

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Вологодская государственная  
молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»



Инженерный факультет  
Кафедра технических систем в агробизнесе

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАСЧЕТАХ НА ЭВМ

*УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ*  
для студентов инженерного факультета  
направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия



Вологда – Молочное  
2023

УДК 681.5.015 (071)  
ББК 22.18 р 30  
М 744

*Составитель:*

канд. техн. наук, доцент кафедры технические системы в агробизнесе  
**В.Н. Вершинин.**

*Рецензенты:*

канд. техн. наук, доцент кафедры энергетических средств  
и технического сервиса **Е.А. Берденников;**  
канд. техн. наук, доцент кафедры технические системы в агробизнесе  
**Н.Н. Кузнецов.**

Математическое моделирование в расчетах на ЭВМ: учебно-методическое пособие / Сост. В.Н. Вершинин. - Вологда - Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2023. - 51 с.

Учебно-методическое пособие по курсу «Математическое моделирование в расчетах на ЭВМ» предназначено для студентов инженерного факультета, направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Учебно - методическое пособие включает справочный материал по функциональным возможностям системы имитационного моделирования GPSS, также в пособии приведены примеры моделирования производственных процессов и даны варианты задач для выполнения лабораторных работ.

Одобрено решением редакционно-издательского совета и рекомендовано к размещению на образовательном портале и в ЭБС ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА.

УДК 681.5.015 (071)  
ББК 22.18 р 30

© Вершинин В.Н., 2023  
© ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	6
1.1 Цель и задачи дисциплины.....	6
1.2 Сущность метода моделирования .....	6
1.3 Классификация методов моделирования.....	7
1.4 Типовые математические схемы.....	9
1.5 Приоритеты транзактов .....	10
1.6 Выбор средств программной реализации моделей.....	11
1.7 Этапы разработки имитационной модели .....	12
2 ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ GPSS/PC .....	13
2.1 Принципы построения пакета GPSS/PC .....	13
2.2 Основные объекты пакета GPSS/PC.....	15
2.3 Управляющие карты .....	18
2.4 Содержание стандартного отчета.....	19
3 ПЕРВЫЙ БЛОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	21
3.1 Работа №1. Модели с одноканальными устройствами .....	21
3.2 Работа №2. Исследование работы производственного участка .....	22
3.3 Работа №3. Выбор оптимального варианта аппарата обслуживания....	27
4 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ .....	29
4.1 Базовая имитационная модель производственного модуля .....	29
4.2 Моделирование установившегося режима работы.....	30
4.3 Моделирование отказов оборудования.....	31
5 ВТОРОЙ БЛОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	32
5.1 Работа №4. Базовая имитационная модель производственного модуля	32
5.2 Работа №5. Подбор оборудования сушильного пункта .....	36
5.3 Работа №6. Учет отказов оборудования .....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	42
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	42

ПРИЛОЖЕНИЯ .....	43
Условные обозначения на блок-схемах GPSS.....	43
Пример построения модели.....	45
Пример составления отчета по работе .....	50

## ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование является эффективным инструментом исследования сложных систем на различных этапах их жизненного цикла, включая проектирование, разработку и эксплуатацию. Перспективные направления в применении математического моделирования связаны с использованием имитационного моделирования.

Учебным планом дисциплины «Математическое моделирование в расчетах на ЭВМ» предусмотрено проведение лекционных занятий, лабораторных занятий и значительный объем самостоятельной работы студентов. Текущий контроль знаний предусмотрен в виде отчетов по лабораторным работам и контрольных тестирований по темам. Итоговый контроль знаний предусмотрен в виде зачета.

В рамках данного курса рассматриваются следующие темы:

- 1) Цель, задачи и основные понятия моделирования. Математические модели, виды математического моделирования. Этапы разработки имитационной модели.
- 2) Основные объекты пакета GPSS World. Разработка моделей с одноканальными устройствами, функционирующими в режиме занятия и освобождения устройства и использования регистраторов очередей.
- 3) Моделирование систем массового обслуживания. Базовая имитационная модель. Расширение экспериментов с моделями.

Тематика лабораторных работ определена таким образом, чтобы охватить возможно большее число тем, изучаемых в рамках рассматриваемой дисциплины, и вместе с тем уделить достаточно учебного времени изучению основ моделирования в среде GPSS. Использование системы GPSS World позволяет легко анализировать результаты моделирования, так как система выдает подробную статистику по всем устройствам и очередям, используемым в имитационной модели. Все лабораторные работы разделены на два блока.

При выполнении каждой лабораторной работы студентам должны быть выданы индивидуальные задания, содержащие краткие теоретические сведения по теме лабораторной работы, методические указания по ее выполнению, а также контрольные вопросы.

Важной задачей является также организация самостоятельной работы студентов с использованием образовательного портала Вологодской ГМХА.

# 1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## 1.1 Цель и задачи дисциплины

**Цель курса включает:** изучение общих вопросов теории моделирования, изучение методов построения математических моделей и освоение практических методов и современной технологии машинного моделирования.

**Задачи курса:**

- знакомство с методами анализа и принципами подхода к моделированию;
- изучение основ математического моделирования;
- знакомство с методами имитационного моделирования;
- изучение системы имитационного моделирования GPSS/PC;
- приобретение практических навыков построения имитационных моделей и методов обработки результатов моделирования.

*Модель - это такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект - оригинал так, что его непосредственное изучение дает новые знания об объекте - оригинале.*

*Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью модели называется моделированием.*

## 1.2 Сущность метода моделирования

Весь метод моделирования можно условно разбить на четыре этапа. Сущность метода моделирования схематически показана на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схематическое изображение сущности метода моделирования

Пусть имеется некоторый объект  $A$ , который необходимо исследовать. Однако, непосредственные эксперименты с реальным объектом  $A$  невозможны. В этом случае необходимо сконструировать или найти в реальном мире другой объект  $B$ , непосредственное изучение и эксперименты с которым позволяют перенести полученные о нем знания на объект  $A$ . Объект  $B$  является моделью объекта  $A$ .

На первом этапе построение модели предполагает наличие некоторых исходных знаний об объекте - оригинале. Вопрос о необходимом и достаточном сходстве оригинала с моделью требуют конкретного анализа в каждом отдельном случае. Очевидно, что модель утрачивает свой смысл как в случае тождества с оригиналом (тогда он перестает быть моделью), так и в случае чрезмерного отличия от оригинала. Любая модель замещает оригинал лишь в строго ограниченном смысле.

На втором этапе модель выступает как самостоятельный объект исследования. Одной из форм такого исследования является проведение модельных экспериментов, при которых сознательно изменяются условия функционирования модели и систематизируются данные о ее поведении. Конечным результатом этого этапа является множество знаний о модели  $R$ .

На третьем этапе осуществляется перенос знаний с модели на оригинал - формирование множества знаний  $S$ . Одновременно осуществляется переход с языка модели на язык оригинала.

На четвертом этапе производится практическая проверка получаемых с помощью моделей знаний, их использование для управления объектом.

Моделирование - циклический процесс. Это означает, что за первым четырехэтапным циклом может следовать второй, третий и т. д. При этом знания об объекте расширяются и уточняются, а исходная модель постоянно совершенствуется.

Если результаты моделирования подтверждаются, то говорят, что модель адекватна объекту. При этом адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Метод моделирования может применяться для исследования любых объектов и, в свою очередь, любой объект может стать средством моделирования.

### **1.3 Классификация методов моделирования**

Все множество моделей делится на два больших класса:

- модели материальные (предметные);
- модели идеальные (мысленные).

Первые воплощены в каких-либо материальных объектах, имеющих естественное или искусственное происхождение; вторые являются продуктом человеческого мышления.

В классе идеальных (мысленных) моделей основное место, занимают математические модели. Модель здесь является некоторым математическим объектом. Он замещает реальный объект исследования и становится предметом анализа с помощью соответствующих методов математики.

Математическая модель любого объекта описывается во времени оператором  $F_s$ , который преобразует независимые переменные в зависимые, в соответствии с соотношением вида

$$Y(t) = F_s(x, v, h, t), \quad (1)$$

где  $x(t)$  - входное воздействие;  
 $v(t)$  - воздействие внешней среды;  
 $h(t)$  - собственные параметры системы;  
 $y(t)$  - выходные характеристики системы.

В свою очередь математическое моделирование можно разделить на аналитическое, имитационное и комбинированное.

Для аналитического моделирования характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде какой-то математической структуры: алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений или интегральных уравнений. Разработчик модели должен быть специалистом-математиком или хорошо разбираться в этих вопросах. Однако, такие математические зависимости удается получить только для сравнительно простых систем, или же приходится значительно упрощать реальный объект, подгоняя его под допустимые с точки зрения анализа математические структуры. Поэтому в настоящее время достаточно широко применяют методы имитационного моделирования.

При разработке имитационной модели описывается процесс функционирования объекта в виде некоторого формализованного алгоритма, исходя из содержания исследуемого процесса.

Имитационное моделирование принципиально лишено недостатков аналитического моделирования. Оно не имеет ограничений на сложность описываемых объектов: любой фактор может быть учтен в имитационной модели, если в этом возникает необходимость и имеются соответствующие исходные данные.

Другим важным свойством имитационного метода является то, что при разработке модели объекта не требуется его представления в виде некоторой математической структуры и ее исследования. Следовательно, разработчик модели необязательно должен быть специалистом-математиком.



При использовании имитационного моделирования основной его функцией является функция анализа систем, а не функция синтеза. Это значит, что имитационная модель может демонстрировать поведение системы с любой точностью в зависимости от любого сложного сочетания факторов, но не может определить, какой должна быть система, чтобы выполнять заданные функции.

Имитационная модель отвечает на вопрос: "Что будет, если...?", но не способна ответить на вопрос: "Как надо, чтобы...?". В этом состоит ограничение метода имитационного моделирования, и поэтому имитационная модель служит для апробации уже готовых проектных решений, полученных экспертным или каким-то другим путем. Или же любая задача синтеза систем может быть сведена к многократному решению задач анализа. Это значит, что многократные прогоны имитационной модели на ЭВМ при целенаправленном изменении ее параметров могут служить для поиска наилучшего решения. В относительно простых случаях поиск наилучшего решения может осуществляться с помощью оптимизационных алгоритмов или методов теории планирования эксперимента.

#### 1.4 Типовые математические схемы

Математическое соотношение (1) представляет собой математические схемы общего вида и позволяет описывать различные объекты. Однако, на первоначальных этапах, рациональнее использовать типовые математические схемы, которые созданы для моделирования типовых процессов. Это дифференциальные уравнения (D-схемы), конечные и вероятностные автоматы (P-схемы, F-схемы), системы массового обслуживания (Q-схемы) и схемы общего вида (A-схемы).

Широко распространенной типовой математической схемой, используемой при моделировании производственных процессов, является Q-схема. С помощью такой схемы можно моделировать экономические, производственные, технические и другие системы или объекты.

В математических моделях сложных объектов, представленных в виде Q-схем, фигурируют средства обслуживания, называемые аппаратами обслуживания (АО) и обслуживаемые заявки, называемые транзактами.

В любом экспериментальном акте обслуживания можно выделить две основные составляющие: ожидание транзактом обслуживания и собственно обслуживание транзакта. Это можно изобразить в виде прибора обслуживания  $P_i$  (рис. 2), состоящего из накопителя или очереди транзактов  $H_i$  и аппарата обслуживания  $K_i$ .

На каждый элемент прибора  $P_i$  поступают потоки событий: в накопитель  $H_i$  - поток транзактов  $W_i$ , на аппарат  $K_i$  - поток обслуживаний  $U_i$ . Транзакты, обслуженные аппаратом  $K_i$ , образуют выходной поток  $Y_i$ .

Состояние АО описывается двоичной переменной, которая имеет значение "занят" или "свободен". Переменная, характеризующая состояние транзакта, имеет значение "обслуживание" или "ожидание". Состояние очереди характеризуется количеством находящихся в ней транзактов.

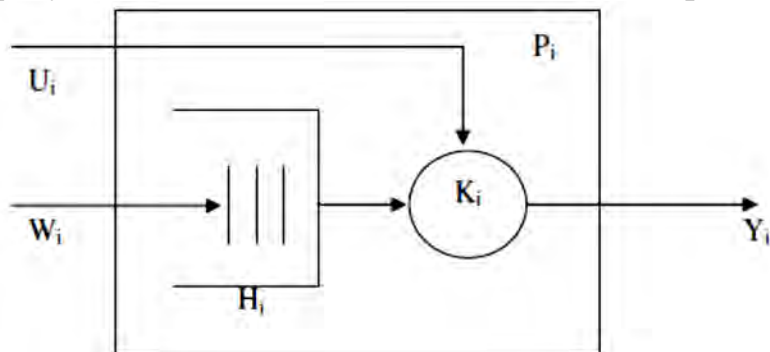


Рисунок 2 - Прибор обслуживания в символике Q-схем

Приведенная схема - это схема простейшего прибора обслуживания. В практике моделирования все системы, имеющие более сложные структуры можно представить композицией многих элементарных приборов обслуживания  $P_i$ .

Если аппараты  $K_i$  соединяются параллельно, то имеет место многоканальное обслуживание (многоканальная Q-схема), а если приборы  $P_i$  соединены последовательно, то имеет место многофазное обслуживание (многофазная Q-схема).

Различают разомкнутые и замкнутые Q-схемы. В разомкнутой Q-схеме, выходной поток транзактов не может снова поступить на какой-либо элемент, то есть обратная связь отсутствует, а в замкнутых схемах имеются обратные связи, по которым транзакты двигаются в обратном направлении.

### 1.5 Приоритеты транзактов

Для задания Q-схемы необходимо определить правила поведения транзактов в различных неординарных ситуациях. Неоднородность транзактов, отражающая процесс в реальной схеме, учитывается с помощью введения классов приоритетов.

Различают статистические и динамические приоритеты. Статистические приоритеты назначаются заранее и не зависят от состояний Q-схемы, то есть они являются фиксированными в пределах решения конкретной задачи.

Динамические приоритеты возникают при моделировании в зависимости от ситуации. Также различают относительные и абсолютные приоритеты. Относительный приоритет означает, что транзакт с более высоким приоритетом, поступивший в накопитель  $H_i$ , ожидает окончания обслуживания предшествующего транзакта и, только после этого, занимает аппарат обслуживания.

Абсолютный приоритет означает, что транзакт с более высоким приоритетом, поступивший в накопитель  $H_i$ , прерывает обслуживание транзакта с более низким приоритетом и сам занимает аппарат обслуживания (при этом вытесненный транзакт или покидает систему, или записывается на какое-то место в  $H_i$ ).

### **1.6 Выбор средств программной реализации моделей**

Q-схему можно исследовать с помощью аналитических и имитационных моделей, но имитационные модели обладают большими возможностями, чем аналитические. На работу с Q-схемами при машинной реализации моделей ориентированы специальные языки имитационного моделирования. Как и в ряде других вузов, мы сделали свой выбор в пользу системы имитационного моделирования GPSS. GPSS (General Purpose Simulation System) - общецелевая система моделирования, она представляет собой язык и машинную программу.

Неоспоримым фактом является то, что язык GPSS является одним из наиболее популярных и используемых средств имитационного моделирования в России и во всем мире. Гениальная разработка Дж. Гордона уже более пятидесяти лет всё увеличивает количество своих почитателей.

Конечно, язык GPSS имеет и целый ряд недостатков - простейший интерфейс пользователя, недостаточно функциональный редактор моделей, слабо автоматизированная технология проведения исследований, устаревший способ представления и анализа результатов и т.д. Эти недостатки все более явно проявляются в настоящее время на фоне современных средств информационных технологий. И все это, в основном, из-за того, что язык был разработан на самой заре информатизации. Сейчас созданы гораздо более современные, с точки зрения информационных технологий и пользовательского интерфейса, программные продукты имитационного моделирования. Но уникальные концепции моделирования и алгоритмическая мощь, наряду с исключительной простотой освоения и использования, позволяют GPSS успешно конкурировать с современными системами.

В России и СНГ для моделирования используется много и других языков и систем. Данные системы действительно обладают рядом уникальных возможностей и используют новейшие алгоритмические разработки. Но многие из крупных проектов использования имитационного моделирования на практике успешно реализуется именно на языке GPSS. А перечисленные выше недостатки языка GPSS сейчас успешно преодолеваются возможностями гибкого использования в создаваемых имитационных моделях программ, написанных на других языках.

В этом случае, с использованием системы GPSS создается модель, и реализуются заданные пользователем эксперименты, а все остальные действия в процессе имитационных исследований выполняются с помощью других программ, существующих или специально разработанных.

Особую роль в процессе нашего выбора сыграло то обстоятельство, что существует бесплатная студенческая версия системы GPSS World, которую любой студент может использовать в домашних условиях для самостоятельной работы. Так же существует более ранняя версия системы GPSS/PC, которая работает под управлением операционной системы MS-DOS. Обе эти версии не требуют установки на компьютер.

### **1.7 Этапы разработки имитационной модели**

В основу методики машинного моделирования положены общие принципы, которые могут быть сформулированы даже в том случае, когда конкретные способы моделирования отличаются друг от друга и имеются различные модификации моделей. Методику имитационного моделирования удобно представить в виде совокупности этапов моделирования:

1. Создание концептуальной модели.
2. Формализация описания объекта моделирования в терминах Q-схем.
3. Разработка алгоритмического описания на уровне блок-схем.
4. Программная реализация.
5. Проведение машинного эксперимента.
6. Получение и интерпретация результатов моделирования.

Концептуальная модель - это текстовое описание объекта моделирования с числовыми данными, которое получено после постановки цели моделирования.

Формализация описания объекта моделирования производится в виде структурного представления модели в символике Q-схем. Такая схема дает наглядное представление о структуре моделируемой системы, составе входящих в нее элементов и связях между ними.

Следующим этапом является алгоритмизация процесса функционирования объекта моделирования. Составляется логический алгоритм процесса. Построение блок-схемы позволяет облегчить разработку программной модели. Далее осуществляется формальный переход к тексту программы.

Машинная реализация программы производится на ЭВМ посредством применения пакетов прикладных программ GPSS/PC или GPSS World.

## 2 ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ GPSS/PC

### 2.1 Принципы построения пакета GPSS/PC

Язык имитационного моделирования GPSS реализован на ПЭВМ в виде пакета GPSS/PC, работающего под управлением операционной системы MS-DOS.

GPSS/PC в своем составе имеет специализированный язык для написания текстов моделей и симулятор с этого языка. Основными элементами этого языка являются транзакты и блоки, которые отображают соответственно динамические и статические объекты моделируемой системы.

Для облегчения процесса построения модели применяется язык блок-схем. Основу пакета составляют программы, описывающие функционирование блоков моделей и специальная диспетчирующая программа-симулятор. Основные функции программы-симулятора следующие: обеспечение заданных программистом маршрутов продвижения транзактов.; планирование событий, происходящих в модели; сбор статистической информации о функционировании модели; продвижение модельного времени.

Последовательность блоков GPSS-модели показывает направления, в которых перемешаются динамические элементы - транзакты. Обращение к подпрограммам блоков происходит через движение транзактов. Попадая в некоторый блок, транзакт инициирует обращение к подпрограмме, соответствующей данному блоку.

В процессе моделирования происходит взаимодействие одних объектов с другими, в результате чего изменяется состояние модели. Такие изменения называются событиями. Практически все изменения состояний модели происходят в результате входа транзактов в блоки и выполнения блоками своих функций.

Для обеспечения правильной последовательности регистрации взаимодействий одних объектов с другими в GPSS/PC предусмотрены "системные часы", хранящие значение абсолютного времени модели. Все временные интервалы задаются целыми числами и выбранный масштаб времени должен быть единым для всех элементов процесса, поэтому при составлении модели за единицу принимается минимальный удовлетворяющий интервал времени (день, час, минута, секунда или произвольная единица модельного времени).

Транзакты представляют собой описание динамических процессов в реальных объектах. В процессе моделирования транзакты можно "генерировать" и "уничтожать". Любой транзакт может иметь от 0 до 1020 параметров. Другим важным атрибутом транзакта является уровень приоритета, изменяющийся от 0 до 127. В случае соперничества двух транзактов при занятии данного устройства, сначала обрабатывается тот, у

которого приоритет выше. Если приоритет у обоих транзактов одинаковый, сначала обрабатывается тот, у которого время ожидания обработки больше.

Содержательное значение транзактов определяет разработчик модели. Именно он устанавливает аналогию между транзактами и реальными динамическими элементами моделируемой системы, например, при моделировании магазина транзактами представляются покупатели, при моделировании автозаправочной станции естественно транзактами представить автомобили, а при моделировании работы Web-сервера - запросы, поступающие на сервер от удаленных клиентов. Такая аналогия никогда не указывается транслятору GPSS, она остается в воображении разработчика модели.

В начале моделирования в GPSS-модели не существует ни одного транзакта. В процессе моделирования транзакты входят в модель в определенные моменты времени, соответствующие логике функционирования моделируемой системы. Пройдя определенную разработчиком модели последовательность блоков, транзакты покидают модель. В общем случае в модели одновременно существует несколько транзактов, но в каждый момент времени движется только один из них.

Если транзакт начал свое движение, он передвигается от блока к блоку в соответствии с логикой работы модели. В тот момент, когда транзакт входит в блок, вызывается соответствующая этому блоку подпрограмма.

Далее транзакт (в общем случае) пытается войти в следующий блок. Его перемещение продолжается до тех пор, пока не выполнится одно из таких возможных условий:

- транзакт входит в блок, функцией которого является задержка транзакта на определенное время;

- транзакт входит в блок, функцией которого является удаление транзакта из модели;

- в соответствии с логикой модели транзакт пытается войти в следующий блок, но блок не принимает этот транзакт. В этом случае транзакт остается в том блоке, в котором в данное время находится, но позже будет повторять попытки войти в следующий блок. Когда условия в модели изменятся, одна из таких попыток может быть успешной. После этого транзакт продолжит свое перемещение по модели.

Каждый блок имеет два атрибута: счетчик входов в блок, этот счетчик содержит данные о текущем содержании блока (CURRENT COUNT); общий счетчик транзактов, прошедших через блок с начала моделирования или момента обнуления статистики (ENTRY COUNT). Оба счетчика меняют свое содержание автоматически.

В задании может выполняться как один, так и несколько прогонов одной модели. При этом текущее значение конечного времени модели

END TIME будет указывать суммарное время по всем реализованным прогонам, а разница между конечным (END TIME) и начальным (START TIME) временем - системное время в пределах одного прогона.

Устройство (одноканальное устройство, прибор) представляет собой ресурс, который в любой момент времени может быть занят только одним транзактом. Интерпретатор автоматически вычисляет такие его атрибуты, как общее время занятости устройства, число транзактов, которые занимали устройство, коэффициент использования устройства, среднее время занятости устройства одним транзактом. Статистическая информация о работе устройства при моделировании собирается автоматически.

## **2.2 Основные объекты пакета GPSS/PC**

Необходимость более подробного рассмотрения данного пакета объясняется недостаточностью учебного материала по языкам моделирования вообще и GPSS в частности.

В данном разделе будут рассмотрены основные блоки системы GPSS/PC. Работа блоков системы, методы построения моделей и организация экспериментов с ними будет показана на ряде конкретных примеров.

Все блоки GPSS/PC определяются наименованием типа блока и операндами A,B,C,D,E, задающими выполняемые функции. Кроме того каждый блок может иметь символьный адрес, записываемый в поле метки блока. Поле метки расположено через пробел после номера строки программы. Строка программы, где в поле метки стоит символ "\*", машиной не читается, а воспринимается как комментарий. Поле операции (наименование блока) располагается с 13 по 24 позицию строки. Поле операндов с 26 позиции и до первого пробела в тексте. Комментарии, как правило, располагаются после тридцать первой позиции строки, но после операндов обязательно должен быть пробел. Информация, следующая после пробела, может содержать любые символы латинского алфавита.

### ***Блок GENERATE***

Блок GENERATE создает транзакты и вводит их в модель. Данный блок имеет операнды A,B,C,D,E. Операнд A определяет среднее время между последовательными приходами транзактов. Операнд B задает половину поля допуска интервалов времени. Таким образом, блок GENERATE 60,50 задает последовательность ввода транзактов с интервалами  $60 \pm 50$  единиц модельного времени. Действительное время ввода транзакта в модель планируется интерпретатором GPSS путем розыгрыша случайного числа в соответствии с заданным распределением вероятности появления интервалов. Следует отметить, что задание временных интервалов таким образом предполагает равномерное распределение точек внутри поля допуска. Для получения более сложных

закономерностей (распределение Пуассона, экспоненциального распределения) необходимо в качестве операндов использовать специальную функцию. Операнд С устанавливает "начальный интервал" - момент времени прихода первого транзакта. Это число может быть меньше, равно или больше, чем среднее, заданное операндом А. Операнд D ограничивает максимальное число создаваемых транзактов. Если это поле пусто, то блок генерирует неограниченное число транзактов. Операнд Е - уровень приоритета транзактов, создаваемых в данном блоке. Если в этом поле значение приоритета не задано, то все генерируемые транзакты имеют нулевой приоритет.

При кодировании блоков операнды разделяются запятыми. Например: GENERATE 60,50,40,10,3. Данный блок создает транзакты в интервале  $60 \pm 50$  единиц модельного времени. Первый транзакт этой последовательности будет введен в модель в момент соответствующей 40 единицам модельного времени. Всего будет создано 10 транзактов. Все транзакты будут иметь приоритет равный 3.

При необходимости ряд операндов может отсутствовать. Если отсутствует операнд, занимающий последнее место в цепочке, то не записывается и его значение и запятая, предшествующая операнду. Например: GENERATE 60,50,40,10. Если отсутствуют операнды, занимающие место в середине цепочки операндов, то их значение не записывается, пробелы не оставляются, а разделительные запятые сохраняются. Например: GENERATE 60,50,,,3. Данный блок создает транзакты в интервале  $60 \pm 50$  единиц модельного времени. Все транзакты, созданные в блоке будут иметь приоритет равный 3.

Интервал между транзактами, то есть время появления следующего транзакта, вычисляется только после того, как созданный транзакт покинет блок GENERATE. Если после GENERATE стоит блок, который может задержать сгенерированный транзакт, то время генерации следующего транзакта будет вычислено после снятия блокирующего условия. Поэтому средний интервал между транзактами будет больше, чем среднее значение, заданное в поле А, что может привести к ошибке. Избежать ее можно, поместив после GENERATE блок, не задерживающий транзактов.

### ***Блок TERMINATE***

Блок TERMINATE удаляет транзакты из модели. Он используется для изображения окончания пути транзакта в системе. Блоки TERMINATE всегда позволяет выйти из модели всем транзактам, которые пытаются это сделать. В модели может содержаться любое количество блоков TERMINATE. Поле А блока указывает, изменяет ли этот блок содержимое счетчика завершения в момент поступления транзакта и, если изменяет, то на сколько единиц. Операнд А, как правило, равен единице. Блок TERMINATE, не имеющий операнда А, содержимое счетчика завершения



не изменяет. Начальное содержимое этого счетчика определяется специальной картой START.

*Пример 1:*

GENERATE	3600
TERMINATE	1
START	1

*Пример 2:*

GENERATE	360
TERMINATE	1
START	10

Обе последовательности останавливают модель в момент времени 3600 секунд. При этом первая реализует приход транзакта - таймера через 3600 секунд, а вторая отсчитывает 10 таких транзактов с интервалом в 360 секунд.

### ***Блок ADVANCE***

Блок ADVANCE служит для задержки транзактов во времени. Описание времени обслуживания задается операндами A и B. Операнд A определяет среднее время задержки транзакта, а операнд B - половину поля допуска интервалов времени задержки. В блоке производится определение числа единиц времени, на которое транзакт будет задержан. Это время может выражаться любым целым положительным числом, в том числе и нулем. Если время равно 0, то транзакт в блоке ADVANCE не задерживается и переходит в следующий блок.

### ***Блоки SEIZE и RELEASE***

Организация обслуживания на одноканальном приборе моделируется блоками SEIZE - занять, RELEASE - освободить. Пара этих блоков реализует следующие действия: ожидание в очереди на обслуживание, если это необходимо; занятие прибора, когда подходит очередь; сохранение занятости прибора в течение обслуживания; освобождение прибора по окончании обслуживания. Операнд A - это символьное имя прибора. Все имена должны содержать от 3 до 5 символов, причем первые три символа обязательно должны быть буквенные. Например: SEIZE STAN1 - занять устройство с именем STAN1. Данный блок реализует занятие транзактом устройства с именем STAN1.

Если транзакт занимает устройство, описанное в поле A блока SEIZE, то ни какой другой транзакт не сможет войти в это устройство. Если перед SEIZE задерживаются несколько транзактов, они обслуживаются в соответствии с правилом: "первый пришел - первый обслужен".

При выполнении функций блоком RELEASE устройство, указанное в операнде A, освобождается в момент входа транзакта в этот блок. Необходимо учитывать, что транзакт, пытающийся освободить устройство STAN1, должен был первоначально занять его. При несоблюдении этого правила выдается сообщение об ошибке. Использование блоков SEIZE и

RELEASE в модели обеспечивает автоматический сбор статистики о работе моделирующего прибора.

### ***Блоки QUEUE и DEPART***

Блоки QUEUE и DEPART - встать в очередь и покинуть очередь - обеспечивают в модели возможность автоматического сбора данных об очередях. Блок QUEUE указывает, что в данной точке нужно собрать статистику об очереди. Операнд А содержит имя конкретной очереди. Например: QUEUE BANK - встать в очередь под именем BANK. Чаще всего транзакты задерживаются, то есть формируют очередь перед блоком SEIZE, поэтому блок QUEUE должен размещаться перед блоком SEIZE, а блок DEPART после блока SEIZE. Применение блоков QUEUE и DEPART не является обязательным для всех случаев возникновения очередей в модели, оно необходимо лишь для сбора статистики о той или иной очереди.

## **2.3 Управляющие карты**

### ***Карта START***

Эта карта указывается в конце программы и показывает, что все входные данные уже получены и можно начинать счет. Если в модели не задается время моделирования, то поле А карты START определяет число транзактов, которые должны пройти через систему до выдачи окончательной статистики. Счет заканчивается в тот момент, когда содержимое счетчика завершений окажется меньше нуля. За каждый старт содержимое счетчика уменьшается на величину, заданную в поле А блока TERMINATE.

Если требуется закончить моделирование после обработки 200 деталей, которые выводятся из модели с помощью блока TERMINATE с единицей в поле А, то в поле А карты START записывается число 200. Например: START 200.

### ***Карта CLEAR***

В результате действия этой карты стирается вся накопленная в процессе моделирования статистика и из системы удаляются все транзакты. Счетчики числа выходов и счетчики ожидания всех блоков сбрасываются до нуля. Коэффициенты использования всех устройств и счетчики числа входов сбрасываются до "0", все устройства переводятся в состояние "не занято". Стирается вся статистическая информация об очередях. Абсолютное и относительное время устанавливается в "0".

### ***Карта RESET***

Результатом действия этой карты является то, что стирается вся статистическая информация, накопленная в процессе моделирования. Счетчики числа входов в блоки сбрасывается до "0", но содержимое

блоков ожидания не изменяется. Коэффициенты использования очередей сбрасываются до "0", но счетчики числа входов устанавливаются равными текущей длине соответствующих очередей. Счетчики всех нулевых задержек сбрасываются до "0", а максимальное значение длины очереди устанавливается равным текущей длине очереди.

Карта RESET может использоваться для моделирования установившегося режима работы. Например: моделирование работы во вторую смену.

### ***Карта END***

Эта карта указывает на конец программы и предназначена для завершения работы с системой GPSS/PC. После ее обработки система GPSS завершает работу и возвращает управление операционной системе. В каждой программе обязательно должна быть одна карта END.

## **2.4 Содержание стандартного отчета**

Стандартный отчет с результатами о прогоне модели содержит следующую информацию:

1) общие сведения о модели и ее прогоне, включающие модельное время начала (START\_TIME) и конца (END\_TIME) прогона, количество блоков в модели (BLOCKS), количество устройств (FACILITIES), количество многоканальных устройств (STORAGES), объем памяти, оставшейся свободной при прогоне модели (FREE\_MEMORY);

2) сведения об именах объектов модели, включающие для каждого имени идентификатор (NAME), присвоенное ему числовое значение (VALUE) и тип имени: 0, если числовое значение имени присвоено пользователем с помощью оператора EQU; 1, если числовое значение имени присвоено системой; 2, если имя является именем блока;

3) сведения о блоках модели, включающие для каждого блока номер строки исходной программы (LINE), номер или имя блока (LOC), название блока (BLOCK\_TYPE), количество транзактов, прошедших через блок (ENTRY\_COUNT), текущее количество транзактов в блоке в момент завершения моделирования (CURRENT\_COUNT), количество транзактов, заблокированных перед блоком в момент завершения моделирования (RETRY);

4) сведения об устройствах модели (рис. 3), включающие для каждого устройства его имя или номер (FACILITY), количество занятий устройства (ENTRIES), коэффициент использования (UTIL.), среднее время на одно занятие (AVE.\_TIME) и ряд других данных;

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE._TIME	AVAILABLE
Номер или имя устройства	Число входов	Коэффициент использования	Среднее время использования устройства одним транзактом	Доступность устройства

Рисунок 3 - Выходная статистика для устройств

5) сведения об очередях модели (рис. 4), включающие для каждой очереди ее имя или номер (QUEUE), максимальную длину очереди в процессе моделирования (MAX.), текущую длину очереди в момент завершения моделирования (CONT.), общее количество транзактов, вошедших в очередь в процессе моделирования (ENTRIES), и количество "нулевых" входов в очередь (ENTRIES(0)), среднюю длину очереди (AVE.CONT.), среднее время ожидания в очереди с учетом всех транзактов (AVE.TIME) и без учета "нулевых" входов (AVE.(-0));

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRIES	ENTRIES (0)	AVE.CONT	AVE.TIME	AVE.(-0)
Номер или имя очереди	Максим. содерж. очереди	Текущее содерж. очереди	Общее число входов	Число нулевых входов	Среднее содержимое очереди	Среднее время нахождения транзакта в очереди	Среднее время в очереди без учета нулевых входов

Рисунок 4 - Выходная статистика для очередей

6) сведения о списках пользователя модели (рис. 5), включающие для каждого списка его имя или номер (USER\_CHAIN), количество транзактов в списке в момент завершения моделирования (CHAIN\_SIZE), среднее количество транзактов в списке (AVE.CONT), общее количество транзактов, вошедших в список в процессе моделирования (ENTRIES), максимальное количество транзактов, находившихся в списке (MAX), среднее время пребывания транзакта в списке (AVE.TIME).

USER_CHAIN	CHAIN_SIZE	RETRY	AVE.CONT	ENTRIES	MAX	AVE.TIME
Номер или имя накопителя	Текущее содержимое накопителя		Среднее содержимое накопителя	Всего входов в накопитель	Максимальное содержимое накопителя	Среднее время нахождения транзакта в накопителе

Рисунок 5 - Выходная статистика для накопителей

Теперь, познакомившись с некоторыми блоками пакета GPSS и с содержанием стандартного отчета, рассмотрим конкретный пример, поясняющий возможность использование блоков при составлении программы модели и способ анализа выходных данных стандартного отчета.

### **3 ПЕРВЫЙ БЛОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

*Первый блок* содержит лабораторные работы, направленные на изучение темы «Разработка моделей с использованием блоков занятия и освобождения одноканальных устройств и использования регистраторов очередей». В него входят следующие лабораторные работы.

#### **3.1 Работа №1. Модели с одноканальными устройствами**

*Цель лабораторной работы:* практическое изучение на конкретном примере основных приемов разработки и эксплуатации имитационных моделей в среде GPSS World.

##### ***Указания для выполнения работы №1.***

Эта работа выполняется всеми студентами по одному варианту исходных данных, которые приведены в условии задачи. На примере этой задачи студент осваивает методы разработки имитационных моделей, получает практические навыки машинного моделирования и учится анализировать стандартные отчеты.

При имитационном моделировании разработку модели представить в виде следующих этапов:

1. Создание концептуальной модели.
2. Формализация описания объекта моделирования в терминах Q-схем.
  1. Разработка алгоритмического описания.
  2. Разработка блок-схемы модели.
  3. Программная реализация.
  4. Проведение машинного эксперимента.
  5. Получение и интерпретация результатов моделирования.

*Пример разработки имитационной модели представлен в приложении Б. Проведение машинного эксперимента выполнять согласно методике изложенной в п.п. 6.1-6.6 или п.п. 6.7.*

##### ***Форма отчета по работе***

1. Цель моделирования.
2. Что получено в результате моделирования.
3. Какие показатели, из полученных результатов моделирования, не устраивают и что нужно изменить.
4. Мероприятия по устранению недостатков.

Пример составления отчета по работе представлен в приложении В методических указаний.

## ***Вариант задачи к работе №1***

### *Моделирование работы станции мойки легковых автомобилей*

Построить модель работы мойки для легковых автомобилей. На мойке имеется одна моечная установка, которая обслуживается оператором. Время поступления автомобиля на мойку: через  $10 \pm 5$  минут. На мойку каждого автомобиля затрачивается  $12 \pm 6$  минут.

Необходимо исследовать работу моечной станции в течение 8 часов. Оценить коэффициент загрузки оператора. Выяснить, сколько всего автомобилей поступило на мойку за 8 часовой рабочий день, и сколько из них было вымыто. Исследовать возможность возникновения очереди к оператору, определить емкость площадки для стоянки автомобилей в ожидании мойки.

### **3.2 Работа №2. Исследование работы производственного участка**

*Цель лабораторной работы:* разработка моделей с одноканальными устройствами, функционирующими в режиме занятия и освобождения устройства, практическое изучение методики построения моделей систем массового обслуживания, с использованием блоков одноканальных устройств и регистраторов очередей.

#### ***Указания для выполнения работы №2.***

Эта работа выполняется по индивидуальным заданиям (вариантам).

***Номер варианта задачи для работы №2 задает преподаватель.***

При имитационном моделировании разработку модели представить в виде следующих этапов:

1. Создание концептуальной модели.
2. Формализация описания объекта моделирования в терминах Q-схем.
6. Разработка алгоритмического описания.
7. Разработка блок-схемы модели.
8. Программная реализация.
9. Проведение машинного эксперимента.
10. Получение и интерпретация результатов моделирования.

#### ***Форма отчета по работе***

1. Цель моделирования.
2. Что получено в результате моделирования.
3. Какие показатели, из полученных результатов моделирования, не устраивают и что нужно изменить.
4. Мероприятия по устранению недостатков.

*Пример составления отчета по работе представлен в приложении В.*

## ***Варианты заданий к работе №2***

### **Вариант №1.**

На участке термической обработки выполняется цементация и закаливание шестерен, поступающих через  $10 \pm 5$  минут, Цементация занимает  $10 \pm 7$  минут, а закаливание  $10 \pm 6$  минут. Программа выпуска шестерен 500 штук.

Необходимо определить время на выполнение заданной программы, оценить коэффициенты загрузки оборудования, исследовать возникает ли очередь на входе участка.

### **Вариант №2.**

На регулировочный участок цеха через  $30 \pm 10$  минут поступают агрегаты. Первичная регулировка производится на первом рабочем месте и занимает  $30 \pm 6$  минут. Если в момент прихода очередного агрегата предыдущий не был обработан, поступивший агрегат на регулировку не принимается, а поступает в первичный накопитель.

Агрегаты после первичной регулировки через промежуточный накопитель поступают на вторичную регулировку, которая выполняется за  $30 \pm 15$  минут.

Промоделировать работу участка до изготовления 50 агрегатов. Ответ проанализировать.

### **Вариант №3.**

Построить модель работы преподавателя во время проведения консультации. Студенты приходят на консультацию через  $10 \pm 5$  минут. Преподаватель может проконсультировать 15 студентов. На каждого студента затрачивается  $15 \pm 10$  минут.

Оценить коэффициент загрузки преподавателя, выяснить, сколько всего студентов пришло на консультацию, определить время работы преподавателя. Исследовать возможность сокращения времени консультирования каждого студента до  $12 \pm 5$  минут.

### **Вариант №4.**

Построить модель участка погрузки и внесения удобрений на поля хозяйства. Погрузка органических удобрений осуществляется погрузчиком ПЭ-1,0, время загрузки разбрасывателя  $T_{\text{пог}} = 18 \pm 7$  минут. Время переезда от места погрузки до поля и обратно и время разбрасывания в сумме составляют  $T_{\text{общ}} = 25 \pm 7$  минут.

Промоделировать работу звена по внесению органических удобрений в течение 8 часов модельного времени, оценить коэффициент загрузки погрузчика, определить число пришедших и загруженных транспортных средств, исследовать возникает ли очередь у погрузчика.

### **Вариант №5.**

Построить модель производственного участка шлифовки коленчатых валов. Коленчатые валы с предыдущей операции поступают с интервалом  $60 \pm 50$  минут. Установка коленчатого вала на шлифовальный станок осуществляется с помощью электротельфера, время установки  $10 \pm 5$  минут. Время шлифовки на станке  $60 \pm 10$  минут. Удаление готового коленчатого вала, производится вручную без применения электротельфера.

Промоделировать работу участка в течение 8 часов модельного времени, оценить коэффициент загрузки оборудования (электротельфер, шлифовальный станок), определить число обработанных за это время деталей, исследовать возникает ли очередь на входе участка.

### **Вариант №6.**

Промоделировать работу линии сборки двигателей Д-240 в течение рабочей недели (5 дней) при работе в одну смену. Комплекты деталей для двигателей поступают на сборку с интервалом  $50 \pm 30$  минут. Сборка выполняется бригадой рабочих и занимает  $60 \pm 20$  минут.

Исследовать возможность возникновения очереди на входе сборочной линии. Проанализировать полученные результаты.

### **Вариант №7.**

На обрабатывающий участок цеха поступают детали через  $50 \pm 10$  минут. Первичная обработка деталей производится на первом станке. Этот станок обрабатывает деталь за  $40 \pm 10$  минут. Время обработки детали на втором станке  $10 \pm 5$  минут. Промоделировать работу участка в течение недели (5 дней) при двухсменной работе по 8 часов в смену. Исследовать возможность возникновения очереди на входе участка и перед вторым станком. Оценить коэффициенты загрузки оборудования, определить число обработанных за это время деталей. Проанализировать полученные результаты.

### **Вариант №8.**

Построить модель работы участка зерносушильного пункта. Грузовые автомобили с объемом кузова  $5 \text{ м}^3$  привозят зерно от комбайнов на зерносушильный пункт с интервалом  $30 \pm 10$  минут. Зерно выгружается в приемный бункер сушильного комплекса (объем бункера  $25 \text{ м}^3$ ). Далее зерно поступает на сушку. Время сушки порции зерна объемом  $5 \text{ м}^3$  составляет  $35 \pm 15$  минут.

Промоделировать работу сушильного пункта в течение смены  $T_{\text{см}} = 7$  ч. Оценить степень загрузки сушиллки, определить количество зерна, поступающее в течение дня, исследовать достаточность емкости приемного бункера для обеспечения сбора и хранения поступающего зерна.



### **Вариант №9.**

Построить модель производственного модуля работающего следующим образом. Заготовки с предыдущей операции поступают с интервалом  $60\pm 50$  секунд. Загрузка заготовки осуществляется специальным роботом кассетного типа, время загрузки составляет  $10\pm 5$  секунд. Время обработки на станке  $60\pm 10$  секунд. Удаление готовой детали происходит автоматически по окончании обработки, без участия робота.

Промоделировать работу производственного участка в течение 8 часов модельного времени. Оценить коэффициент загрузки оборудования, определить число обработанных за это время деталей, исследовать возникает ли очередь на входе модуля, и определить минимальную емкость кассеты для устанавливаемых заготовок.

### **Вариант №10.**

Промоделировать работу участка по вывозке органических удобрений на поле за 7 часов. Удобрения с площадки компостирования загружаются в тракторные прицепы, которые поступают под погрузку с интервалом  $40\pm 10$  минут. Погрузка одного прицепа занимает  $20\pm 10$  минут.

Определить число загруженных прицепов, исследовать возникает ли очередь у погрузчика, сделать выводы.

### **Вариант №11.**

Промоделировать работу преподавателя во время проведения консультации. Студенты приходят на консультацию через  $10\pm 5$  минут. Первый студент приходит через 1 минуту после начала консультации. Всего должно прийти 15 студентов. На каждого студента затрачивается  $15\pm 10$  минут. Время консультации 3 часа.

Определить коэффициент загрузки преподавателя, выяснить, сколько студентов пришло на консультацию, и сколько было проконсультировано. Исследовать возникла ли очередь.

### **Вариант №12.**

Промоделировать работу мойки автомобилей. Время поступления автомобиля на мойку: через  $16\pm 5$  минут. На мойку каждого автомобиля затрачивается  $12\pm 10$  минут. После мойки проводится контроль давления воздуха в шинах автомобиля. Время контроля:  $3\pm 2$  минуты. Работа выполняется одним работником.

Оценить коэффициент загрузки рабочего. Выяснить сколько всего автомобилей поступило на мойку за 8 часовой рабочий день. Определить какова должна быть емкость площадки для стоянки автомобилей в ожидании мойки.

### **Вариант №13.**

На станции технического обслуживания автомобилей производится контроль содержания СО в выхлопных газах автомобиля. Автомобили

поступают на контроль с интервалом  $60 \pm 20$  минут. Время контроля составляет  $35 \pm 15$  минут. Дальнейшая регулировка карбюратора занимает от 10 до 40 минут.

Необходимо определить число обслуженных автомобилей за 8 часов работы СТО. Определить занятость рабочих, которые производят контроль содержания СО и рабочих ремонтников. Исследовать возникает ли очередь на входе участка.

#### **Вариант №14.**

Промоделировать работу станции технического обслуживания автомобилей. Известно, что автомобили будут поступать с интервалом  $60 \pm 50$  минут. Время мойки автомобиля составляет  $10 \pm 5$  минут. Дальнейшее техническое обслуживание занимает  $60 \pm 10$  минут на одну автомашину. Предполагалось, что СТО будет обслуживать до 8 автомобилей в смену, время смены 8 часов. Оценить коэффициент загрузки рабочих на мойке и на обслуживании автомобилей, определить реальное число обслуженных автомобилей. Исследовать возникает ли очередь на мойку и на обслуживание автомобилей.

#### **Вариант №15.**

На регулировочный участок цеха через  $40 \pm 20$  минут поступают агрегаты. Первичная регулировка производится на первом рабочем месте и занимает  $40 \pm 10$  минут. Если в момент прихода очередного агрегата предыдущий не был обработан, поступивший агрегат на регулировку не принимается, а поступает в первичный накопитель.

Агрегаты после первичной регулировки через промежуточный накопитель поступают на вторичную регулировку, которая выполняется за  $35 \pm 15$  минут.

Промоделировать работу участка до изготовления 50 агрегатов. Исследовать возможность возникновения очереди на входе участка и в промежуточном накопителе. Оценить коэффициенты загрузки регулировщиков, определить число отрегулированных за это время агрегатов. Проанализировать полученные результаты.

#### **Вариант №16.**

Промоделировать работу участка по вывозке органических удобрений на поле за 7 часов. Удобрения с площадки компостирования загружаются в тракторные прицепы, которые поступают под погрузку с интервалом от 35 до 55 минут. Погрузка одного прицепа занимает от 15 до 35 минут.

Определить число загруженных прицепов, исследовать возникает ли очередь у погрузчика, сделать выводы.

#### **Вариант №17.**

Промоделировать работу станции мойки автомобилей. Интервал поступления автомобилей на мойку составляет от 10 до 20 минут. На

мойку каждого автомобиля затрачивается от 6 до 18 минут. После мойки проводится контроль давления воздуха в шинах автомобиля. Время, затрачиваемое на контроль, от 2 до 4 минут на каждый автомобиль. Работа выполняется одним работником.

Оценить коэффициент загрузки рабочего. Выяснить сколько всего автомобилей поступило на мойку за 8 часовой рабочий день. Определить какова должна быть емкость площадки для стоянки автомобилей в ожидании мойки.

### **3.3 Работа №3. Выбор оптимального варианта аппарата обслуживания**

*Цель лабораторной работы:* разработка моделей с одноканальными устройствами, функционирующими в режиме занятия и освобождения устройства, практическое изучение построения моделей с использованием блоков одноканальных устройств и регистраторов очередей. В задаче моделирования, предусматривается необходимость оптимизации некоторых параметров моделируемой системы на основе результатов имитационных экспериментов, в частности выбор оптимального варианта кладовщика.

#### ***Моделирование работы склада запасных частей***

В цехе завода рабочие-наладчики производят ремонт и наладку станков-автоматов. Рабочие приходят на склад за запчастями через **A±B** секунд. Кладовщику требуется **C±D** секунд на поиск необходимой детали для одного рабочего.

Стоимость потерь из-за поломки станка и простоя рабочего составляет **200 руб/час**. Время работы склада в течение дня 8 часов.

Предположим, что кладовщик, работающий на складе, получает **80 руб/час**. Он может быть заменён другим более опытным кладовщиком, выполняющим заявки рабочих за **E±F** секунд, но более опытный кладовщик просит зарплату **160 руб/час**.

Выполнить моделирование для двух случаев, оценить коэффициенты загрузки кладовщиков, определить число обслуженных рабочих тем и другим кладовщиком, исследовать возникает ли очередь, рассчитать ущерб из-за простоев рабочих. Ответить на вопрос: «Что лучше и выгоднее для завода - оставить старого или нанять нового кладовщика».

#### ***Указания для выполнения работы №3.***

Эта работа выполняется по индивидуальным заданиям (вариантам).

1. На первом этапе моделирования не учитывайте данные в деньгах, а промоделируйте как обычную производственную задачу для двух вариантов кладовщиков (получите стандартные отчеты о работе старого и нового кладовщиков).

2. Проведите обычный анализ двух полученных стандартных отчетов.
3. Далее используя данные стандартных отчетов, и оставшиеся в условии задачи данные в деньгах, рассчитать с помощью калькулятора (или электронных таблиц) общие простои рабочих при посещении склада, а затем рассчитать потери завода от этих простоев, при каждом варианте кладовщика.
4. Рассчитать общие потери завода при работе каждого кладовщика, учитывая, что зарплату кладовщику также будет платить завод.
5. Определить: работа какого кладовщика для завода будет наиболее выгодна.

Варианты заданий приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Варианты заданий к работе №3

Вариант	А	В	С	Д	Е	Ф
1	280	250	280	150	240	90
2	300	250	300	180	260	90
3	350	300	350	200	300	100
4	250	230	250	120	200	80
5	270	230	270	140	220	90
6	310	300	310	160	260	80
7	290	240	290	150	240	100
8	210	180	210	110	160	70
9	250	190	250	150	180	80
10	260	240	260	160	190	100
11	300	200	300	170	250	100
12	270	240	270	150	230	90
13	280	260	280	160	230	100
14	300	240	300	170	220	70
15	360	320	360	210	300	100
16	240	200	240	100	190	80
17	320	290	320	150	250	90

*Пример разработки имитационной модели представлен в приложении Б. Проведение машинного эксперимента, выполнять согласно методике изложенной в п.п. 6.1-6.6 или п.п. 6.7.*

#### **Форма отчета по работе**

1. Цель моделирования.
2. Что получено в результате моделирования.
3. Какие показатели, из полученных результатов моделирования, не устраивают и что нужно изменить.
4. Мероприятия по устранению недостатков.

*Пример составления отчета по работе представлен в приложении В.*

## 4 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

### 4.1 Базовая имитационная модель производственного модуля

В работе 1 была рассмотрена простейшая модель производственного модуля. Ее основные недостатки - малая адекватность и невозможность использования для исследования реальных производственных объектов. Для моделирования работы более сложных производственных объектов необходимо наличие дополнительных блоков.

#### ***Блок SPLIT***

Первым рассмотренным способом ввода транзактов в модель является использование блоков GENERATE. Существует также второй способ ввода транзактов. Это возможно осуществить с помощью блока SPLIT (расщепить). В отличие от GENERATE блок SPLIT не создает самостоятельных транзактов, а лишь генерирует заданное число копий, входящего в него транзакта. Полученные копии идентичны исходному транзакту.

Как только транзакт, уже находящийся в модели, входит в блок SPLIT, происходит ввод в модель нескольких дополнительных транзактов. Число дополнительных транзактов задает операнд A. Основной транзакт из блока SPLIT переходит в очередной последовательный блок, а вновь созданные дополнительные транзакты переходят к блоку, символьная метка которого записана в операнде B.

Например:

```
GENERATE 20,5
SPLIT 9,MET1
MET1 QUEUE BANK
```

Транзакт, созданный в блоке GENERATE, поступает в блок SPLIT и переходит далее в последующий блок QUEUE. Одновременно в блоке SPLIT дополнительно создаются 9 копий транзакта, которые переходят в блок с символьной меткой MET1, в данном примере также в блок QUEUE и тогда в блоке QUEUE оказывается 10 транзактов.

#### ***Блоки LINK, UNLINK***

При использовании в модели блока SPLIT возникает необходимость моделирования накопителя. Использование очередей для этих целей неудобно, так как это может замедлять процесс моделирования (транзакты все время ожидания находятся в активном состоянии). Наиболее удобно воспользоваться накопителем. При помещении в накопитель, транзакты удаляются из списка активных событий и сохраняются в пассивном режиме до момента обращения к ним. Накопитель однозначно определяется парой блоков LINK (поместить в накопитель) и UNLINK (удалить из накопителя).

Операнд А блока LINK содержит имя накопителя, операнд В - порядок формирования очереди, в операнде С задается метка перехода. Например:

```
LINK      BUNK,FIFO,MET1
```

Все транзакты, попадающие в блок LINK, помещаются в накопитель с именем BUNK. Порядок формирования очереди: FIFO - первый пришел, первый обслужен или LIFO - последний пришел, первый обслужен.

Операнд С - MET1 задает следующий режим работы: при входе в "пустой" накопитель транзакт, минуя его, направляется к блоку с указанной в операнде С меткой.

Вывод транзактов из накопителя осуществляется блоком UNLINK. Операнды блока задают: А-имя накопителя, В-метку блока, в который следует поместить удаляемые транзакты, С-количество одновременно удаляемых из накопителя транзактов. (Если ALL, то выходят все транзакты одновременно).

```
Например: UNLINK      BUNK,MET1,1
```

При входе транзакта в этот блок, подается команда накопителю с именем BUNK, где указывается, что необходимо из накопителя вывести один транзакт и отправить его в блок с символьной меткой MET1.

### ***Блоки ASSEMBLE, GATHER***

Блок ASSEMBLE позволяет собрать транзакты в партии. Операнд А указывает число собираемых в партию транзактов. На выходе блока ASSEMBLE формируется один транзакт - партия.

```
Например: ASSEMBLE    5
```

В блоке собираются пять транзактов, четыре из них уничтожаются, а один переходит в следующий блок.

Действие блока GATHER аналогично действию блока ASSEMBLE. Отличие состоит в том, что после накопления в блоке числа транзактов, указанного в поле А, они все передаются в следующий блок. Блок GATHER позволяет синхронизировать движение транзактов одного ансамбля при их движении по одному пути.

```
Например: GATHER      3
```

После прихода трех транзактов в блок GATHER они все вместе поступают в следующий блок.

## **4.2 Моделирование установившегося режима работы**

Первым прогоном модели обычно моделируется не установившийся режим работы. Сразу после начала моделирования транзактов в модели еще нет, и поэтому часть времени аппараты обслуживания простаивают. При моделировании производственных объектов наибольший интерес представляет установившийся режим работы такого объекта, то есть когда работа всех его составляющих начинается сразу после начала моделирования.

Для получения статистики о работе в установившемся режиме, необходимо исключить влияние переходного процесса. Для этой цели используется карта RESET. Она сбрасывает всю накопленную статистику, оставляя модель в том состоянии, в котором она была остановлена, то есть транзакты, находящиеся в модели, остаются в тех блоках, где они были в момент остановки. Таким образом, следующий прогон модели одновременно осуществляет запуск транзактов, уже находящихся в модели, и ввод новых. При моделировании установившегося режима работы, программа модели остается прежней изменяется лишь сегмент управляющие карты.

**\*CONTROL CARDS**

START	1	первый прогон модели
RESET		сброс статистики переходного процесса
START	1	второй прогон модели
END		

### **4.3 Моделирование отказов оборудования.**

Работа зерносушильного пункта в детерминированном режиме достаточно просто может быть промоделирована аналитическими методами. Наибольшую трудность представляет учет различного рода вероятностных событий. Так, например, часто возникает необходимость моделировать оборудование, которое в течение определенного периода не может работать вследствие различных причин (поломки, отсутствие деталей и т.п.). Подобная ситуация может быть смоделирована, если управляющий транзакт пропустить через блок FUNAVAIL. При помощи этого блока устройство переводится в недоступное состояние. Операнд А блока FUNAVAIL задает имя устройства. Например, если работа сушилки моделируется блоками SEIZE и RELEASE с именем SUSH, то и перевод ее в недоступное для зерна состояние производится блоком FUNAVAIL с операндом SUSH.

Блок FAVAIL с операндом SUSH производит обратное действие и переводит указанное устройство в доступное состояние. Если устройство уже находится в доступном состоянии, то данный блок игнорируется.

Для наступления отказа оборудования необходимо, чтобы оборудование работало. Соответствующая проверка производится блоком GATE U. Блоки типа GATE служат для проверки различных условий в модели. Например, GATE U - проверка условия "устройство занято?". В операнде А данного блока указывается имя устройства, проверка которого производится. Проверка производится при попытке транзакта войти в блок GATE U. При занятости проверяемого устройства транзакт задерживается в блоке GATE.

## 5 ВТОРОЙ БЛОК ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

*Второй блок* содержит лабораторные работы, направленные на изучение темы «Моделирование систем массового обслуживания в среде GPSS World. Базовая имитационная модель и расширение экспериментов с моделями». В него входят следующие лабораторные работы.

### 5.1 Работа №4. Базовая имитационная модель производственного модуля

*Цель лабораторной работы:* изучение на конкретном примере, приемов моделирования систем массового обслуживания замкнутого типа и исследование имитационных моделей практически значимых систем этого типа.

#### *Модель работы зерносушильного пункта*

Построить модель работы зерносушильного пункта (ЗСП). Автомобили привозят зерно от комбайнов на зерносушильный пункт с интервалом  $30 \pm 10$  минут, грузоподъемность автомобиля 3,5 тонны.

Зерно выгружается в приемный бункер сушильного комплекса (объем бункера  $25 \text{ м}^3$ , плотность зерна  $0,7 \text{ т/м}^3$ ). Загрузочная нория производительностью  $5 \pm 2$  т/час подает зерно на сушку. Производительность сушилки  $8 \pm 3$  т/ч. Из сушилки зерно выгружается выгрузной норией производительностью  $10 \pm 2$  т/час. Сушильный пункт в течение дня работает в две смены,  $T_{\text{см}}=7$  часов.

Промоделировать работу сушильного пункта отдельно в первую и во вторую смену. Оценить степень загрузки нории и сушилки. Определить количество зерна, поступающее в течение дня. Исследовать достаточность емкости приемного бункера для обеспечения сбора и хранения поступающего зерна в течение дня.

#### *Пояснения к работе №4*

Технологическая схема зерносушильного пункта следующая: автомобили привозят зерно от комбайнов и высыпают его в приемный бункер, из приемного бункера зерно поступает в загрузочную норию (NOR1) и подается в сушилку (SUSH), после сушки зерно выгружается выгрузной норией (NOR2) и отправляется на склад.

При работе сушильный пункт должен обеспечивать:

- 1) бесперебойный прием зерна, поступающего с поля, то есть машины привозящие зерно, не должны простаивать в ожидании разгрузки;
- 2) максимально возможную производительность ЗСП по готовому сухому зерну;
- 3) производительность оборудования должна быть оптимальной, чтобы его стоимость не была очень высокой.



Производительность всего перечисленного оборудования выбрана совершенно произвольно и неизвестно, сможет ли это оборудование обеспечить качественное и своевременное выполнение технологического процесса сушки зерна. Основная цель данной задачи заключается в том, чтобы определить пригодность произвольно выбранного оборудования сушильного пункта.

В качестве транзакта выбираем один центнер зерна и определяем время задержки транзакта на обслуживание различными аппаратами.

1. Загрузочная нория

$$5 \pm 2 \text{ т/ч} = 3-7 \text{ т/ч} = 30-70 \text{ ц/ч} \text{ или } 85+35 \text{ с/ц}$$

2. Выгрузная нория

$$10 \pm 2 \text{ т/ч} = 8-12 \text{ т/ч} = 80-120 \text{ ц/ч} \text{ или } 38+8 \text{ с/ц}$$

3. Сушилка

$$8 \pm 3 \text{ т/ч} = 5-11 \text{ т/ч} = 50-110 \text{ ц/ч} \text{ или } 52+20 \text{ с/ц}$$

4. Интервал прибытия машины  $30 \pm 10 \text{ мин} = 1800 \pm 600 \text{ с}$

5. Грузоподъемность автомобиля  $3,5 \text{ т} = 35 \text{ ц}$

6. Вместимость бункера

$$Q = 25 \cdot 0,7 = 17,5 \text{ т} = 175 \text{ ц}$$

Схема процесса в символике Q-схем представлена на рисунке 6.

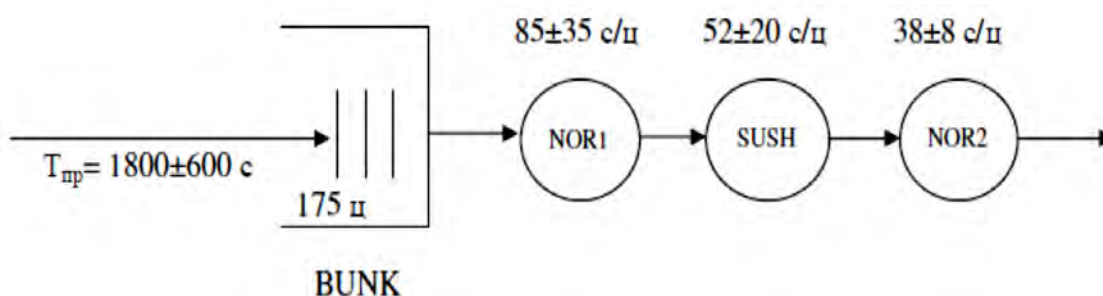


Рисунок 6 - Схема процесса в символике Q-схем

Если составить блок-схему модели, то приход машины с зерном моделируется блоком GENERATE. Затем происходит разделение привезенного в автомобиле зерна на центнеры. В блоке SPLIT создается дополнительно 34 транзакта - копии, которые вместе с исходным транзактом, вводятся блоком LINK в накопитель с именем BUNK. Первый транзакт из партии переходит в блок с меткой MET2.

Последовательность загрузки, сушки и выгрузки зерна реализована с помощью соответствующих блоков SEIZE, ADVANCE, RELEASE. К моменту освобождения загрузочной нории необходимо подготовить для загрузки очередную партию зерна. Вывод центнера зерна (транзакта) из накопителя осуществляется блоком UNLINK, который играет роль задвижки на выходе накопителя.

Полная распечатка программы модели приведена на рис. 7. Рассмотрим использующиеся управляющие карты. Карта START 1 осуществляет первый прогон модели и вывод выходной статистики о работе ЗСП в первую смену при установке загрузочной норы производительностью  $5 \pm 2$  т/ч (рис. 8).

```
10 * ZSP
20 *issl.rab.oborud
30 *rabota 2
40 *popov
50 * 1 segment - zerno
60          GENERATE      1800,600
70          SPLIT        34,MET1
80 MET1     LINK          BUNK,FIFO,MET2
90 MET2     SEIZE         NOR1
100         ADVANCE       85,35
110         UNLINK        BUNK,MET2,1
120         SEIZE         SUSH
130         RELEASE       NOR1
140         ADVANCE       52,20
150         SEIZE         NOR2
160         RELEASE       SUSH
170         ADVANCE       38,8
180         RELEASE       NOR2
190         ASSEMBLE      35
200         TERMINATE
210 * 2 segment - time
220         GENERATE      25200
230         TERMINATE     1
240 * control cards
START      1
RESET
START      1
END
```

Рисунок 7 - Текст моделирующей программы

Для получения статистики о работе в установившемся режиме (2 смена) используем карту RESET. Она сбрасывает всю накопленную статистику первого прогона, оставляя модель в том состоянии, в котором она была остановлена. Второй прогон модели осуществляется с начальных условий соответствующих установившемуся режиму работы. Результаты моделирования по второму прогону приведены на рисунке 9.

START_TIME	END_TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	FREE_MEMORY
0	25200	17	3	0	346368

LINE	LOC	BLOCK_TYPE	ENTRY_COUNT	CURRENT_COUNT	RETRY
60	1	GENERATE	12	0	0
70	2	SPLIT	12	0	0
80	MET1	LINK	420	149	0
90	MET2	SEIZE	271	0	0
100	5	ADVANCE	271	1	0
110	6	UNLINK	270	0	0
120	7	SEIZE	270	0	0
130	8	RELEASE	270	0	0
140	9	ADVANCE	270	1	0
150	10	SEIZE	269	0	0
160	11	RELEASE	269	0	0
170	12	ADVANCE	269	0	0
180	13	RELEASE	269	0	0
190	14	ASSEMBLE	269	1	0
200	15	TERMINATE	7	0	0
220	16	GENERATE	1	0	0
230	17	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE._TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
NOR1	271	0.927	86.21	1	273	0	0	0	0
SUSH	270	0.552	51.53	1	272	0	0	0	0
NOR2	269	0.403	37.84	1	0	0	0	0	0

USER_CHAIN	CHAIN_SIZE	RETRY	AVE._CONT	ENTRIES	MAX	AVE._TIME
BUNK	149	0	81.99	419	165	4931.01

XACT_GROUP	GROUP_SIZE	RETRY
POSITION	0	0

**Рисунок 8 - Результаты моделирования неустановившегося режима работы оборудования ЗСП**

В варианте с загрузочной норией производительностью  $5 \pm 2$  т/ч (рис. 8) максимальное содержимое накопителя в течение первой смены было 165 ц, а бункер вмещает 175 ц. Оборудование сушильного пункта справляется с потоком поступающего на сушку зерна, и автомобилям не придется ждать, пока освободится место в бункере, но из 420 ц зерна, поступившего с поля в накопитель, было высушено только 269 ц. Процент загрузки первой нории составил 92,7%, а процент загрузки сушилки всего 55,2%. Если сушильный пункт будет работать во вторую смену (рис.9), то максимальный уровень зерна в бункере достигнет 393 ц, а вместимость его только 175 ц и автомобилям придется ждать, пока освободится место для выгрузки (процент загрузки сушилки 60,3%).

START_TIME	END_TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	FREE_MEMORY
25210	50400	17	3	0	328352

LINE	LOC	BLOCK_TYPE	ENTRY_COUNT	CURRENT_COUNT	RETRY
60	1	GENERATE	15	0	0
70	2	SPLIT	15	0	0
80	MET1	LINK	674	377	0

90	MET2	SEIZE	297	0	0
100	5	ADVANCE	298	1	0
110	6	UNLINK	297	0	0
120	7	SEIZE	297	0	0
130	8	RELEASE	297	0	0
140	9	ADVANCE	298	0	0
150	10	SEIZE	298	0	0
160	11	RELEASE	298	0	0
170	12	ADVANCE	298	1	0
180	13	RELEASE	297	0	0
190	14	ASSEMBLE	298	1	0
200	15	TERMINATE	9	0	0
220	16	GENERATE	1	0	0
230	17	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
NOR1	298	1.000	84.53	1	571	0	0	0	0
SUSH	298	0.603	50.99	1	0	0	0	0	0
NOR2	298	0.451	38.13	1	570	0	0	0	0

USER_CHAIN	CHAIN_SIZE	RETRY	AVE.CONT	ENTRIES	MAX	AVE.TIME
BUNK	377	0	279.32	674	393	10439.14

XACT_GROUP	GROUP_SIZE	RETRY
POSITION	0	0

### Рисунок 9 - Результаты моделирования установившегося режима работы оборудования ЗСП

Процесс сушки сдерживает загрузочная нория, которая не справляется с подачей зерна в сушилку. Видимо необходимо установить норию большей производительности.

Данная модель может служить в качестве базовой при исследовании различных режимов работы модуля, так как позволяет использовать различные дополнительные подпрограммы. Так, например, в программе модели сушильного пункта была заложена отвозка сухого зерна на склад автомобилями по 35 ц в каждом. Для этой цели использовали блок ASSEMBLE.

## 5.2 Работа №5. Подбор оборудования сушильного пункта

*Цель лабораторной работы:* формирование навыков подбора и определения оптимальных вариантов одноканальных аппаратов обслуживания.

### *Задание к работе №5.*

Каждому студенту необходимо промоделировать работу ЗСП с другим вариантом одной из норий при работе во вторую смену (**вариант нории, и ее производительность задает преподаватель**) и выполнить анализ полученного стандартного отчета. По итогам выполнения данного задания всей группой студентов, выбрать оптимальные варианты каждой норий.

### *Пояснения к работе №5*

Для исследования возможности замены загрузочной нории блок ADVANCE с 100 номером строки повторно записывается с новыми значениями операндов А и В. Повторный запуск модели осуществляется картой START. Результаты моделирования представлены на рисунке 10.

START_TIME	END_TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	FREE_MEMORY
0	25200	17	3	0	353280

LINE	LOC	BLOCK_TYPE	ENTRY_COUNT	CURRENT_COUNT	RETRY
60	1	GENERATE	13	0	0
70	2	SPLIT	13	0	0
80	MET1	LINK	455	22	0
90	MET2	SEIZE	433	0	0
100	5	ADVANCE	433	1	0
110	6	UNLINK	432	0	0
120	7	SEIZE	432	0	0
130	8	RELEASE	432	0	0
140	9	ADVANCE	432	1	0
150	10	SEIZE	431	0	0
160	11	RELEASE	431	0	0
170	12	ADVANCE	431	1	0
180	13	RELEASE	430	0	0
190	14	ASSEMBLE	430	1	0
200	15	TERMINATE	12	0	0
220	16	GENERATE	1	0	0
230	17	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
NOR1	433	0.913	53.15	1	435	0	0	0	0
SUSH	432	0.903	52.70	1	434	0	0	0	0
NOR2	431	0.649	37.95	1	433	0	0	0	0

USER_CHAIN	CHAIN_SIZE	RETRY	AVE. CONT	ENTRIES	MAX	AVE. TIME
BUNK	22	0	25.84	452	59	1440.42

XACT_GROUP	GROUP_SIZE	RETRY
POSITION	0	0

**Рисунок 10 - Результаты моделирования неустановившегося режима работы оборудования ЗСП после замены загрузочной нории**

После замены нории (рис. 10) из 455 ц поступившего зерна в первую смену было высушено 430 ц, при этом процент загрузки первой нории составил 91,3%, а процент загрузки сушилки - 90,3%. Максимальное содержимое накопителя не превысило 59 ц.

Увеличение производительности загрузочной нории позволило увеличить выход сухого зерна, снизило время нахождения зерна в накопителе, позволило уменьшить среднее и максимальное содержимое накопителя. При этом, первая нория и сушилка загружены почти одинаково, что говорит о правильно подобранном оборудовании.

Однако их загрузка не достигает 100%, из-за простоя при ожидании зерна в начале смены.

При работе во вторую смену (рис. 11) было высушено 471 ц зерна, а максимальное содержимое накопителя за две смены не превысило 82 ц. Результаты прогона в установившемся режиме показывают более высокие значения коэффициентов использования оборудования и при этом первая нория и сушилка загружены почти на 100%, что говорит о правильно подобранном оборудовании. Вместимость бункера достаточна.

START_TIME	END_TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	FREE_MEMORY
25203	50400	17	3	0	351008

LINE	LOC	BLOCK_TYPE	ENTRY_COUNT	CURRENT_COUNT	RETRY
60	1	GENERATE	15	0	0
70	2	SPLIT	15	0	0
80	MET1	LINK	547	78	0
90	MET2	SEIZE	469	0	0
100	5	ADVANCE	470	1	0
110	6	UNLINK	469	0	0
120	7	SEIZE	469	0	0
130	8	RELEASE	469	0	0
140	9	ADVANCE	470	1	0
150	10	SEIZE	469	0	0
160	11	RELEASE	469	0	0
170	12	ADVANCE	470	0	0
180	13	RELEASE	470	0	0
190	14	ASSEMBLE	471	1	0
200	15	TERMINATE	13	0	0
220	16	GENERATE	1	0	0
230	17	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
NOR1	470	1.000	53.61	1	905	0	0	0	0
SUSH	470	0.990	53.08	1	904	0	0	0	0
NOR2	470	0.701	37.62	1	0	0	0	0	0

USER_CHAIN	CHAIN_SIZE	RETRY	AVE. CONT	ENTRIES	MAX	AVE. TIME
BUNK	78	0	44.36	547	82	2043.51

XACT_GROUP	GROUP_SIZE	RETRY
POSITION	0	0

Рисунок 11 - Результаты моделирования установившегося режима работы оборудования ЗСП

### 5.3 Работа №6. Учет отказов оборудования

*Цель лабораторной работы:* формирование навыков разработки и использования имитационных моделей сложных систем массового обслуживания со сложной структурой каналов обслуживания и с устройствами, функционирующими в режимах прерывания и недоступности.

**В условии предыдущей задачи внести следующие изменения:**

1. Поставить выбранные оптимальные варианты норий.

2. Исключить второй прогон, исключить блок ASSEMBLE.
3. Исключить время смены, но учесть, что необходимо высушить определённую партию зерна, заданную в индивидуальном задании.
4. Оборудование, для которого вводится поломка, статистика по отказам, трудоёмкость ремонта и число ремонтных рабочих, заданы в индивидуальном задании.

**Определить:**

1. Сколько зерна поступило на ЗСП.
2. Сколько зерна высушено.
3. Сколько времени затрачено на сушку всего зерна.
4. Сколько раз за время сушки ломалось оборудование.
5. Процент загрузки оборудования.
6. Процент загрузки ремонтных рабочих.
7. Процент безотказной работы оборудования.
8. Сделать заключение о достаточности бункера-накопителя.

Таблица 2 - Варианты заданий к лабораторной работе №6

Вар-т	Объём сушки, т	Состав ремонтной бригады, чел	Поломка оборудования	Время наступления отказа, час	Трудоёмкость ремонта, чел-ч
1	80	2	NOR1	10±2	2±1
2	90	1	SUSH	12±2	2,5±1
3	120	3	NOR2	9±3	1,5±0,6
4	100	1	NOR1	10±3	2±1
5	80	3	SUSH	7±2	2,4±0,9
6	110	2	NOR2	11±3	2±0,8
7	70	1	NOR1	6±2	1,5±0,5
8	90	2	SUSH	7±3	2,8±1,4
9	130	4	NOR2	12±4	3,6±1,2
10	140	4	NOR1	12±3	2,8±0,8
11	150	3	SUSH	15±5	2,1±1,2
12	120	2	NOR2	13±3	2,4±1,4
13	135	3	NOR1	10±2	2,7±1,8
14	115	2	SUSH	11±3	2,6±1,6
15	105	1	NOR2	10±2	2±1
16	150	2	NOR1	15±3	4±2
17	125	3	SUSH	18±3	3±0,9

**Модель работы зерносушильного пункта с отказами оборудования**

В дополнение к условию предыдущей задачи, известна статистика по отказам: поломка сушилки происходит через 10±4 часа, а трудоёмкость ее последующего восстановления 3±2 часа. Ремонт выполняется бригадой рабочих, состоящей из двух человек. Объем сушки зерна - 150 тонн.

Необходимо определить время, затраченное на сушку всей партии зерна, число проведенных ремонтов, оценить коэффициенты загрузки оборудования, занятости ремонтной бригады и коэффициент безотказной работы сушиллки.

### *Пояснения к работе №6*

Основной сегмент модели (сегмент ZERNO) остается таким, как и в примере 2, а алгоритм подпрограммы 2-го сегмента ввода отказов оборудования примет следующий вид:

#### 2 сегмент – отказ

1. Ввод отказа в модель (36000,14400).
2. Работает ли оборудование? (SUSH).
3. Поломка оборудования (SUSH).
4. Вызов бригады рабочих-ремонтников (RAB)
5. Ремонт оборудования (5400,3600).
6. Запуск в работу (SUSH).
7. Освобождение рабочих-ремонтников (RAB).
8. Вывод отказа из модели.

В тексте модели в данном случае будет отсутствовать сегмент время (TIME), так как окончание моделирования происходит по выполнению заданной программы сушки зерна.

Программа сушки (число необходимых завершений) должно быть задано в операнде карты START, так как в качестве транзакта был принят центнер зерна, то число завершений составит 1500. В процессе счета транзакты - центнеры будут выводиться из сегмента ZERNO блоком TERMINATE. В операнде этого блока указано число единиц, вычитаемое из счетчика завершений за каждый START. Моделирование будет идти до тех пор, пока счетчик завершения моделирования, определенный операндом A карты START не достигнет нуля.

Результаты моделирования работы сушильного пункта с отказом оборудования представлены на рис. 12.

Время выполнения заданной программы сушки составило 93112 с. За это время поломка сушиллки происходила 2 раза. Коэффициенты использования оборудования составили: загрузочная нория - 98,8%, сушиллка - 95,5%, выгрузная нория - 60,8% за все время моделирования. Процент занятости ремонтной бригады не превысил 11,0%. Коэффициент безотказной работы сушиллки - 84,5%. Вынужденные простои оборудования увеличили максимальное содержимое накопителя до 333 центнеров. На момент окончания моделирования в накопителе было 318 ц зерна. При таком режиме сушки максимальное расчетное содержимое накопителя превышает его запланированный объем, и машины, привозящие зерно, вынуждены будут простаивать в ожидании выгрузки.



START_TIME	END_TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	FREE_MEMORY
0	93112	21	4	0	297872

LINE	LOC	BLOCK_TYPE	ENTRY_COUNT	CURRENT_COUNT	RETRY
60	1	GENERATE	52	0	0
70	2	SPLIT	52	0	0
80	MET1	LINK	1820	318	0
90	MET2	SEIZE	1502	0	0
100	5	ADVANCE	1502	1	0
110	6	UNLINK	1501	0	0
120	7	SEIZE	1501	0	0
130	8	RELEASE	1501	0	0
140	9	ADVANCE	1501	1	0
150	10	SEIZE	1500	0	0
160	11	RELEASE	1500	0	0
170	12	ADVANCE	1500	0	0
180	13	RELEASE	1500	0	0
190	14	TERMINATE	1500	0	0
210	15	GENERATE	2	0	0
220	16	GATE	2	0	0
230	17	FUNAVAIL	2	0	0
240	18	SEIZE	2	0	0
250	19	ADVANCE	2	0	0
260	20	RELEASE	2	0	0
270	21	FAVAIL	2	0	0
280	22	TERMINATE	2	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
NOR1	1502	0.968	60.05	1	1506	0	0	0	0
SUSH	1503	0.955	52.68	1	1505	0	0	0	0
NOR2	1500	0.608	37.79	1	0	0	0	0	0
RAB	2	0.110	5134.00	1	0	0	0	0	0

USER_CHAIN	CHAIN_SIZE	RETRY	AVE. CONT	ENTRIES	MAX	AVE. TIME
BUNK	318	0	121.47	1815	333	6231.51

Рисунок 12 - Результаты моделирования работы ЗСП с отказами оборудования

На каждую лабораторную работу можно отвести по два - четыре часа аудиторных занятий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения описанного выше лабораторного практикума в рамках изучения дисциплины «Математическое моделирование в расчетах на ЭВМ» студент получает практические навыки проведения работ, выполняемых на каждом из этапов имитационного моделирования, учится работать в среде системы моделирования GPSS, изучает на практике методы планирования, реализации и анализа результатов имитационных экспериментов.

Выбор в качестве основного инструментального средства моделирования системы GPSS позволяет с приемлемыми затратами времени и сил студентов решать разнообразные задачи моделирования. Кроме того, использование GPSS позволяет организовать эффективную самостоятельную работу студентов, поскольку студенческая версия системы GPSS World и домашняя версия системы GPSS/PC могут быть использованы ими в домашних условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акопов, А. С. Имитационное моделирование : учебник и практикум для вузов / А. С. Акопов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 389 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-02528-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489503> (дата обращения: 18.06.2023).

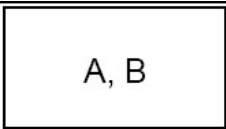
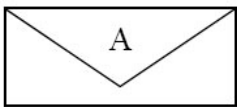

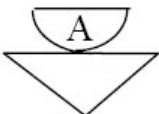

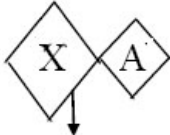

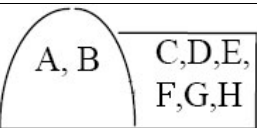
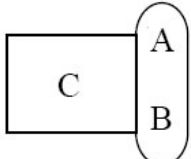
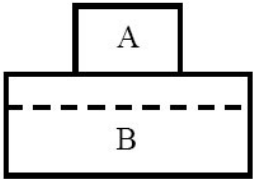
2. Вьюненко, Л. Ф. Имитационное моделирование : учебник и практикум для вузов / Л. Ф. Вьюненко, М. В. Михайлов, Т. Н. Первозванская ; под редакцией Л. Ф. Вьюненко. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 283 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01098-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489074> (дата обращения: 18.06.2023).

3. Девятков, В.В. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. В. Девятков, Т. В. Девятков, М. В. Федотов ; под ред. В. В. Девяткова. - Электрон.дан. - М. : Вузовский учебник : Инфра-М, 2019. - 283 с. - Внешняя ссылка: <http://znanium.com/go.php?id=1017978> .





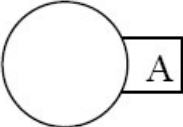
## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

#### Условные обозначения на блок-схемах GPSS

ADVANCE		Задерживает транзакт на время $A \pm B$ , если $B$ - const, или $A \times B$ , если $B$ - функция
ASSEMBLE		Собирает $A$ транзактов одного ансамбля, пропускает в следующий блок первый транзакт, остальные уничтожает
DEPART		Обеспечивает освобождение в очереди $A$ $B$ единиц
FAVAIL		Объявляет группу устройств $A$ доступным
FUNAVAIL		Объявляет группу устройств $A$ недоступным
GATE U		Проверяет условие нахождения устройства $A$ в состоянии $X$
GATHER		Собирает $A$ транзактов одного ансамбля и пропускает их одновременно в следующий блок
GENERATE		Генерирует транзакты через $A$ единиц времени, модифицированных $B$ с задержкой $C$ , $D$ транзактов, с приоритетом $E$
LINK		Удаляет транзакт из списка текущих событий и помещает в список пользователя
PRIORITY		Присваивает входящему транзакту приоритет $A$

Продолжение приложения А

QUEUE		Обеспечивает занятие В мест в очереди А
RELEASE		Освобождает устройство с номером А
SEIZE		Занимает устройство с номером А
SPLIT		Генерирует А копий входящего транзакта и направляет их по адресу В; основной транзакт переходит в следующий блок
TERMINATE		Уничтожает А транзактов

**Пример построения модели**

***Моделирование работы заправочной станции***

Построить модель работы заправочной станции, работающей следующим образом. На заправочной станции хозяйства производится заправка тракторов дизельным топливом. Имеется одна топливораздаточная колонка, которая обслуживается оператором. Тракторы приезжают с интервалом  $5 \pm 4$  минуты. Время заправки каждого трактора (включая оформление документов)  $4 \pm 1$  минута.

Необходимо исследовать работу заправочной станции в течение 3 часов. Оценить коэффициент загрузки оператора, определить число приехавших и заправленных тракторов, исследовать возможность возникновения очереди к оператору, определить емкость площадки для стоянки тракторов в ожидании заправки.

*1. Концептуальная модель.*

Концептуальная модель содержит текстовое описание задачи, числовые данные, цель моделирования. Все это отражено в условии задачи.

*2. Формализация описания объекта моделирования в терминах Q-схем.*

АО – оператор заправочной станции (OPER);

транзакт – трактор;

время работы: 3 часа = 180 мин;

очередь тракторов на заправку (BANK).

Процесс разбивается на элементарные приборы обслуживания и представляется в символической Q-схеме (рис.Б.1).

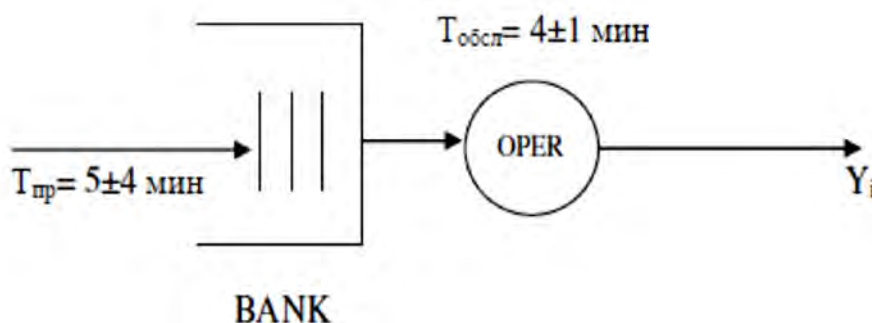


Рисунок Б.1 - Схема объекта моделирования в символической Q-схеме

Схема, представленная на рис. Б.1, дает наглядное представление о структуре моделируемой системы и составе входящих в нее элементов.

## Продолжение приложения Б

Тракторы поступают на заправку с интервалом  $T_{пр}=5\pm 4$  минуты, после прихода все тракторы становятся в очередь. Выходя из очереди, тракторы поступают к оператору на обслуживание,  $T_{об}=4\pm 1$  мин. После выполнения заправочных работ тракторы уезжают.

### 3. Алгоритмизация процесса функционирования объекта

Следующим этапом является алгоритмизация процесса функционирования объекта моделирования, представленного в виде типовой математической Q-схемы.

- 1) Приход трактора ( $5\pm 4$ ).
- 2) Занять очередь к оператору (BANK).
- 3) Занять оператора (OPER).
- 4) Выход из очереди (BANK).
- 5) Заправка трактора ( $4\pm 1$ ).
- 6) Освободить оператора (OPER).
- 7) Уход трактора.

Транзакты-тракторы вводятся в модель с интервалом  $5\pm 4$  мин. Поскольку необходимо исследовать возникновение очереди к заправочной колонке, то моделируем занятие трактором очереди с символьным именем BANK. Затем моделируем занятие транзактами оператора, имя которого OPER. После занятия оператора, транзакт - трактор покидает очередь и задерживается у топливораздаточной колонки на время заправки  $4\pm 1$  мин. Событие занятия оператора опережает событие выхода транзакта из очереди. Этим реализуется следующая дисциплина обслуживания - удаление из очереди очередного трактора не должно происходить раньше, чем предыдущий трактор освободит топливозаправочную колонку. После заправки моделируется освобождение оператора и транзакт - трактор выводится из модели.

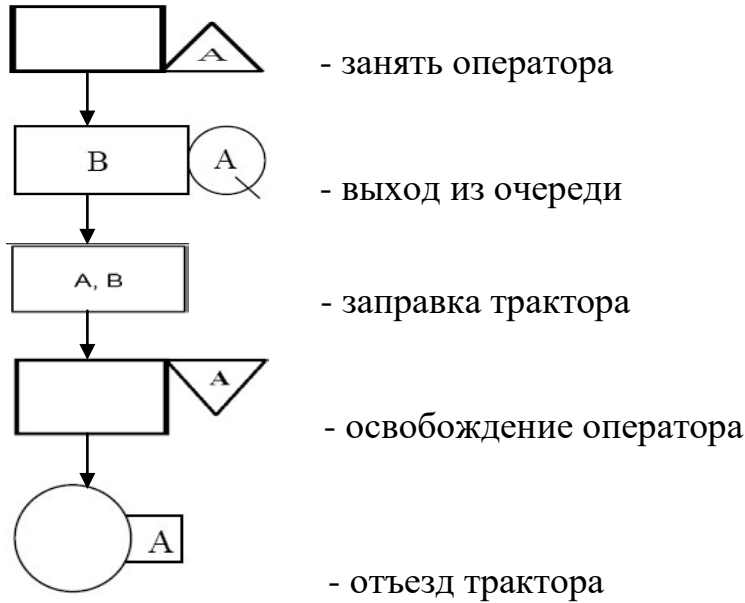
### 4. Построение блок-схемы модели

К составленному алгоритму подбираем соответствующие блоки (приложение 1), указываем связи между блоками и определяем пути движения транзактов. Блок-схема моделирующей программы представлена на рис. Б.2.

#### 1 сегмент модели - трактор



## Продолжение приложения Б



### 2 сегмент модели - время

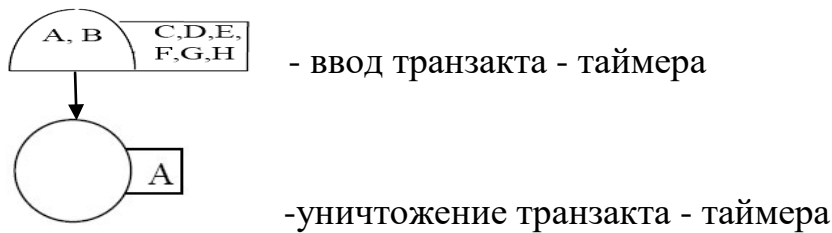


Рисунок Б.2 - Блок-схема моделирующей программы

Первый сегмент отражает приход, заправку и уход трактора. Поскольку необходимо исследовать возникновение очереди на выходе к оператору, используем блоки QUEUE и DEPART.

Для задания времени моделирования используется второй сегмент модели - TIME. Он состоит из блока GENERATE, создающего транзакт-таймер в момент времени 180 минут, и блока TERMINATE с операндом A=1. Счетчик завершений задан картой START с операндом A равным 1. Блок-схема представлена в соответствии с условными обозначениями, принятыми в языке GPSS.

### *5. Моделирующая программа*

Текст моделирующей программы приведен на рис. Б.3. В результате трансляции программы осуществляется проверка правильности записи текста модели.

```

10 *AZS
20 *issl.rab.oborud
30 *rabota 1
40 *popov
50 * 1 segment- traktor
60         GENERATE      5,4
70         QUEUE         BANK
80         SEIZE         OPER
90         DEPART        BANK
100        ADVANCE       4,1
110        RELEASE       OPER
120        TERMINATE
130 * 2 segment-time
140        GENERATE      180
150        TERMINATE     1
160 * control cards
START     1
END

```

Рисунок Б.3 - Текст моделирующей программы

Если в результате записи программы будут допущены ошибки, то в процессе трансляции система выявляет эти ошибки и выдает сообщение с указанием номера строки и краткого пояснения.

#### 6. Результаты моделирования

Результаты моделирования работы заправочной станции в форме стандартного отчета представлены на рис. Б.4.

START_TIME	END_TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	FREE_MEMORY
0	180	9	1	0	358064

LINE	LOC	BLOCK_TYPE	ENTRY_COUNT	CURRENT_COUNT	RETRY
60	1	GENERATE	39	0	0
70	2	QUEUE	39	2	0
80	3	SEIZE	37	0	0
90	4	DEPART	37	0	0
100	5	ADVANCE	37	1	0
110	6	RELEASE	36	0	0
120	7	TERMINATE	36	0	0
140	8	GENERATE	1	0	0
150	9	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE._TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
OPER	37	0.833	4.05	1	38	0	0	0	2

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRIES	ENTRIES (0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
BANK	3	2	39	11	0.64	2.97	4.14	0

XACT_GROUP	GROUP_SIZE	RETRY
POSITION	0	0

Рисунок Б.4 - Результаты моделирования работы заправочной станции



## Продолжение приложения Б

Выходные данные начинаются результатами модельного времени и накопленной статистики по списку блоков модели. Так, например, в блок №2 (занять очередь) на момент окончания моделирования вошло 39 транзактов. В следующий блок перешло 37 транзактов, а два транзакта остались в очереди в блоке №2 и текущее содержимое этого блока равно 2. По статистике списка блоков можно определить количество заправленных тракторов, оно составит 38 штук. Всего за время моделирования поступило на заправку 39 тракторов. На конец моделирования один трактор находится на обслуживании и два в очереди.

Далее в распечатке ответа приведена статистика по приборам обслуживания (FACILITY), которая содержит:

1. Символьное имя прибора (OPER).
2. Число входов в прибор обслуживания (37).
3. Процент загрузки оборудования в тысячных долях (83,3%).
4. Среднее время обработки одного транзакта (4,05 мин.).
5. Текущий статус прибора на конец моделирования, если прибор не работает - 0, если работает - 1.

Статистика по очередям (QUEUE) содержит:

1. Символьное имя очереди (BANK).
2. Максимальное содержание очереди (3).
3. Содержание очереди на конец моделирования (2).
4. Всего входов в очередь (39).
5. Число проходов с нулевым временем ожидания в очереди (11).
6. Среднее содержание очереди (0,84).
7. Среднее время нахождения в очереди каждого транзакта (2,97 мин.).
8. Среднее время нахождения в очереди одного транзакта без учета транзактов с нулевым временем ожидания (4,14 мин.).

Полученная статистика позволяет сделать следующие выводы о работе заправочной станции. При данных интервалах заправки, заправочный пункт, справится с поступающим потоком тракторов. Почти третья часть тракторов (11) обслуживаются без очереди. Каждый из оставшихся тракторов простаивает в очереди в среднем 4,14 минуты, что вполне допустимо. Величина очереди за три часа не превышает 3 тракторов, следовательно, емкость площадки заправочной станции может быть выбрана из расчета на 3-5 тракторов. Коэффициент загрузки оператора достаточно высок и составляет 83,3%.

**Пример составления отчета по работе**

***Исследование работы заправочной станции***

**1. Цель работы:** определить пригодность заправочного оборудования (заправочной колонки) АЗС хозяйства для заправки тракторов.

Текст моделирующей программы

```

10 *AZS
20 *issl.rab.oborud
30 *rabota 1
40 *Popov
50 * 1 segment- traktor
60     GENERATE     5,4
70     QUEUE       BANK
80     SEIZE       OPER
90     DEPART      BANK
100    ADVANCE     4,1
110    RELEASE     OPER
120    TERMINATE
130 * 2 segment-time
140    GENERATE    180
150    TERMINATE   1
160 * control cards
SAVE   AZS.GP
START  1
END
    
```

Результаты моделирования работы заправочной станции

START_TIME	END_TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES	FREE_MEMORY
0	180	9	1	0	358064

LINE	LOC	BLOCK_TYPE	ENTRY_COUNT	CURRENT_COUNT	RETRY
60	1	GENERATE	39	0	0
70	2	QUEUE	39	2	0
80	3	SEIZE	37	0	0
90	4	DEPART	37	0	0
100	5	ADVANCE	37	1	0
110	6	RELEASE	36	0	0
120	7	TERMINATE	36	0	0
140	8	GENERATE	1	0	0
150	9	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE._TIME	AVAILABLE	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
OPER	37	0.833	4.05	1	38	0	0	0	2

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRIES	ENTRIES(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
BANK	3	2	39	11	0.64	2.97	4.14	0

XACT_GROUP	GROUP_SIZE	RETRY
POSITION	0	0

## Продолжение приложения В

### 2. В результате моделирования получено:

(по данным стандартного отчета)

Показатели	Значения
1. Общее отработанное время	180 мин
2. Число тракторов, которые приехали на АЗС	39
3. Число заправленных тракторов, которые уехали с АЗС	36
4. Число оставшихся тракторов и где они остались:	3
- в очереди	2
- на обслуживании	1
5. Статистика о работе аппарата обслуживания (колонки)	
- поступило тракторов на обслуживание	37
- процент загрузки оборудования (колонки)	83,3%
- среднее время заправки одного трактора	4,05 мин
6. Статистика об очереди	
- максимальная очередь к колонке	3
- число тракторов оставшихся в очереди в конце работы	2
- число тракторов, которые занимали очередь	39
- число тракторов, которые прошли без ожидания в очереди	11
- среднее время нахождения в очереди каждого трактора (каждого из 39 тракторов)	2,97 мин
- среднее время нахождения в очереди каждого трактора, без учета тех которые не стояли в очереди (28 тракторов)	4,14 мин

### 3. Что не устраивает в полученном ответе:

Из 39 тракторов, приехавших на заправку, было заправлено только 36 тракторов, а 3 трактора остались не заправленными. Один, который в конце работы заправочной станции находится у колонки, наверно будет заправлен, а два других, которые стоят в очереди, так и останутся не заправленными. Тем не менее, заправочная колонка, которая установлена на АЗС, загружена только на 83,3%.

### 4. Мероприятия по устранению недостатков:

- 1) можно увеличить общее время работы АЗС и заправить оставшиеся тракторы;
- 2) можно уменьшить интервал между приходом тракторов на АЗС, т.к. почти третья часть тракторов (11) обслуживаются без очереди;
- 3) можно купить и установить вторую колонку;
- 4) можно уменьшить время заправки каждого трактора, для этого необходимо установить более производительную колонку.