимизация зоны текущего ремонта (ТР) автомобилей АТП с использованием имитационного моделирования

Задание: Определить оптимальное количество регулировочных и разборочно-сборочных постов ТР по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР и затрат от простоя постов ТР в ожидании требований на обслуживание. При этом необходимо рассмотреть зону ТР с 1, 2, 3 и более постами.

Исходные данные: Исходные данные принимаются в зависимости от номера варианта (см. таблицу А.2).

Порядок выполнения

1. Подготовка данных для моделирования

1 Определяем *годовой объем работ ТР* определяется по формуле:

$$T_{ТР}^Г = L_Г \cdot A_{и} \cdot t_{ТР} / 1000, \text{ чел.-ч.}$$

где $L_Г$ - *годовой пробег автомобилей*, км (принимается по данным предыдущей лабораторной работы); $A_{и}$ - *списочное количество ПС*; $t_{ТР}$ - *удельная скорректированная трудоемкость ТР*, чел.-ч/1000км.

2 Определяем *годовой объем постовых регулировочных и разборочно-сборочных работ ТР*. Для грузовых автомобилей он составляет $b = 34\%$, а для автобусов $b = 35\%$ от *годовой объем работ ТР*:

$$T_{РРСБ}^Г = \frac{T_{ТР}^Г \cdot b}{100}, \text{ чел.-ч.}$$

3 Определяем *количество отказов $N_{ОТК}$ за год для заданного количества автомобилей*

$$N_{ОТК} = L_Г \cdot \omega,$$

где ω - *параметр потока отказов*, отк./1000 км.

4 Определяем *годовой фонд времени работы зоны ТР $\Phi_{ЗОНЫ_ТР}$* (равен времени моделирования зоны ТР $\Phi_{МОД}$)

$$\Phi_{\text{МОД}} = \Phi_{\text{ЗОНЫ_ТР}} = C \cdot D_{\text{РАБ.ТР}} \cdot T_{\text{СМ}}, \text{ час,}$$

где $C=2$ – количество смен работы, $D_{\text{РАБ.ТР}} = 302$ – количество дней работы зоны ТР в году, $T_{\text{СМ}}=8$ ч - длительность смены постов регулировочных и разборочно-сборочных работ зоны ТР.

5 Определяем среднее время, через которое автомобиль требует ремонта и поступает в зону ТР.

Пробег, через который возникнет отказ у автомобиля, определяется

$$L_{\text{ОТКАЗ}} = \frac{1000}{\omega}, \text{ км}$$

Определяем математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТР, через которые автомобиль поступит на ТР – $T_{\text{ТРЕБ_ТР}}$, час.

Для этого находим количество дней, через которые возникает отказ автомобиля

$$N_{\text{дней}} = \frac{L_{\text{ОТКАЗ}}}{L_{\text{СС}}}$$

Количество дней округляется до целых.

Математическое ожидание (среднее значение) интервала времени работы зоны ТР, через которые автомобиль поступит в ТР

$$T_{\text{ТРЕБ_ТР}} = N_{\text{дней}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot C, \text{ час.}$$

6 Среднее время выполнения одного текущего ремонта

$$T_{\text{ВЫП_ТР}} = \frac{T_{\text{PPCB}}^{\Gamma}}{N_{\text{ОТК}} \cdot P_{\text{РАБ}} \cdot \eta}, \text{ час,}$$

где численность рабочих, одновременно работающих на посту ТР $P_{\text{РАБ}} = 1.5$ чел; коэффициент использования рабочего времени поста $\eta=0,97$ [3].

7 Определяем требуемое количество регулировочных и разборочно-сборочных постов ТР $X_{\text{ТР}}$ по типовой методике технологического расчета:

$$X_{\text{ТР}} = \frac{T_{\text{PPCB}}^{\Gamma} \cdot \varphi}{D_{\text{РАБ.ТР}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot C \cdot P_{\text{РАБ}} \cdot \eta};$$

где T_{PPCB}^{Γ} - годовой объем работ на регулировочных и разборочно-сборочных постах ТР, чел.-ч.; $D_{\text{РАБ.ТР}} = 302$ - число рабочих дней в году постов ТР; φ - коэффициент неравномерности загрузки (резервирования) постов, $\varphi = 1,25$.

2. Создание имитационной модели зоны ТР с использованием СМО

Для моделирования зоны ТР используются одно- и многоканальные замкнутые СМО. Элементы СМО при моделировании зоны ТР аналогичны элементам СМО при моделировании зоны ТО-1 (см. предыдущую лабораторную работу), за исключением того, что *входящий поток* и *очередь* образуются автомобилями, требующими ТР, *каналами обслуживания* являются посты ТР, *выходящий поток* образуются отремонтированными автомобилями.

Имитационные модели зоны ТР совпадают по виду с имитационными моделями зоны ТО (см. предыдущую лабораторную работу), при этом в них нужно внести следующие изменения в используемые переменные:

АВТО - количество заданных автомобилей A_i , ед

TIME_DO_TO - среднее время, через которое автомобиль требует ремонта и поступает в зону ТР $T_{\text{ТРЕБ_ТР}}$, час.

OBSL - среднее время выполнения одного текущего ремонта $T_{\text{ВЫП_ТР}}$, час

TIME_MODEL - время моделирования работы зоны ТР $T_{\text{МОД}}$, час, которое соответствует времени работы зоны ТР в течение одного года.

Максимальное количество постов в зоне ТР задается из следующего условия: расчетное требуемое количество постов $X_{\text{ТР}}$ округленное до целых в большую сторону плюс три поста. Максимальное количество постов зоны ТР не должно быть меньше четырех.

Сохраните созданные имитационные модели на диске R с именами **ЗонаТР_1пост.gps**; **ЗонаТР_2пост.gps** и т.д. и распечатайте их. Выполните трансляцию моделей и сохраните отчеты REPORT по результатам моделирования с именами **ЗонаТР_1пост.gpr**; **ЗонаТР_2пост**; и т.д. и распечатайте их.

3. Анализ результатов моделирования

Анализ результатов моделирования выполняется как в предыдущей лабораторной работе.

3.1 Из каждого отчета по моделированию зоны ТР выберите и запишите в таблицу 5 необходимые данные, при этом внесите необходимые изменения в обозначения столбцов таблицы.

3.2 Постройте 5 графиков зависимостей показателей работы зоны ТР (столбцы под номерами 1-5) от количества постов в зоне ТР

3.3 Определите оптимальное количество постов ТР по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР и затрат от простоя постов ТР (постов, оборудования, ремонтных рабочих) в ожидании требований на ТР.

Расчеты выполняются аналогично предыдущей лабораторной работе, заполняется таблица 6, в которую вносятся необходимые изменения в обозначениях.

По данным таблицы 6 строите на одной точечной диаграмме 3 графика зависимостей затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР, затрат от простоя постов ТР в ожидании требований на ТР и суммарных затрат от количества постов зоны ТР.

Сделайте вывод о том, какое количество постов зоны ТР является оптимальным по критерию минимальных суммарных затрат от простоя автомобилей в ожидании ТР и затрат от простоя постов ТР в ожидании требований на ТР. Сравните найденной оптимальное количество постов с рассчитанным $X_{\text{ТР}}$.

Содержание отчета

Тема, задание, таблица с исходными данными, расчет данных для моделирования зоны ТР, сохраненные и распечатанные файлы моделей и отчетов по ним для каждого варианта зоны ТР, таблица 5 и графики по ней, расчет затрат, таблица 6 и графики по ней, вывод об оптимальном количестве постов ТР, ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каким видом СМО моделируется зона ТР?
2. Назовите основные элементы СМО при моделировании зоны ТР. Что они моделируют, каким объектам имитационной модели соответствуют, какими параметрами характеризуются?

Список используемых источников

1. Кудрявцев Е. М. K88 GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил. (Серия «Проектирование»).
2. Шевченко, Д. Н. Имитационное моделирование на GPSS : учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / Д. Н. Шевченко, И. Н. Кравченя ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 97 с.
3. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: Учебник/ М.М.Болбас, Н.М.Капустин, А.С.Савич и др; Под ред. М. М. Болбаса - Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. - 528 с.
4. Технический кодекс установившейся практики ТКП 248-2010 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения». – Мн.: Изд-во РУП «Транстехника», 2010. – 44 с.

Приложение А

Таблица А.1 – Исходные данные для задания № 1.

Вар №	Время между поступлениями автомобилей на АЗС Тпост, мин		Время на выполнение заправки автомобиля, Тзапр, мин	
	Среднее значение	Величина разброса	Среднее значение	Величина разброса
1	2,5	0,8	5	1,5
2	3	1,2	6	2,4
3	3,5	1,8	7	3,5
4	4	2,0	8	4
5	4,5	2,7	9	5,4
6	5	1,5	10	3
7	5,5	2,2	11	4,4
8	5	2,5	10	5
9	4,5	2,3	9	4,5
10	4	2,4	8	4,8
11	3,5	1,1	7	2,1
12	3	1,2	6	2,4
13	2,5	1,3	5	2,5
14	5	2,5	10	5
15	6	3,6	12	7,2

Таблица А.2 - Исходные данные для задания № 2, 3

Вар №	Модель транспортного средства	$L^{H_{TO1}}$, тыс. км	$L^{H_{TO2}}$, тыс. км	$L^{H_{СП}}$, тыс. км	$t^{H_{TO1}}$, чел.-ч	t_{TP} , чел.-ч/1000км	$L_{СС}$, км	Аи, ед.	ω , отк./1000км
1	ПАЗ-3206	3	12	320	5,5	5,3	220	100	0,080
2	ЛАЗ-695Н	3,5	14	400	5,8	6,5	225	105	0,069
3	РАДЗІМІЧ А092	10	20	400	8,99	7	230	110	0,049
4	ПАЗ-4230	4	16	400	9,63	8	235	115	0,060
5	МАЗ-256	5	20	500	11,43	6,9	240	120	0,048
6	НЕМАН-5201	5	20	500	11,72	7,9	245	125	0,047
7	МАЗ-103	7,5	25	600	13,17	12,5	250	130	0,039
8	МАЗ-103С	5	20	600	13,17	12,5	230	135	0,047
9	МАЗ-104	6	25	600	13,03	12,5	235	140	0,038
10	МАЗ-152	7,5	30	600	14,33	12,5	240	145	0,030
11	МАЗ-203	10	30	600	17,03	13	245	150	0,032
12	МАЗ-53371	8	24	600	4,6	5,2	250	145	0,041
13	МАЗ-53362	8	24	600	3,2	5,8	255	140	0,040
14	МАЗ-534005	15	30	600	6	6	260	135	0,031
15	КАМАЗ-55102	4	12	380	1,91	6,7	190	130	0,081
16	МАЗ-555102	5	20	380	4,51	7	195	125	0,046
17	МАЗ-555402	4	16	250	5,31	6,7	200	120	0,062
18	КРАЗ-256Б1	2,5	12,5	160	3,7	6,4	205	115	0,078
19	КАМАЗ-55111	4	12	380	1,91	6,7	210	110	0,083
20	КАМАЗ-65111	4	16	380	1,91	6,9	215	105	0,060
21	МАЗ-5516	5	20	380	5	6,8	220	100	0,048
22	ГАЗ-СА3-3701-01	2,5	12,5	250	2,2	3,8	225	105	0,078
23	МАЗ-457041	5	20	300	4,8	4,1	230	110	0,047
24	ГАЗ-3309	5	20	300	2,7	3,3	235	115	0,050
25	ГАЗ-33021	10	20	300	6,82	3,6	240	120	0,049

Примечания

1 Категория условий эксплуатации – III; климатический район – умеренно-теплый влажный; пробег с начала эксплуатации в долях от нормативного пробега – до 0,25; количество дней работы в году: для автомобилей– 302 дня, для автобусов – 365 дней; режим работы зоны ТО-1 : 252 дня в году, 1 смена, продолжительность смены 8 часов, режим работы зоны TP: 302 дня в году. 2 смены, продолжительность смены 8 часов.

Учебное издание

Составитель: Монтик Сергей Владимирович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным занятиям
по дисциплине
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
для студентов специальностей
1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1 – 37 01 07 «Автосервис»
Часть 1
В 2 частях.

Ответственный за выпуск Монтик С.В.
Редактор

Подписано к печати .2012 г. Формат 60x84/16 Бумага писчая N 1. Усл. п.л. _____. Уч. изд. л. . Заказ N . Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.