

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта
по дисциплине «Теория систем»
на тему «Исследование закономерности изменения отклика
СМО на основе имитационных экспериментов»
для магистров очной и заочной форм обучения
по направлению 09.04.01
«Информатика и вычислительная техника»

Севастополь
2016

УДК 004.942 + 519.876.5

Методические указания для выполнения курсового проекта на тему «Исследование закономерности изменения отклика СМО на основе имитационных экспериментов» по дисциплине «Теория систем» для магистров дневной и заочной форм обучения по направлению 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»/ Сост.: И.А Балакирева, В.И. Шевченко — Севастополь: СевГУ, 2016. — 40 с.

Целью методических указаний является оказание методической помощи магистрам при выполнении курсового проекта по дисциплине «Теория систем»

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры информационных технологий компьютерных систем, протокол № 8 от 11 апреля 2016 г.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и компьютерных систем, к.т.н. Машенко Е.Н.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	5
1.1. Основные подходы к построению математических моделей систем.	5
1.1.1. Математическая схема общего вида	6
1.1.2. Непрерывно-стохастические модели (Q –схемы)	8
1.2. Применение имитационного эксперимента для исследования СМО	10
1.2.1. Планирование полного факторного эксперимента типа 2^n .	12
1.2.2. Планирование дробного факторного эксперимента.	13
1.2.3. Организация и проведение эксперимента.	13
1.2.4. Планирование и проведение отсеивающего эксперимента.	14
1.2.5. Обработка результатов эксперимента.	16
1.2.6. Принятие решений после построения модели процесса	16
2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.	18
3. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	18
4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ	18
4.1. Постановка задачи	19
4.2. Математическая схема вычислительной системы	19
4.3. Имитационная модель вычислительной системы	20
4.4. Исследование влияния факторов компьютерной системы на емкость накопителя к персональному компьютеру РС1.	24
4.5. Организация и проведение отсеивающего эксперимента	25
4.6. Организация и проведение полного факторного эксперимента	25
Библиографический список	28
Приложение А	29

ВВЕДЕНИЕ

Большинство научных исследований связано с экспериментом. Он проводится на производстве, в лабораториях, на опытных полях и участках, в клиниках и т.д. Эксперимент может быть физическим, психологическим или модельным. Он может непосредственно проводиться на объекте или на его модели. Модель обычно отличается от объекта масштабом, а иногда природой. Главное требование к модели - достаточно точное описание объекта.

Планирование эксперимента - это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Здесь существенно следующее:

стремление к минимизации общего числа опытов;

одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс, по специальным правилам - алгоритмам;

использование математического аппарата, формализующего многие действия экспериментатора;

выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

Задачи, для решения которых может использоваться планирование эксперимента, чрезвычайно разнообразны. К ним относятся: поиск оптимальных условий, построение интерполяционных формул, выбор существенных факторов, оценка и уточнение констант теоретических моделей, выбор наиболее приемлемых из некоторого множества гипотез о механизме явлений, исследование свойств объекта исследования и т.д.

Поиск оптимальных условий является одной из наиболее распространенных научно-технических задач. Они возникают в тот момент, когда установлена возможность проведения процесса и необходимо найти наилучшие (оптимальные) условия его реализации.

Исследование свойств объекта, поиск оптимальных решений на основе имитационных моделей (ИМ) дает исследователю широкие возможности в рамках варьирования параметров модели и планирования имитационного эксперимента.

Наибольшие затруднения при моделировании возникают при переходе от содержательного к формальному описанию объектов исследования. Это объясняется участием в этом творческом процессе различных коллективов: специалистов в области систем и специалистов в области компьютерного моделирования. Эффективным средством для нахождения взаимопонимания между этими коллективами является язык математических схем. Этот инструментарий позволяет осуществить адекватный переход от содержательного описания системы к ее математической схеме, а затем решать вопрос о конкретном методе получения результатов с использованием ЭВМ: аналитическом или имитационном, а возможно, и комбинированном, т.е. аналитико-имитационном.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Основные подходы к построению математических моделей систем

Исходной информацией при построении математических моделей (ММ) процессов функционирования систем служат данные о назначении и условиях работы исследуемой (проектируемой) системы S . Эта информация определяет основную цель моделирования системы S и позволяет сформулировать требования к разрабатываемой математической модели.

Введение понятия «математическая схема» [1] позволяет рассматривать математику не как метод расчета, а как метод мышления, как средство формулирования понятий, что является наиболее важным при переходе от словесного описания системы к формальному представлению процесса ее функционирования в виде некоторой математической модели (аналитической или имитационной). При пользовании математической схемой исследователя системы S в первую очередь должен интересовать вопрос об адекватности отображения в виде конкретных схем реальных процессов в исследуемой системе, а не возможность получения ответа (результата решения) на конкретный вопрос исследования. Например, представление процесса функционирования информационно-вычислительной системы коллективного пользования в виде сети схем массового обслуживания дает возможность хорошо описать процессы, происходящие в системе, но при сложных законах распределения входящих потоков и потоков обслуживания не дает возможности получения результатов в явном виде.

Математическую схему можно определить как звено при переходе от содержательного к формальному описанию процесса функционирования системы с учетом воздействия внешней среды, т. е. имеет место цепочка «описательная модель — математическая схема — математическая (аналитическая и/или имитационная) модель».

Каждая конкретная система S характеризуется набором свойств, под которыми понимаются величины, отражающие поведение моделируемого объекта (реальной системы). Кроме этого, необходимо учитывать условия ее функционирования во взаимодействии с внешней средой E . При построении математической модели системы необходимо решить вопрос об ее полноте. Полнота модели регулируется в основном выбором границы «система S — среда E ». Также должна быть решена задача упрощения модели, которая помогает выделить основные свойства системы, отбросив второстепенные. Причем отнесение свойств системы к основным или второстепенным существенно зависит от цели моделирования системы (например, анализ вероятностно-временных характеристик процесса функционирования системы, синтез структуры системы и т. д.).

В практике моделирования используются математическая схема общего вида и типовые математические схемы. Математическая схема общего вида позволяет формализовать широкий класс систем. Типовые математические

схемы имеют преимущества простоты и наглядности при реализации тех или иных процессов.

1.1.1. Математическая схема общего вида

При использовании математической схемы общего вида модель объекта моделирования, представляется в виде множества величин, описывающих процесс функционирования реальной системы и образующих четыре непересекающихся подмножества:

$X=\{x_i\}$, $i=1,\dots,n_X$ — подмножество совокупности входных воздействий на систему;

$V=\{v_l\}$, $l=1,\dots,n_V$ — подмножество совокупности воздействий внешней среды на систему;

$G=\{g_k\}$, $k=1,\dots,n_G$ — подмножество совокупности внутренних (собственных) параметров системы;

$Y=\{y_j\}$, $j=1,\dots,n_Y$ — подмножество совокупности выходных характеристик системы.

При моделировании системы входные воздействия X , воздействия внешней среды V и внутренние параметры системы G являются независимыми (экзогенными) переменными, а выходные характеристики Y — зависимыми (эндогенными) переменными.

Процесс функционирования системы описывается во времени оператором, который в общем случае преобразует экзогенные переменные в эндогенные в соответствии с соотношением вида

$$Y(t)=F_s(X,V,G,t). \quad (1.1)$$

Совокупность зависимостей выходных характеристик системы от времени $y_j(t)$, $j=1, n_Y$ называется выходной траекторией. Зависимость F_s называется законом функционирования системы. В общем случае закон функционирования системы может быть задан в виде функции, логических условий, в алгоритмической и табличной формах или в виде словесного правила соответствия.

Важным для описания и исследования системы S является понятие алгоритма функционирования A_s . Здесь понимается метод получения выходных характеристик с учетом входных воздействий $X(t)$, воздействий внешней среды $V(t)$ и собственных параметров системы $G(t)$. Очевидно, что один и тот же закон функционирования F_s системы S может быть реализован различными способами, т.е. с помощью множества различных алгоритмов функционирования.

Соотношение (1.1) являются математическим описанием поведения объекта (системы) во времени t , то есть отражают его динамические свойства. Модели такого вида принято называть **динамическими моделями**.

Для статических ММ (1.1) представляет собой отображение между двумя подмножествами свойств моделируемого объекта $Y=f(X,V,G)$.

Если рассматривать процесс функционирования системы S как последовательную смену состояний $z_1(t), z_2(t), \dots, z_k(t), t \in \{t_0, T\}$, то они могут быть интерпретированы как координаты точки в k -мерном пространстве. Каждой реализации процесса будет соответствовать некоторая фазовая траектория. Совокупность всех возможных состояний $\{z\}$ называется пространством состояний объекта моделирования Z , причем $z_k \in Z$.

Состояния системы S в момент времени $t_0 < t^* \leq T$ полностью определяются начальными условиями Z_0 , входными воздействиями $X(t)$, внутренними параметрами $G(t)$ и воздействиями внешней среды $V(t)$, которые имели место на промежутке времени $\{t_0, t^*\}$. Состояния можно представить с помощью уравнений:

$$Z(t) = \Phi(Z^0, X, V, G, t) \quad (1.2)$$

$$Y(t) = F(Z, t) \quad (1.3)$$

Уравнение (1.2) по начальному состоянию Z_0 и экзогенным переменным X, V, G , определяет векторную функцию $Z(t)$, а уравнение (1.3) по полученному значению состояний $Z(t)$ определяет эндогенные переменные на выходе системы $Y(t)$. Таким образом, цепочка уравнений объекта «вход — состояния — выход» позволяет определить характеристики системы $Y(t) = F[\Phi(Z^0, X, V, G, t)]$.

В общем случае время в модели системы S может рассматриваться на интервале моделирования $(0, T)$ как непрерывное, так и дискретное, то есть квантованное на отрезки длиной Δt временных единиц каждый, $T = m\Delta t$.

Таким образом, под математической моделью объекта (реальной системы) конечное множество переменных $\{X(t), V(t), G(t)\}$ вместе с математическими связями между ними и характеристиками $Y(t)$.

Если математическое описание объекта моделирование не содержит элементов случайности, или они не учитываются, то модель называется детерминированной в том смысле, что характеристики однозначно определяются детерминированными входными воздействиями $Y(t) = f(X, t)$.

Очевидно, что детерминированная модель является частным случаем стохастической модели.

Приведенные математические соотношения представляют собой математические схемы общего вида и позволяют описать широкий класс систем. Однако, в практике моделирования объектов в области системотехники и системного анализа на первоначальных этапах исследования системы рацио-

нально использовать типовые математические схемы, например, дифференциальные уравнения; конечные и вероятностные автоматы; системы массового обслуживания, Сети Петри.

Перечисленные схемы определяют основные подходы для построения ММ.

1.1.2. Непрерывно-стохастические модели (Q –схемы)

Непрерывно-стохастический подход в моделировании основан на применении теории систем массового обслуживания (СМО). Подход выражается в построении Q-схем (англ. queueing system).

В качестве процесса обслуживания могут быть представлены различные по своей физической природе процессы функционирования экономических, производственных, технических и других систем. Это могут быть потоки поставок продукции некоторому предприятию, потоки деталей и комплектующих изделий на сборочном конвейере цеха, заявки на обработку информации серверами от удаленных терминалов и т. д. При этом характерным для работы таких объектов является случайное появление заявок (требований) на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени. т. е. стохастический характер процесса их функционирования.

Элементарная Q-схема изображена на рисунке 1.1 и представляет собой, канал (прибор) обслуживания поступающих на его вход заявок (требований). В любом элементарном акте обслуживания можно выделить две основные составляющие: ожидание обслуживания и собственно обслуживание заявки.

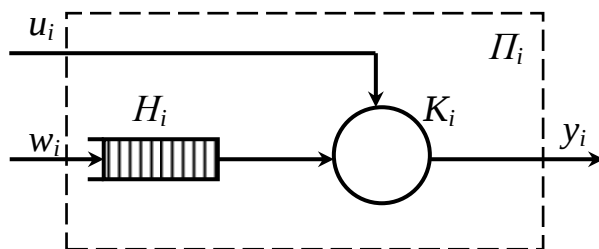


Рисунок 1.1 — Элементарная Q-схема

Элементарная Q-схема состоит из:

— прибора обслуживания P_i ;

— накопителя заявок H_i , в котором может одновременно находиться

$l_i = 0, L_i^H$ заявок, где L_i^H — емкость i -го накопителя;

— канала обслуживания заявок (или просто канала) K_i .

На каждый элемент прибора обслуживания P_i , поступают потоки событий:

- поток заявок W_i в накопитель H_i ;
- поток обслуживания u_i на канал K_i ;

Потоком событий называется последовательность событий, происходящих одно за другим в случайные моменты времени. Поток событий может быть однородным, если он характеризуется только моментами поступления этих событий. Поток неоднородных событий характеризуется моментами поступления этих событий и набором признаков события. Например, для неоднородного потока заявок могут быть заданы принадлежность к тому или иному источнику заявок, наличие приоритета, возможность обслуживания тем или иным типом канала и т.п.

Обычно в приложениях при моделировании СМО применительно к элементарному каналу обслуживания K_i , считают, что поток заявок $w_i \in W$, а именно интервалы времени между поступлениями заявок, образует подмножество входных неуправляемых переменных.

Поток обслуживания заявок $u_i \in U$, или интервалы времени между началом и окончанием обслуживания заявки, образует подмножество управляемых переменных.

Заявки, обслуженные каналом K_i и заявки, покинувшие прибор Π_i по различным причинам не обслуженными, образуют выходной поток $y_i \in Y$. Таким образом, интервалы времени между моментами выхода заявок образуют подмножество выходных переменных.

Процесс функционирования прибора обслуживания Π_i можно представить как процесс изменения состояний его элементов во времени $z_i(t)$. Переход в новое состояние для Π_i означает изменение количества заявок, которые в нем находятся, а именно — в канале K_i и в накопителе H_i . Таким образом, вектор состояний для Π_i имеет вид $Z_i = (z_i^H, z_i^K)$, $z_i^H \in \{0, L_i^H\}$, $z_i^K \in \{0, 1\}$.

Реальные системы описать отдельным элементарным прибором обслуживания невозможно, поэтому на практике применяют композиции многих элементарных приборов обслуживания. Если каналы Π_i соединены параллельно, то имеет место многоканальное обслуживание — многоканальная Q-схема. Если приборы Π_i и их многоканальные композиции соединены последовательно, то имеет место многофазное обслуживание — многофазная Q-схема. Таким образом, для задания Q-схемы необходимо использовать оператор сопряжения R , отражающий взаимосвязь элементов структуры (накопителей и каналов) между собой. Связи между элементами Q-схемы отражают в виде стрелок — направлений движения заявок.

Собственными (внутренними) параметрами Q-схемы являются:

- количество фаз L_ϕ ;

— количество каналов в каждой фазе;
 — количество накопителей в каждой фазе и емкость каждого накопителя и его характеристики.

Всю совокупность собственных параметров Q -схемы обозначим G .

Далее, для задания Q -схемы необходимо описать алгоритмы ее функционирования, которые определяют набор правил поведения заявок в системе в неоднозначных ситуациях (дисциплины обслуживания; приоритеты — относительные и абсолютные, статические и динамические; набор правил, по которым заявки покидают накопители и каналы обслуживания). Весь набор возможных алгоритмов поведения заявок в Q -схеме можно представить в виде некоторого оператора алгоритмов A .

Таким образом, Q -схема, описывающая процесс функционирования СМО любой сложности однозначно задается в виде:

$$Q = \{W, U, G, Z, R, A\}.$$

W — входящий поток — характеристики потока

U — поток обслуживания — характеристики потока

G — подмножество собственных параметров системы

Z — подмножество состояний системы

R — оператор сопряжения элементов структуры

A — оператор алгоритмов обслуживания заявок.

Возможности оценки характеристик систем с использованием аналитических моделей теории массового обслуживания являются весьма ограниченными по сравнению с требованиями практики исследования и проектирования систем, формализуемых в виде Q -схем. Несравненно большими возможностями обладают ИМ, позволяющие исследовать Q -схему, задаваемую в виде $Q = \{W, U, G, Z, R, A\}$ без ограничений, в том числе, и для определения оптимальных параметров СМО.

1.2. Применение имитационного эксперимента для исследования СМО

Основной целью проведения современного эксперимента с позиций исследователя является разработка математической модели, адекватно описывающей процесс и позволяющий, в конечном результате, осуществлять его управление. Именно с помощью такой модели можно эффективно управлять производством, оперативно изменяя его параметры в соответствии с запросами потребителя и обеспечивая выпуск высококачественной продукции.

При планировании эксперимента исследователь должен:

- 1) обеспечить высокую надежность и четкость интерпретации результатов экспериментальных исследований; составить четкую и последовательную логическую схему построения всего процесса исследования: что, когда и как нужно делать;
- 2) максимально формализовать процесс разработки модели и сопоставления экспериментальных данных различных опытов одного и того же

объекта исследований с целью широкого применения вычислительных средств.

Планирование экстремального эксперимента — это метод выбора количества и условий проведения опытов, минимально необходимых для отыскания оптимальных условий.

Результаты эксперимента используются для получения математической модели объекта исследования, которая представляет собой уравнение, связывающее параметр оптимизации и факторы. Такое уравнение называется функцией отклика.

Использование для получения модели всех возможных опытов приводит к абсурдно, большим экспериментам. Задача выбора необходимых для эксперимента опытов, методов математической обработки их результатов и принятия решений — это и есть задача планирования эксперимента. Частный случай этой задачи — планирование экстремального эксперимента, т. е. эксперимента, поставленного с целью поиска оптимальных условий функционирования объекта. Планирование экстремального эксперимента — метод выбора минимального количества опытов, необходимых для отыскания оптимальных условий.

Под экспериментом будем понимать метод научного исследования, когда исследователь активно и целенаправленно воздействует на объект исследования путем создания искусственных условий или использования естественных с целью получения информации о его свойствах.

Важнейшей задачей методов обработки полученной в ходе эксперимента информации является задача построения математической модели изучаемого явления, процесса, объекта. Ее можно использовать и при анализе процессов и при проектировании объектов. Другой задачей обработки полученной в ходе эксперимента информации является задача оптимизации, т.е. нахождения такой комбинации влияющих независимых переменных, при которой выбранный показатель оптимальности принимает экстремальное значение.

Планирование эксперимента — выбор плана эксперимента, удовлетворяющего заданным требованиям, совокупность действий направленных на разработку стратегии экспериментирования (от получения априорной информации до получения работоспособной математической модели или определения оптимальных условий). Это целенаправленное управление экспериментом, реализуемое в условиях неполного знания механизма изучаемого явления.

Под планом эксперимента — понимается совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов. Под словом опыт в данном случае имеется в виду отдельная, элементарная часть эксперимента. Соответственно, понятие планирование эксперимента, определяемое как процесс разработки плана эксперимента, включает в себя все, что делается по разработке стратегии экспериментирования от начальных до заключительных этапов изучения объекта исследования, т.е. от получения априор-

ной информации до создания работоспособной математической модели объекта исследования или определения оптимальных условий. Планирование способствует значительной интенсификации труда исследователя и сокращению затрат на эксперимент, повышению достоверности полученных результатов исследования.

Основным математическим аппаратом теории планирования эксперимента является теория вероятностей и математическая статистика.

Многомерное факторное пространство — это множество точек, каждая из которых соответствует определенной комбинации факторов. Область возможных комбинаций факторов называется областью возможных (допустимых) планов эксперимента.

Вектор, образуемый выходными параметрами—характеристиками свойств или качеств объекта, называют откликом, а зависимость отклика от рассматриваемых факторов — функцией отклика. Геометрическое представление функции отклика в факторном пространстве называют поверхностью отклика. Функцию отклика называют также целевой функцией, имея в виду, что при планировании эксперимента с целью нахождения оптимальных условий она является критерием оптимальности.

Планирование эксперимента проводится в несколько этапов:

- постановка задачи (определение цели эксперимента, выяснение исходной ситуации, оценка допустимых затрат времени и средств, установление типа задачи);
- сбор априорной информации (получение литературы, опрос специалистов и т.п.);
- выбор способа решения и стратегии его реализации (установление типа модели, выявление возможных влияющих факторов, выявление выходных параметров, выбор целевых функций, создание необходимых нестандартных технических средств, формулировка статистических задач, выбор или разработка алгоритмов программ обработки экспериментальных данных).

1.2.1. Планирование полного факторного эксперимента типа 2^n

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) может быть предложен исследователю как один из способов построения математической модели (идентификации) недетерминированного объекта. Этот способ оказывается наиболее предпочтительным в тех случаях, когда отсутствует априорная информация для обоснования структуры модели процессов, происходящих в объекте, отсутствует количественная оценка степени влияния изучаемых факторов на выходную переменную объекта (критерий оптимальности).

Правила построения матрицы планирования эксперимента и расчетные соотношения для вычисления коэффициентов линейной регрессионной модели подробно описаны в [2].

Полные факторные эксперименты обладают одним значительным недостатком — количество опытов стремительно растет с увеличением числа изучаемых параметров. Такие планы в той или иной степени могут ограничить исследования. Кроме того, количество опытов зачастую прямо пропор-

ционально стоимости эксперимента. Чтобы сократить количество опытов применяют дробные факторные планы.

1.2.2. Планирование дробного факторного эксперимента

Дробным факторным экспериментом называется система экспериментов, представляющих собой часть ПФЭ, позволяющая рассчитывать коэффициенты уравнения регрессии и сократить объем экспериментальных данных. Такие эксперименты обладают меньшей информативностью, но позволяют значительно сократить количество опытов. Метод построения дробных факторных планов подробно описан в [3].

1.2.3. Организация и проведение эксперимента

Любой эксперимент, связанный с измерением величин, сопровождается погрешностями измерений, вносящими элемент неопределенности в результат эксперимента. В связи с этим порядок проведения опытов должен быть выбран таким, чтобы имела возможность оценить случайную ошибку эксперимента и избежать влияния возможных систематических ошибок. Постановка повторных или параллельных опытов полностью не исключает неопределенность, так как они проводятся также с погрешностью воспроизводимости. Эту ошибку и нужно оценить по параллельным опытам. Для этого опыт воспроизводится по возможности в одинаковых условиях несколько раз и затем берется среднее арифметическое результатов всех параллельных опытов.

Сделать случайными мешающие факторы, действие которых может иметь систематический характер, позволяет принцип рандомизации, применяемый при реализации матрицы планирования эксперимента. Рандомизацию опытов можно провести с помощью генератора случайных чисел или таблицы случайных чисел.

Ошибка опыта является суммарной величиной, результатом многих ошибок: ошибок измерений факторов, ошибок измерений параметра оптимизации и др. Все ошибки принято разделять на два класса: систематические и случайные. Каждую из этих ошибок можно, в свою очередь, разделить на составляющие (рисунок 1.2).

Систематические ошибки порождаются причинами, действующими регулярно, в определенном направлении. Чаще всего эти ошибки можно изучить и определить количественно. Если систематические ошибки вызываются внешними условиями (переменной температуры, сырья и т. д.), следует компенсировать их влияние.

Случайные ошибки невозможно предсказать.

Систематические и случайные ошибки состоят из множества элементарных ошибок. Для того, чтобы исключить инструментальные ошибки, следует проверять приборы перед опытом, иногда в течение опыта и обязательно после опыта. Ошибки при проведении самого опыта возникают вследствие неравномерного нагрева реакционной среды, разного способа перемешивания и т.п. При повторении опытов такие ошибки могут вызвать большой разброс экспериментальных результатов.

Очень важно исключить из экспериментальных данных грубые ошибки,

так называемый брак при повторных опытах. Для отброса ошибочных опытов существуют определенные правила. Методика расчета дисперсии воспроизводимости эксперимента и пример расчета описаны в [2].

Если проверка воспроизводимости дала отрицательный результат, то остается признать, что результаты эксперимента получены с большой погрешностью вследствие наличия в объекте источников неоднородности, для выделения которых следует обратиться к приемам дисперсионного анализа. В таких случаях устраняют источник ошибки и повторяют эксперимент.

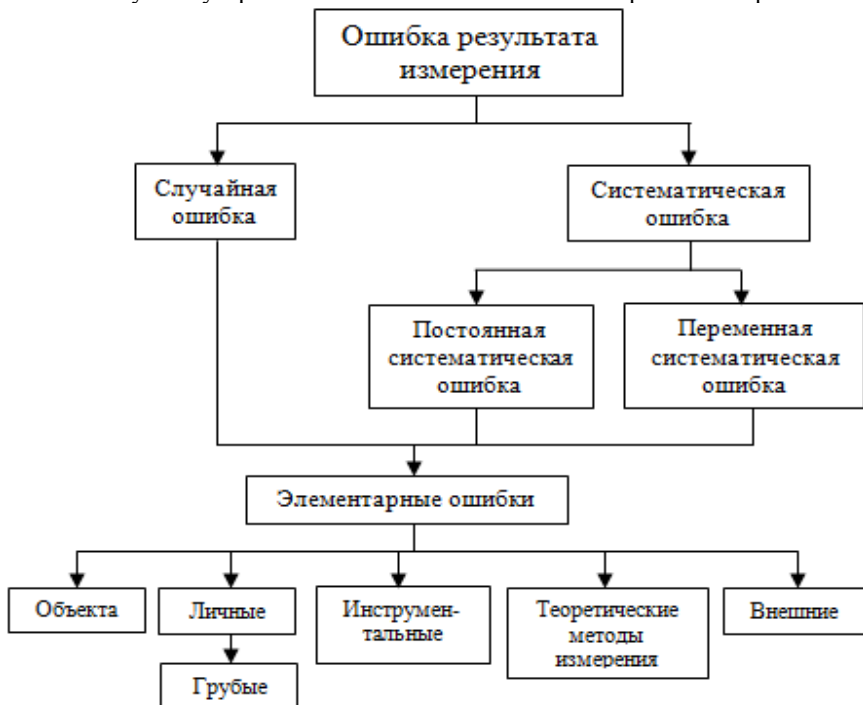


Рисунок 1.2 — Классификация ошибок эксперимента

После проверки воспроизводимости эксперимента можно перейти к определению модели эксперимента в виде уравнений регрессии.

Статистики разработали много разнообразных методов обработки результатов эксперимента. Самым популярным из этих методов является метод наименьших квадратов (МНК) [2].

1.2.4. Планирование и проведение отсеивающего эксперимента

При большом числе факторов возникает необходимость в их сокращении, а именно, выделении наиболее существенных факторов и отсеивании второстепенных. Для этой цели разработаны различные методы. Применение того или иного метода зависит от характера фактора: количественный фактор или качественный. Рассмотрим основные методы, которые позво-

ляют с минимальными затратами выделить из большого числа факторов доминирующие, оказывающие наиболее существенное влияние на значение отклика объекта исследования.

Метод случайного баланса [6] позволяет отсеивать как линейные эффекты, так и их взаимодействия. Для выявления существенных факторов используются планы, где число опытов значительно меньше, чем эффектов, включенных в эксперимент. При этом предлагается брать случайные выборки из ПФЭ. Таким образом, совместные оценки факторов смешанными некоторым случайным образом.

Применение метода основывается на предпосылке, что существенных эффектов мало. Оставшиеся эффекты относятся к «шумовому полю». Для построения матрицы планирования все факторы разбиваются на группы. Для каждой группы строится матрица планирования, соответствующая ПФЭ, в котором перебираются все возможные комбинации уровней в группе.

Полученный материал обрабатывается в несколько этапов с помощью диаграмм рассеивания.

На первом этапе диаграмма рассеивания строится для каждого фактора. Слева располагаются все значения выходного параметра тех опытов, где данный фактор находился на нижнем уровне, справа – на верхнем. Таким образом, против каждого фактора будет находиться N точек, соответствующих N результатам экспериментов. При анализе диаграммы каждый фактор рассматривается вне зависимости от других.

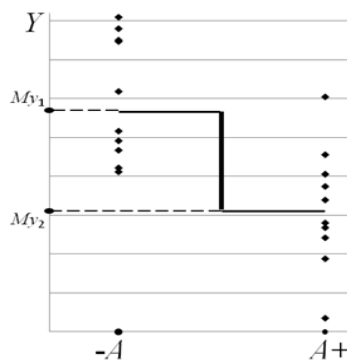


Рисунок 1.3. — Диаграмма рассеивания фактора А

В результате имеем две группы опытов, где анализируемый фактор зафиксирован на определенном уровне, а остальные факторы изменяются случайным образом (рисунок 1.3).

Если фактор влияет на выходной параметр y , то при переходе с одного уровня на другой произойдет смещение центра распределения y на величину $\beta_i = (M_y)_1 - (M_y)_2$, где $(M_y)_1$ и $(M_y)_2$, соответственно центры распределения y при значениях фактора x_i на разных уровнях. Величину β_i называют вкладом фактора x_i . Вклад оценивают с помощью разницы медиан для нижнего и верхнего уровней.

Процесс выявления существенных факторов прекращается тогда, когда на очередной диаграмме рассеивания все вклады оказываются примерно одного порядка и незначительны по величине.

1.2.5. Обработка результатов эксперимента

После того, как на основе МНК построена линейная регрессионная модель, необходимо установить, являются ли значимыми (отличными от 0) коэффициенты модели, а также является ли построенная модель адекватной полученным экспериментальным данным, то есть провести регрессионный анализ построенной модели.

Регрессионный анализ основан на проверке статистических гипотез, и, как всякий статистический метод, применим при определенных предположениях, постулатах.

Первый постулат. Отклик объекта исследования y есть случайная величина с нормальным законом распределения. Дисперсия воспроизводимости — одна из характеристик этого закона распределения.

В данном случае, как и по отношению к любым другим постулатам, нас интересуют два вопроса: как проверить его выполнимость и к чему приводят его нарушения?

При наличии большого экспериментального материала (десятки параллельных опытов) гипотезу о нормальном распределении можно проверить стандартными статистическими тестами (например, на основе χ^2 – критерия).

Второй постулат. Дисперсия отклика y не зависит от абсолютной величины y . Выполнимость этого постулата проверяется с помощью критериев однородности дисперсий в разных точках факторного пространства. Нарушение этого постулата недопустимо.

Всегда существует такое преобразование y , которое делает дисперсии однородными, но его не всегда легко найти. Довольно часто помогает логарифмическое преобразование, с которого обычно начинают поиски.

Третий постулат. Значения факторов суть неслучайные величины. Это означает, что возможность установить каждый фактор на заданный уровень и поддерживать его значение во время эксперимента существенно точнее, чем ошибка воспроизводимости.

Нарушение этого постулата приводит к трудностям при реализации матрицы планирования. Поэтому оно обычно легко обнаруживается экспериментатором.

Проверка значимости коэффициентов регрессионной модели проводится независимо друг от друга на основании t –критерия Стьюдента, а адекватность модели проверяется на основании F –критерия Фишера. Методика проверки этих гипотез подробно описана в [2] — [4].

1.2.6. Принятие решений после построения модели процесса

Принимаемые решения зависят от числа факторов, подробности плана, цели исследования (достижение оптимума, построение интерполяционной формулы) и т.д. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся случаи и выделим

«типичные» решения. Ситуации будем различать по адекватности и неадекватности модели, значимости и незначимости коэффициентов регрессии в модели, информации о положении оптимума.

Установлено, что линейная **модель адекватна**. Здесь возможны следующие варианты.

1. Все коэффициенты регрессии значимы.

Если область оптимума близка, возможны три решения: окончание исследования, переход к планам второго порядка [4] и движение по градиенту [5]. Переход к планированию второго порядка дает возможность получить математическое описание области оптимума и найти экстремум.

Движение по градиенту используется при малой ошибке опыта, поскольку на фоне большой ошибки трудно установить приращение параметра оптимизации.

2. Часть коэффициентов регрессии значима, часть незначима.

Движение по градиенту наиболее эффективно, если коэффициенты значимы. Поэтому выбираются решения, реализация которых приводит к получению значимых коэффициентов. На этом этапе важно выдвинуть гипотезы, объясняющие незначимость эффектов. Это может быть и неудачный выбор интервалов варьирования, и включение (из осторожности) факторов, не влияющих на параметр оптимизации, и большая ошибка опыта, и т.д. Решение зависит от того, какая гипотеза предпочтительней.

Если область оптимума близка, то возможно принятие таких же решений, как и в случае значимости всех коэффициентов регрессии.

3. Все коэффициенты регрессии незначимы.

Линейная модель адекватна, все коэффициенты регрессии незначимы (кроме b_0). Чаще всего это происходит вследствие большой ошибки эксперимента или узких интервалов варьирования. Поэтому возможные решения направлены, прежде всего, на увеличение точности эксперимента и расширение интервалов варьирования. Увеличение точности может достигаться двумя путями: благодаря улучшению методики проведения опытов или вследствие постановки параллельных опытов.

Если область оптимума близка, то возможно также окончание исследования.

Если линейная **модель неадекватна**, это означает, что не удастся аппроксимировать поверхность отклика плоскостью.

Для неадекватной модели не делают различия между случаями значимых и незначимых линейных коэффициентов регрессии, поскольку решения для них обычно совпадают.

Решения, принимаемые для получения адекватной модели — это: изменение интервалов варьирования факторов, перенос центра плана, доработка плана.

Наиболее распространенный прием — изменение интервалов варьирования. Он, конечно, требует постановки новой серии опытов и, соответственно дополнительных затрат.

Существует еще одно решение: включение в модель эффектов взаимодействия и движение с помощью неполного полинома второго порядка. Этот прием связан с получением и анализом уравнений второго порядка. Направление градиента будет меняться от точки к точке.

Если область оптимума близка, то возможны варианты окончания исследования и перехода к построению плана второго порядка.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Для выполнения работы предложена концептуальная модель СМО неоднородной структуры с заданными параметрами. Предметная область моделирования определяется индивидуальным вариантом.

Цель моделирования — сбор статистики и проведение имитационных экспериментов для определения закономерности изменения отклика СМО.

В рамках выполнения курсового проекта необходимо:

- представить моделируемую СМО в виде Q-схемы;
- разработать модель СМО в среде Anylogic [5];
- разработать план отсеивающего эксперимента для выявления существенных факторов моделируемой системы согласно индивидуальному заданию;
- разработать полный факторный эксперимент 2^n ;
- в случае большого числа существенных факторов ($m > 3$) разработать дробный факторный эксперимент;
- по результатам эксперимента построить регрессионную модель и провести регрессионный анализ и интерпретировать его результаты.

Варианты для выполнения проекта приведены в Приложении А. Номер варианта выбирается:

- для студентов ОФО в соответствии с номером в списке группы.
- для студентов ЗФО номер варианта равен остатку от деления двух последних цифр номера зачетной книжки на 30; При делении без остатка выбрать вариант № 30.

3. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. Постановка задачи.
2. Разработка имитационной модели СМО.
3. Целенаправленные эксперименты с моделью.
4. Анализ результатов экспериментов с моделью и выводы.

4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

В качестве примера выполнения задания использованы фрагменты курсовых работы магистрантов Лисецкого В.Г. и Селькина А.А. (2014 год).

4.1. Постановка задачи

Требуется исследовать работу компьютерной системы, состоящей из трёх персональных компьютеров (ПК) и трёх источников заявок.

Описание исследуемой системы: вычислительная система включает три ПК. В систему в среднем через 30 с поступают задания, которые попадают в очередь на обработку к первому ПК, где они обрабатываются около 30 с. После этого задание поступает одновременно во второй и третий ПК. Вторым ПК может обработать задание за 14 ± 5 с, а третий за 16 ± 1 с. Окончание обработки задания на любом ПК означает снятие ее с решения с той и другой машины. В свободное время второй и третий ПК заняты обработкой фоновых задач.

Задание на исследование: смоделировать 4 ч работы системы. Определить необходимую емкость накопителей перед всеми ПК, коэффициенты загрузки ПК и функцию распределения времени обслуживания заданий. Определить производительность второго и третьего ПК на решении фоновых задач при условии, что одна фоновая задача решается 2 мин.

4.2. Математическая схема вычислительной системы

В качестве критерия оценки эффективности работы системы выбраны следующие параметры: коэффициенты загрузки ПК, емкость накопителей перед всеми ПК, производительность второго и третьего ПК при решении фоновых задач. Независимые переменные модели:

- интенсивность поступления задач;
- время выполнения одной задачи на ПК;
- емкость накопителей перед всеми ПК.

Зависимые переменные модели:

- загрузка ПК;
- время ожидания заявки в очереди;
- время пребывания заявки в системе;
- количество обслуженных заявок за время моделирования;
- количество обслуженных фоновых заявок.

При построении модели процессов функционирования вычислительной системы использован непрерывно-стохастический подход на примере типовой Q-схемы (рисунок 4.1). Накопитель H_1 задан условием. Поскольку каналы K_2 и K_3 во время простоя начинают выполнять фоновые задачи, которые не могут быть прерваны, добавляются накопители H_2 и H_3 , чтобы заявки на входах этих каналов не были утеряны.

Формальное описание Q-схемы представлено следующим образом: $Q = \{W, U, G, Z\}$, где W — экспоненциальное распределение со средним $\lambda = 1/30 \text{ с}^{-1}$; U — множество времен обслуживания $\{u_1 = 30 \text{ с}; u_2 = 14 \pm 5 \text{ с}, u_3 = 16 \pm 1 \text{ с}, u_4 = u_5 = 120 \text{ с}\}$; $G = \{L_\phi = 2, L_{K1} = 1, L_{K2} = 2, L_{H1} = 1, L_{H2} = 2\}$;

$Z = \{\text{процессы поступления заявок в систему, очередь, обслуживание, выход}\}.$

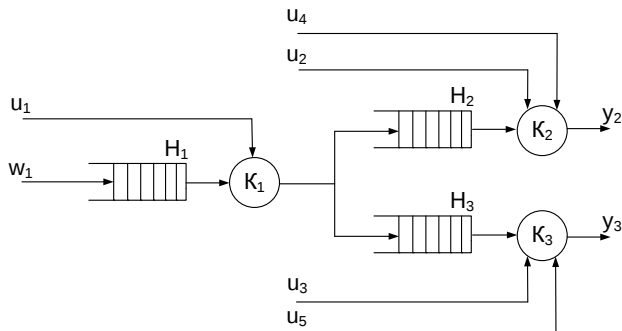


Рисунок 4.1 — Q-схема компьютерной системы: H — накопитель; K — канал обслуживания (ПК), w_1 —входной поток заявок, u_1 , u_2 , u_3 — времена обработки стандартных заявок на K_2 и K_3 , u_4 , u_5 — времена обработки фоновых задач.

Формализовав процесс функционирования исследуемой системы в абстракциях Q-схемы, на втором этапе алгоритмизации модели и ее машинной реализации, согласно постановки задачи, реализована модель в среде AnyLogic с использованием встроенного языка имитационного моделирования.

4.3. Имитационная модель вычислительной системы

Модель исследуемой системы в среде AnyLogic представлена на рисунке 4.2.

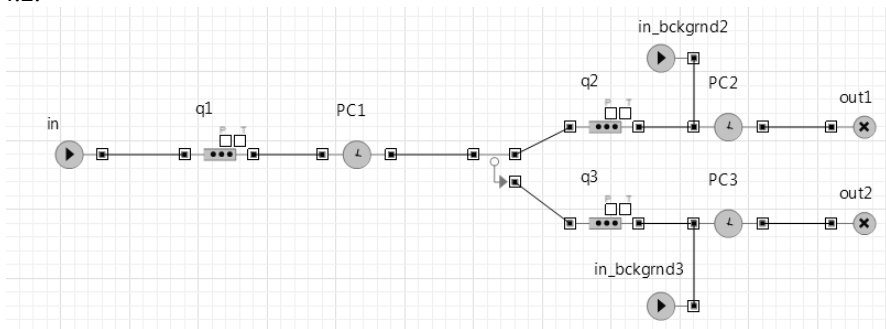


Рисунок 4.2 — Модель исследуемой системы в среде AnyLogic

Концептуальное описание имитационной модели с привязкой к программной среде. Заявки стандартного типа поступают в систему от источни-

ка *in*. От источников *in_bckgrund2* и *in_bckgrund3* поступают фоновые задачи в момент, когда *PC2* и *PC3* соответственно не заняты обработкой стандартных задач. Переменная *is_bckgrund2* отображает, является ли поступившая заявка фоновой.

Далее стандартные заявки приходят в блок *q1* — становятся в очередь, если обслуживающее устройство (*PC1*) занято. Затем заявки приходят в блок *PC1*, где имитируется их обслуживание, после чего они дублируются и поступают в очереди *q2* и *q3* одновременно к двум ПК (*PC2* и *PC3*), где ожидают, пока соответствующее устройство не освободится либо копия заявки не будет обслужена на другом ПК. В этом случае заявка удаляется из системы. Также заявка удаляется во время обслуживания, если она до окончания обслуживания была обработана на параллельном ПК.

Прошедшие обработку заявки поступают в блоки *out1* и *out2*, имитирующие процесс удаления (выхода) из системы. То же происходит с фоновыми задачами, обработанными на *PC2* или *PC3*.

Описание основных структурных блоков модели.

Блоки *in*, *in_bckgrund2*, *in_bckgrund3* являются источниками заявок. В качестве заявок выступают объекты класса *Inq*, который унаследован от класса *Entity*. Согласно постановке задачи, время между прибытиями заявок распределено по нормальному закону со средним 30 с — параметр *in_mean*.

При выходе заявки из блока *in* определяется ее порядковый номер, который записывается в переменную *in_count*.

По условию фоновые задачи обслуживаются только тогда, когда ПК простаивают. Поэтому вызов фоновых задач из блоков *in_bckgrund2* и *in_bckgrund3* происходит по методу *inject()*. При этом при выходе из блоков задается тип заявки и время задержки при обработке. Свойства блоков *in* и *in_bckgrund2* приведены на рисунке 4.3. Свойства блока *in_bckgrund3* идентичны свойствам *in_bckgrund2*.

The image shows two side-by-side windows from a simulation software interface, displaying the configuration for two different source blocks.

Left Window: in - Source

- Имя:** in (with a checked box "Отображать имя")
- Исключить:** (unchecked)
- Тип заявки:** Inquiry
- Прибытие согласно:** [dropdown menu]
- Время между прибытиями:** normal(1, in_mean)
- За 1 раз создается несколько заявок:** (unchecked)
- Ограниченное кол-во прибытий:** (unchecked)
- Новая заявка:** Inquiry (with a note: "чтобы создать другой тип, добавьте его из палитры")
- Местоположение прибытия:** Не задано
- Специфические Действия:**
 - До прибытия: [empty field]
 - При подходе к выходу: [empty field]
 - При выходе: entity.id = (int)in.count();
 - При извлечении: [empty field]

Right Window: in_bckgrund2 - Source

- Имя:** in_bckgrund2 (with a checked box "Отображать имя")
- Исключить:** (unchecked)
- Тип заявки:** Inquiry
- Прибытие согласно:** Вызовом функции inject()
- Новая заявка:** Inquiry (with a note: "чтобы создать другой тип, добавьте его из палитры")
- Местоположение прибытия:** Не задано
- Специфические Действия:**
 - При подходе к выходу: [empty field]
 - При выходе: entity.is_bckgrund = true; entity.id = -1; entity.delay = 120;
 - При извлечении: [empty field]

Рисунок 4.3 — Свойства блоков *in* и *in_bckgrund2*

Блоки *PC1*, *PC2*, *PC3* моделируют обработку задач на ПК. При входе в каждый из них в параметр заявки *in_time* записывается время входа, а при выходе — рассчитываются статистические данные.

Время обработки на *PC1* определено условием задачи и равно в среднем 30 с — параметр *PC1_mean*. Время обработки на *PC2* и *PC3* определяется параметром заявки *delay*. Кроме того, при выходе из блоков *PC2* и *PC3* производятся следующие действия:

- проверяется наличие копии заявки (определяется по порядковому номеру) и при нахождении копия удаляется из системы, если заявка — не фоновая задача;

- если копия не была удалена из параллельного ПК, то проверяется её наличие в очереди к этому ПК и при нахождении копия удаляется из системы;

- проверяется наличие заявок в очереди перед обоими ПК и если очереди пусты, то вызывается метод *inject()* для соответствующего источника заявок.

Фрагменты описания свойств блоков, имитирующих работу ПК приведен на рисунках 4.4 — 4.5.

Рисунок 4.4 — Свойства блока, имитирующего работу устройства *PC1*

Блоки *q1*, *q2*, *q3* моделируют работу очереди перед каждым ПК. Кроме того в блоках *q2* и *q3* задается время обработки заявок на *PC2* и *PC3* соответственно.

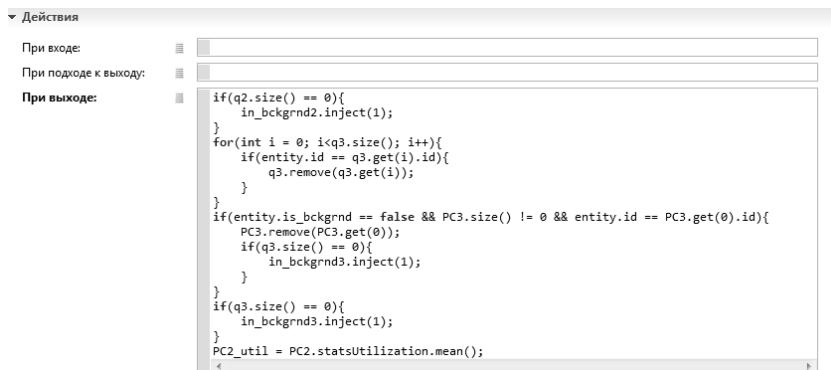


Рисунок 4.5 — Фрагмент описания раздела «Действия» для блока PC2

Блок *split* используется для создания копии заявки, чтобы её обработка могла вестись сразу на двух ПК.

Блоки *out1*, *out2* выводит заявки из системы, подсчитывая при этом число обработанных фоновых задач.

Сбор статистики выводится в область параметров, фрагмент которой представлен на рисунке 4.6.

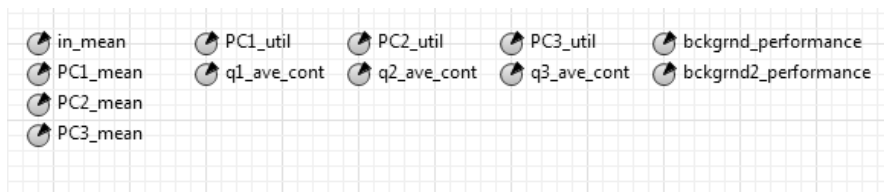


Рисунок 4.6 — Область параметров

Собранная статистика также сохраняется в файл Excel. Фрагмент кода сохранения из класса эксперимента:

```

for(int j=1; j<9; j++){
    root.ex.createCell(1,getCurrentReplication()+1,j);
    root.ex.setCellValue(root.PC1_util,1,getCurrentReplication()+1,1);
    root.ex.setCellValue(root.PC2_util,1,getCurrentReplication()+1,2);
    root.ex.setCellValue(root.PC3_util,1,getCurrentReplication()+1,3);
    root.ex.setCellValue(root.q1_ave_cont,1,getCurrentReplication()+1,4);
    root.ex.setCellValue(root.q2_ave_cont,1,getCurrentReplication()+1,5);
    root.ex.setCellValue(root.q3_ave_cont,1,getCurrentReplication()+1,6);
    root.ex.setCellValue(root.bckgrnd_performance,1,getCurrentReplication()+1,7);
    root.ex.setCellValue(root.bckgrnd2_performance,1,getCurrentReplication()+1,8);
}

```

В таблице 4.1 представлены сводные данные, полученные в результате моделирования компьютерной системы в течении 4 часов.

Таблица 4.1 — Результаты имитационного моделирования

Исследуемый параметр	Значение
Коэффициент загрузки ПК1	0,9967
Коэффициент загрузки ПК2	0,9111
Коэффициент загрузки ПК3	0,9258
Емкость накопителя q1	3
Емкость накопителя q2	5
Емкость накопителя q3	5
Производительность ПК2 при решении фоновых задач	71
Производительность ПК3 при решении фоновых задач	78

Кроме того, в результате имитационных экспериментов установлено, что с увеличением интенсивности поступления заданий в систему средняя емкость накопителя перед компьютером PC1 резко возрастает. В связи с этим является целесообразным установить влияние факторов системы на значение емкости данного накопителя. Решение этой задачи можно получить, построив регрессионную модель на основе ПФЭ.

4.4. Исследование влияния факторов компьютерной системы на емкость накопителя к персональному компьютеру PC1.

Закономерность изменения значения емкости накопителя q_1 будем определять на основе модели

$$q_1 = f(t_{\text{вх}}, t_1, t_2, t_3), \quad (4.1)$$

где $t_{\text{вх}}$ — среднее время поступления заданий в систему; t_1 — среднее время обработки заданий компьютером PC1; t_2 — среднее время обработки заданий компьютером PC2; t_3 — среднее время обработки заданий компьютером PC3. Функцию $f(t_{\text{вх}}, t_1, t_2, t_3)$ будем искать в виде линейной модели (2.1) из [2].

В таблице 4.2 приведены значения возможных уровней каждого их факторов.

Таблица 4.2 — Возможные уровни факторов компьютерной системы.

Характеристика плана	Натуральный масштаб			
	$t_{\text{вх}}, \text{с}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$
Нулевой уровень	30	30	14	16
Верхний уровень (+)	33	33	15,4	17,6
Нижний уровень (-)	27	27	12,6	14,4

Целесообразно установить влияние каждого рассматриваемого фактора на значение отклика и выбрать из этих факторов наиболее существенные.

4.5. Организация и проведение отсеивающего эксперимента

С целью сокращения числа факторов проведен отсеивающий эксперимент. Для этого исследовалось влияние каждого из факторов на отклик системы.

Имитационный эксперимент проведен при следующих условиях. Значение каждого из факторов устанавливалось на нижний и верхний уровни последовательно. При этом все остальные факторы принимали значение нулевого уровня. В таблице 4.3 показаны порядковые номера соответствующих экспериментов.

Для каждого эксперимента проведены 10 прогонов с различными корневыми значениями генераторов случайных чисел. Медианные значения откликов для каждого эксперимента представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 — Результаты отсеивающего эксперимента

Отклик	Факторы							
	А		В		С		D	
	$t_{\text{вх}}^-$	$t_{\text{вх}}^+$	t_1^-	t_1^+	t_2^-	t_2^+	t_3^-	t_3^+
q_1	26,735	0,000	21,328	0,000	0,55	0,413	0,618	0,556

По данным, представленным в таблице 4.3, можно заметить, что наиболее существенный вклад в значение отклика вносят факторы $t_{\text{вх}}$ — среднее время поступления заданий в систему и t_1 — среднее время обработки заданий компьютером PC1.

Результаты отсеивающего эксперимента можно наглядно представить на точностной диаграмме (рисунок 4.7). Для каждого из факторов представлены изменения их медианных значений при смене уровней факторов.

Таким образом, можно сделать вывод, что времена обработки заданий 2-м и 3-и компьютером практически не влияют на значение емкости накопителя на входе компьютерной системы и их можно исключить из модели (4.1).

4.6. Организация и проведение полного факторного эксперимента

Требуется исследовать влияние факторов (среднего времени поступления заданий в систему $t_{\text{вх}}$ и среднего времени обработки заданий компьютером PC1 t_1) в заданной компьютерной системе на значение емкости накопителя $q_1=f(t_{\text{вх}}, t_1)$. Средние значения факторов: $t_{\text{вх}}=30\text{с}$, $t_1=30\text{с}$. Функцию $f(t_{\text{вх}}, t_1)$ будем искать в виде линейной модели (2.1) в [2].



Рисунок 4.7 — Влияние факторов на значение емкости накопителя.

Интервал варьирования для обоих факторов выбран равным 3σ . Для стандартизации масштабов факторов вычислим значения нижнего и верхнего уровня согласно соотношению (2.2) в [2] и сведем результаты в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 — Условия проведения ПФЭ

Характеристика плана	Стандартный масштаб x_i	Натуральный масштаб	
		$x_1 = t_{\text{вх}}, \text{ с}$	$x_2 = t_1, \text{ с}$
Нулевой уровень	0	30	30
Верхний уровень	+1	33	33
Нижний уровень	-1	27	27

Составим матрицу эксперимента с учетом рандомизации опытов. В таблице 4.5 представлены результаты параллельных опытов и вычислены среднее значение отклика и дисперсия для каждой точки факторного пространства соответственно соотношениям (2.3) и (2.4) в [2].

Таблица 4.5 — Результаты эксперимента

№ эксп.	x_0	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	$y_{\text{ср}}$	s_{yi}^2
1	1	-1	-1	0,47	0,76	0,57	0,6	0,022
2	1	1	-1	47,28	47,69	47,91	47,63	0,102
3	1	-1	1	0	0	0	0	0
4	1	1	1	0,73	0,37	0,28	0,46	0,058

Проведем анализ воспроизводимости опыта на основе критерия Кохрена в соответствии с (2.5) в [2]: $G_{расч}=0,566$, табличное значение критерия определяем при уровне значимости $\alpha=0,05$ и степенях свободы $\gamma_1=3-1=2$, $\gamma_2=N=4$, получаем $G_{табл}(\alpha;\gamma_1;\gamma_2)=0,768$. Так как $G_{расч} < G_{табл}$, опыт является воспроизводимым, и его результаты можно использовать для оценки коэффициентов регрессионного уравнения.

В соответствии с расчетным соотношением (2.6) в [2] можно определить коэффициенты регрессионной модели. Для анализа значимости коэффициентов необходимо вычислить погрешности определения коэффициентов модели и расчетное значение t -критерия Стьюдента на основании соотношений (2.7)-(2.9) в [2]. Результаты расчетов в таблице 4.6.

Для принятия решения о значимости коэффициентов уравнения регрессии расчетное значение критерия Стьюдента $t_{расч}$ сравнивается с табличным значением. Табличное значений критерия Стьюдента $t_{табл}$ выбирается при уровне значимости $\alpha=0,05$ и степени свободы $\gamma=N(m-1)=8$, $t_{табл}=2,3$. Неравенство $t_{расч} > t_{табл}$ выполняется для всех коэффициентов ММ, поэтому они все считаются значимыми и включаются в модель.

Таблица 4.6. — Результаты анализа значимости коэффициентов.

	b_0	b_1	b_2	b_{12}
коэффициенты регрессионной модели	12,171	11,871	-11,9438	-11,642
погрешности определения коэффициентов	0,061435	0,061435	0,061435	0,061435
$t_{расч}$	198,1186	194,396	193,2189	189,4963
ВЫВОД	ЗН	ЗН	ЗН	ЗН

Проверка адекватности построенной модели выполняется в соответствии с критерием Фишера (2.11) в [2]. Согласно выражению (2.9) в [2] дисперсия воспроизводимости равна $s^2_{воспр}=0,045$, остаточная дисперсия в соответствии с (2.10) в [2] $s^2_{ост}=0,000$. Поскольку остаточная дисперсия на порядки меньше дисперсии воспроизводимости построенная модель считается адекватной.

Переход от кодированных значений факторов к натуральному исчислению осуществляется в соответствии с выражением (2.2) в [2] и условиями проведения эксперимента в таблице 4.4:

$$q_1 = -1153,16 + 42,8t_{ex} + 34,9t_1 - 1,294 t_{ex} t_1 \quad (4.2)$$

Таким образом, выражение (4.2) представляет характер изменения средней емкости накопителя перед компьютером PC1 системы в области измене-

ния среднего времени поступления заданий в систему $27 \leq t_{gx} \leq 30$ с и среднее время обработки заданий компьютером PC1 $27 \leq t_1 \leq 30$ с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Томашевский В.М. Моделирование систем / В.М. Томашевский. — Киев: Издательская группа ВНУ, 2005. — 352 с.
2. Балакирева И.А., Скатков А.В. Методические указания для выполнения лабораторной работы на тему «Исследование характера изменения реакции технических систем на основе полного факторного эксперимента» по дисциплине «Теория систем» для магистров очной и заочной форм обучения по направлению 09.04.01 — «Информатика и вычислительная техника» / Сост.: И.А. Балакирева, А.В. Скатков — Севастополь: СевГУ, 2016. — 20 с.
3. Балакирева И.А., Скатков А.В. Методические указания для выполнения лабораторной работы на тему «Исследование характера изменения реакции технических систем на основе дробного факторного эксперимента» по дисциплине «Теория систем» для магистров очной и заочной форм обучения по направлению 09.04.01 — «Информатика и вычислительная техника» / Сост.: И.А. Балакирева, А.В. Скатков. — Севастополь: СевГУ, 2016. — 16 с.
4. Балакирева И.А., Скатков А.В. Методические указания для выполнения лабораторной работы на тему «Исследование характеристик технических систем на основе центрального композиционного планирования эксперимента» по дисциплине «Теория систем» для магистров очной и заочной форм обучения по направлению 09.04.01 — «Информатика и вычислительная техника» / Сост.: И.А. Балакирева, А.В. Скатков — Севастополь: СевГУ, 2016. — 36 с.
5. Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в Anylogic7.: — СПб.: ВАС, 2014. — 432 с.
6. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. Учебное пособие для магистров/ Н.И. Сидняев — М.: Юрайт-Издат, ООО, 2012. — 399с.
7. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 343 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Задание 1. На регулировочный участок цеха через случайные интервалы времени поступают по два агрегата в среднем через каждые 30 мин. Первичная регулировка осуществляется для двух агрегатов одновременно и занимает около 30 мин. Если в момент прихода агрегатов предыдущая партия не была обработана, поступившие агрегаты на регулировку не принимаются. Агрегаты после первичной регулировки и получившие отказ, поступают в промежуточный накопитель. Агрегаты, прошедшие первичную регулировку, поступают из накопителя попарно на вторичную регулировку. Вторичная регулировка выполняется в среднем за 30 мин. Агрегаты, не прошедшие первичную регулировку поступают на полную, которая занимает 100 мин для одного агрегата. Все величины, заданные средними значениями, распределены экспоненциально

Смоделировать работу участка в течение 100 ч. Определить вероятность отказа в первичной регулировке и загрузку накопителя агрегатами, нуждающимися в полной регулировке. Определить параметры и ввести в систему накопитель, обеспечивающий безотказное обслуживание поступающих агрегатов.

Задание 2. Система передачи данных обеспечивает передачу пакетов данных из пункта А в пункт С через транзитный пункт В. В пункт А пакеты поступают через 10 ± 5 мс. Здесь они буферизуются в накопителе емкостью 20 пакетов и передаются по любой из двух линий АВ1— за время 20 мс или АВ2 — за время 20 ± 5 мс. В пункте В они снова буферизуются в накопителе емкостью 25 пакетов и далее передаются по линиях ВС1 (за 25 ± 3 мс) и ВС2 (за 25 мс). Причем пакеты из АВ1 поступают в ВС1, а из АВ2 — в ВС2. Чтобы не было переполнения накопителя, в пункте В вводится пороговое значение его емкости — 20 пакетов. При достижении очередью порогового значения происходит подключение резервной аппаратуры и время передачи снижается для линий ВС1 и ВС2 до 15 мс.

Смоделировать прохождение через систему передачи данных 500 пакетов. Определить вероятность подключения резервной аппаратуры и характеристики очереди пакетов в пункте В. В случае возможности его переполнения определить необходимое для нормальной работы пороговое значение емкости накопителя.

Задание 3. Система обработки информации содержит мультиплексный канал и три вычислительных блока. Сигналы от датчиков поступают на вход канала через интервалы времени 10 ± 5 мкс. В канале они буферизуются и предварительно обрабатываются в течение 10 ± 3 мкс. Затем они поступают на обработку в тот вычислительный блок, на входе которого имеется наименьшая по длине очередь. Емкости входных накопителей во всех вычислительных блоках рассчитаны на хранение величин 10 сигналов. Время обработки сигнала в любом вычислительном блоке равно 33 мкс.

Смоделировать процесс обработки 500 сигналов, поступающих с датчиков. Определить средние времена задержки сигналов в канале и вычислительных блоках и вероятности переполнения входных накопителей. Обеспечить ускорение обработки сигнала в вычислительном блоке до 25 мкс при достижении суммарной очереди сигналов значения 25 единиц.

Задание 4. В узел коммутации сообщений, состоящий из входного буфера, процессора, двух исходящих буферов и двух выходных линий, поступают сообщения с двух направлений. Сообщения с одного направления поступают во входной буфер, обрабатываются в процессоре, буферизуются в выходном буфере первой линии и передаются по выходной линии. Сообщения со второго направления обрабатываются аналогично, но передаются по второй выходной линии. Применяемый метод контроля потоков требует одновременного присутствия в системе не более трех сообщений на каждом направлении. Сообщения поступают через интервалы 15 ± 7 мс. Время обработки в процессоре равно 7 мс на сообщение, время передачи по выходной линии равно 15 ± 5 мс. Если сообщение поступает при наличии трех сообщений в направлении, то оно получает отказ.

Смоделировать работу узла коммутации в течение 10 с. Определить загрузки устройств и вероятность отказа в обслуживании из-за переполнения буфера направления. Определить изменения в функции распределения времени передачи при снятии ограничений, вносимых методом контроля потоков.

Задание 5. Магистраль передачи данных состоит из двух каналов (основного и резервной) и общего накопителя. При нормальной работе сообщения передаются по основному каналу за 7 ± 3 с. В основном канале происходят сбои через интервалы времени 200 ± 35 с. Если сбой происходит во время передачи, то через 2 с подключается канал, который передает прерванное сообщение с самого начала. Восстановление основного канала занимает 23 ± 7 с. После восстановления резервный канал выключается и основной канал продолжает работу с очередного сообщения. Сообщения поступают через 9 ± 4 с и остаются в накопителе до окончания передачи. В случае сбоя передаваемое сообщение передается повторно по резервному каналу.

Смоделировать работу магистрали передачи данных в течение 1 ч. Определить загрузку резервного канала, частоту отказов основного канала и число прерванных сообщений. Определить функцию распределения времени передачи сообщений по магистрали.

Задание 6. На комплектовочный конвейер сборочного цеха каждые 5 ± 1 мин поступают 5 изделий первого типа и каждые 20 ± 7 мин поступают 20 изделий второго типа. Конвейер состоит из секций, вмещающих по 10 изделий каждого типа. Комплектация начинается только при наличии деталей обоих типов в требуемом количестве и длится 10 мин. При нехватке деталей секция

конвейера остается пустой.

Смоделировать работу конвейера сборочного цеха в течение 8 ч. Определить вероятность пропуска секции, средние и максимальные очереди по каждому типу изделий. Определить экономическую целесообразность перехода на секции по 15 изделий со временем комплектации 15 мин.

Задание 7. В системе передачи данных осуществляется обмен пакетами данных между пунктами А и В по дуплексному каналу связи. Пакеты поступают в пункты системы от абонентов с интервалами времени между ними 10 ± 3 мс. Передача пакета занимает 10 мс. В пунктах имеются буферные регистры, которые могут хранить два пакета (включая передаваемый). В случае прихода пакета в момент занятости регистров пунктам системы предоставляется выход на спутниковую полудуплексную линию связи, которая осуществляет передачу пакетов данных за 10 ± 5 мс. При занятости спутниковой линии пакет получает отказ.

Смоделировать обмен информацией в системе передачи данных в течение 1 мин. Определить частоту вызовов спутниковой линии и ее загрузку. В случае возможности отказов определить необходимый для безотказной работы системы объем буферных регистров.

Задание 8. Специализированная вычислительная система состоит из трех процессоров и общей оперативной памяти. Задания, поступающие на обработку через интервалы времени 5 ± 2 мин, занимают объем оперативной памяти размером в страницу. После трансляции первым процессором в течение 5 ± 1 мин их объем увеличивается до двух страниц и они поступают в оперативную память. Затем после редактирования во втором процессоре, которое занимает $2,5 \pm 0,5$ мин на страницу, объем возрастает до трех страниц. Отредактированные задания через оперативную память поступают в третий процессор на решение, требующее $1,5 \pm 0,4$ мин на страницу, и покидают систему, минуя оперативную память.

Смоделировать работу вычислительной системы в течение 50 ч. Определить характеристики занятия оперативной памяти по всем трем видам заданий.

Задание 9. На вычислительном центре в обработку принимаются три класса заданий А, В и С. Исходя из наличия оперативной памяти компьютера задания классов А и В могут решаться одновременно, а задания класса С монополизируют компьютер. Задания класса А поступают через 20 ± 5 мин, класса В — через 20 ± 10 мин и класса С — через 30 ± 10 мин и требуют для выполнения: класс А — 20 ± 5 мин, класс В — 21 мин и класс С — 28 ± 5 мин. Задачи класса С загружаются в компьютер, если он полностью свободен. Задачи классов А и В могут быть дозагружены к решающейся задаче.

Смоделировать работу компьютера за 80 ч. Определить его загрузку.

Задание 10. В лаборатории имеется два компьютера и один сканер. Специалисты приходят с интервалом в 8 ± 2 мин и треть из них для организации электронного документооборота используют сканер и компьютер, а остальные только компьютер. Допустимая очередь в лаборатории составляет четыре человека, включая специалиста, сканирующего документы. Сканирование пакета документов занимает 8 ± 1 мин, а компьютерный набор — 17 мин. Кроме того, 20% работавших на компьютере возвращается для повторного использования и сканера и компьютера.

Смоделировать работу лаборатории в течение 60 ч. Определить загрузку сканера, компьютеров и вероятности отказа в обслуживании вследствие переполнения очереди. Определить соотношение в очереди, желающих работать обрабатывать документы на компьютерах и на сканере.

Задание 11. К компьютеру подключено четыре терминала, с которых осуществляется решение задач. По команде с терминала выполняются операции редактирования, трансляции, планирования и решения. Причем, если хоть один терминал выполняет планирование, остальные вынуждены простаивать из-за нехватки оперативной памяти. Если два терминала выдают требование на решение, то оставшиеся два простаивают, и если работают три терминала, выдающих задания на трансляцию, то оставшийся терминал блокируется. Интенсивности поступления задач различных типов равны. Задачи одного типа от одного терминала поступают через экспоненциально распределенные интервалы времени со средним значением 160 с. Выполнение любой операции длится 10 с.

Смоделировать работу компьютера в течение 4 ч. Определить загрузку процессора, вероятности простоя терминалов и частоту одновременного выполнения трансляции с трех терминалов.

Задание 12. В системе передачи цифровой информации передается речь в цифровом виде. Речевые пакеты передаются через два транзитных канала, буферизуясь в накопителях перед каждым каналом. Время передачи пакета, по каналу составляет 5 мс. Пакеты поступают через 6 ± 3 мс. Пакеты, передававшиеся более 10 мс, на выходе системы уничтожаются, так как их появление в декодере значительно снизит качество передаваемой речи. Уничтожение более 30% пакетов недопустимо. При достижении такого уровня система за счет ресурсов ускоряет передачу до 4 мс на канал. При снижении уровня отказов до приемлемого происходит отключение ресурсов.

Смоделировать 10 с работы системы. Определить частоту уничтожения пакетов и частоту подключения ресурса.

Задание 13. Компьютер обслуживает три терминала по круговому циклическому алгоритму, предоставляя каждому терминалу 30 с, для обработки данных. Если в течение этого времени задание обрабатывается, то обслуживание завершается; если нет, то остаток задачи становится в специальную

очередь, которая использует свободные циклы терминалов, т. е. задача обслуживается, если на каком-либо терминале нет заявок. Заявки на терминалы поступают через 40 ± 5 с и имеют длину 300 ± 50 знаков. Скорость обработки заданий компьютером равна 10 знаков/с.

Смоделировать 5 ч работы компьютера. Определить загрузку компьютера, параметры очереди неоконченных заданий. Определить величину цикла терминала, при котором все заявки будут обслужены без специальной очереди.

Задание 14. Супермаркет электроники планирует ввести систему управления запасами бытовой техники. Время между поступлениями заказов на фотокамеры распределено экспоненциально с математическим ожиданием 0,2 нед. Если покупателю понадобилась фотокамера тогда, когда ее нет на складе (в запасе), он в 80% случаев отправляется в другой магазин, представляя тем самым несостоявшуюся для данного супермаркета продажу. В 20% таких случаев делается повторный заказ и покупатели ждут следующей партии товара. Супермаркет использует периодическую систему контроля состояния запасов, в которой запас просматривается каждые 4 нед. и принимается решение о необходимости размещения заказа. Стратегия принятия решения состоит в размещении заказа, доводящего запас до контрольного уровня, составляющего 72 фотокамеры. Текущее состояние запаса определяется как наличный запас плюс заказанные ранее фотокамеры и минус неудовлетворенный спрос. Если текущее состояние запасов меньше или равно 18 фотокамерам, осуществляется размещение заказа. Время доставки (время между размещением заказа и его получением) постоянно и составляет 3 нед.

Построить модель системы управления запасами в перспективе на полгода для получения статистических данных о следующих величинах: текущем объеме запаса; о резервном запасе (запасе в момент получения заказа); времени между несостоявшимися заказами.

Задание 15. В узел коммутации сообщений, состоящий из входного буфера, процессора, двух исходящих буферов и двух выходных линий, поступают сообщения с двух направлений. Сообщения с одного направления поступают во входной буфер, обрабатываются в процессоре, буферизуются в выходном буфере первой линии и передаются по выходной линии. Сообщения со второго направления обрабатываются аналогично, но передаются по второй выходной линии. Применяемый метод контроля потоков требует одновременного присутствия в системе не более трех сообщений на каждом направлении. Сообщения поступают через интервалы 15 ± 7 мс. Время обработки в процессоре равно 7 мс на сообщение, время передачи по выходной линии равно 15 ± 5 мс. Если сообщение поступает при наличии трех сообщений в направлении, то оно получает отказ.

Смоделировать работу узла коммутации в течение 10 с. Определить загрузки устройств и вероятность отказа в обслуживании из-за переполнения

буфера направления. Определить изменения в функции распределения времени передачи при снятии ограничений, вносимых методом контроля потоков.

Задание 16. Распределенный банк данных системы сбора информации организован на базе ПК, соединенных дуплексным каналом связи. Поступающий запрос обрабатывается на первом ПК и с вероятностью 50% формируется ответ на запрос. В противном случае необходима посылка запроса на второй ПК. Запросы поступают через 10 ± 3 с, первичная обработка запроса занимает 2 с, выдача ответа требует 18 ± 2 с, передача по каналу связи занимает 3 с. Временные характеристики ПК одинаковы.

Смоделировать прохождение 400 запросов. Определить необходимую емкость накопителей перед ПК, обеспечивающую безотказную работу системы, и функцию распределения времени обслуживания заявки.

Задание 17. Система автоматизации проектирования (САПР) состоит из ПК и трех терминалов. Каждый проектировщик формирует задание на расчет в интерактивном режиме. Набор строки запроса к САПР занимает 10 ± 5 с. Обработка строки запроса к САПР требует 3с работы ПК и 5с работы терминала. После набора десяти строк задание считается сформированным и поступает на решение, при этом в течение 10 ± 3 с ПК прекращает выработку ответов на вводимые строки. Вывод результата требует 8 с работы терминала. Анализ результата занимает у проектировщика 30 с, после чего цикл повторяется.

Смоделировать работу системы в течение 6 ч. Определить вероятность простоя проектировщика из-за занятости ПК и коэффициент загрузки ПК.

Задание 18. Для обеспечения надежности АСУ ТП в ней используется два ПК. Первый ПК выполняет обработку данных о технологическом процессе и выработку управляющих сигналов, а второй находится в «горячем резерве». Данные в ПК поступают через 10 ± 2 с, обрабатываются в течение 3 с, затем посылаются управляющий сигнал, поддерживающий заданный темп процесса. Если к моменту послышки следующего набора данных не получен управляющий сигнал, то интенсивность выполнения технологического процесса уменьшается вдвое и данные посылаются через 20 ± 4 с. Основной ПК каждые 30 с посылает резервному ПК сигнал о работоспособности. Отсутствие сигнала означает необходимость включения резервного ПК вместо основного. Характеристики обоих ПК одинаковы. Подключение резервного ПК занимает 5 с, после чего он заменяет основной до восстановления, а процесс возвращается к нормальному темпу. Отказы ПК происходят через 300 ± 30 с. Восстановление занимает 100 с. Резервный ПК абсолютно надежен.

Смоделировать 1 ч работы системы. Определить среднее время нахождения технологического процесса в заторможенном состоянии и среднее число пропущенных из-за отказов данных.

Задание 19. В вычислительный центр через 300 ± 100 поступают задания длиной 500 ± 200 байт. Скорость ввода, вывода и обработки заданий — 100 байт/мин. Задания проходят последовательно ввод, обработку и вывод, буферируясь перед каждой операцией. После вывода 5% заданий оказываются выполненными неправильно вследствие сбоев и возвращаются на повторный ввод. Для ускорения обработки задания в очередях располагаются по возрастанию их длины, т. е. короткие сообщения обслуживают в первую очередь. Задания, выполненные неверно, возвращаются на ввод и во всех очередях обслуживаются первыми.

Смоделировать работу вычислительного центра в течение 30 ч. Определить необходимую емкость буферов и функцию распределения времени обслуживания заданий.

Задание 20. Вычислительная система включает четыре ПК. В систему в среднем через 25 с поступают задания, которые попадают в очередь на обработку к первому ПК, где они обрабатываются около 10 с. После этого задание поступает одновременно во второй, третий и четвертый ПК. Второй ПК может обработать задание за 10 ± 5 с, третий за 16 ± 1 с и четвертый за 20 ± 3 с. Окончание обработки задания на любом ПК означает снятие ее с решения с той и другой машины. В свободное время вторая и третья ЭВМ заняты обработкой фоновых задач, четвертая ЭВМ — находится в резерве.

Смоделировать 8 ч работы системы. Определить необходимую емкость накопителей перед всеми ЭВМ, коэффициенты загрузки ЭВМ и функцию распределения времени обслуживания заданий. Определить производительность второй и третьей ЭВМ на решении фоновых задач при условии, что одна фоновая задача решается 70 с.

Задание 21. В Call-центр с интервалом времени 10 ± 5 мин поступают запросы пользователей. На первом уровне обслуживания работает один диспетчер. Время, необходимое для ввода данных о запросах пользователя и предварительной обработке составляет 15 ± 5 мин. Третья часть пользователей нуждается в дополнительных консультациях и диспетчер передает их запрос специалисту 2-го уровня (продолжительность работы которого над запросом — 3 ± 2 мин). Политика Call-центра не допускает, чтобы более семи пользователей ожидали своей очереди на обслуживание диспетчером. Обработка данных специалистом второго уровня обслуживания не имеет ограничений на длину очереди ожидающих пользователей.

Смоделировать процесс обслуживания 100 пользователей. Подсчитать число пользователей, получивших отказ в обслуживании. Определить среднее число пользователей в очереди, а также коэффициенты загрузки диспетчера и специалиста второго уровня.

Задание 22. Система автоматизации проектирования (САПР) создана на базе ЭВМ, функционирующей в режиме множественного доступа. Пятеро инженеров-проектировщиков с помощью своих дисплеев одновременно и независимо проводят диалог с ЭВМ, определяя очередной вариант расчета. Каждый диалог состоит из 10 циклов ввода-вывода данных. Во время одного цикла происходит следующее: за 10 ± 5 с инженер обдумывает и вводит текст строки; в течение 2 с работает процессор ЭВМ, подготавливая текст ответа; в течение 5 с текст ответа выводится на дисплей. После ввода 11-й строки начинается работа процессора по расчету конструкции и продолжается 30 ± 10 с. За 5 с результат расчета выводится на экран, после чего инженер в течение 15 ± 5 с анализирует его и начинает новый диалог. Операции по подготовке текста ответа имеют абсолютный приоритет над расчетными, т. е. прерывают выполнение последних.

Смоделировать процесс работы САПР при условии, что расчет вариантов конструкции повторяется 100 раз. Определить среднее время выполнения диалога и расчетных операций, а также коэффициент загрузки процессора.

Задание 23. Распределенный банк данных организован на базе трех удаленных друг от друга вычислительных центров А, В и С. Все центры связаны между собой каналами передачи информации, работающими в дуплексном режиме независимо друг от друга. В каждый из центров с интервалом времени 50 ± 20 мин поступают заявки на проведение информационного поиска. Если ЭВМ центра, получившего заявку от пользователя, свободна, в течение 2 ± 1 мин производится ее предварительная обработка, в результате которой формируются запросы для центров А, В и С. В центре, получившем заявку от пользователя, начинается поиск информации по запросу, а на другие центры по соответствующим каналам передаются за 1 мин тексты запросов, после чего там также может начаться поиск информации, который продолжается: в центре А -5 ± 2 мин, в центре В -10 ± 2 мин, в центре С -15 ± 2 мин. Тексты ответов передаются за 2 мин по соответствующим каналам в центр, получивший заявку на поиск. Заявка считается выполненной, если получены ответы от всех трех центров. Каналы при своей работе не используют ресурсы ЭВМ центров. Смоделировать процесс функционирования распределенного банка данных при условии, что всего обслуживается 100 заявок. Подсчитать число заявок, поступивших и обслуженных в каждом центре. Определить коэффициенты загрузки ЭВМ центров.

Задание 24. В специализированной вычислительной системе периодически выполняется три вида заданий, которые характеризуются уровнями приоритета: нулевым, первым и вторым. Каждый новый запуск задания оператор производит при помощи дисплея, работая на нем 50 ± 30 с. После запуска задания оно требует для своего выполнения 100 ± 50 с времени работы процессора, причем задания более высокого приоритета прерывают выполнение задач более низкого приоритета. Результаты обработки задания выводятся на

печать без прерываний в течение 30 ± 10 секунд, после чего производится их анализ в течение 60 ± 20 секунд, и задание запускается снова. Можно считать, что при работе дисплея и при выводе результатов на печать процессор не используется. Смоделировать процесс работы системы при условии, что задание второго уровня приоритета выполняется 100 раз. Подсчитать число циклов выполнения остальных заданий и определить коэффициенты загрузки технических средств системы.

Задание 25. К серверу подключено четыре терминала, с которых осуществляется решение задач. По команде с терминала выполняют операции редактирования, трансляции, планирования и решения. Причем, если хоть один терминал выполняет планирование, то остальные вынуждены простаивать из-за нехватки оперативной памяти. Если два терминала выдают требование на решение, то оставшиеся два простаивают, и если работают три терминала, выдающих задания на трансляцию, то оставшийся терминал блокируется. Интенсивности поступления задач различных типов равны. Задачи одного типа от одного терминала поступают через экспоненциально распределенные интервалы времени со средним значением 160 ± 20 секунд. Выполнение любой операции длится 10 ± 5 секунд. Смоделировать работу сервера в течение 4 часов. Определить загрузку процессора, вероятности простоя терминалов и частоту одновременного выполнения трансляции с трёх терминалов.

Задание 26. В узел коммутации сообщений, состоящий из входного буфера, процессора, двух исходящих буферов и двух передатчиков выходных линий, поступают сообщения с двух направлений. Сообщения с одного направления поступают во входной буфер, обрабатываются в процессоре, буферизуются в выходном буфере первой линии и передаются по ней. Сообщения со второго направления обрабатываются аналогично, но передаются по второй линии. Применяемый метод контроля потоков требует одновременного присутствия в системе не более трех сообщений на каждом направлении. Сообщения поступают через интервалы 14 ± 7 мс. Процессор тратит 7 мс на сообщение, время передачи по выходной линии равно 15 ± 5 мс. Если сообщение поступает при наличии трех сообщений в направлении, то оно получает отказ.

Разработать по концептуальной модели программную модель системы. Экспериментально определить требуемую емкость входного буфера, среднее заполнение одного из направлений, а также вероятность отказа в обслуживании из-за переполнения системы. Получить среднее значение и гистограмму времени прохождения сообщений через систему. Как изменятся все эти показатели системы при емкости каждого направления 6 сообщений?

Задание 27. Распределенный банк данных системы сбора информации организован на базе вычислительной системы, состоящей из двух компьюте-

ров, соединенных дуплексным каналом связи. Поступающий запрос обрабатывается на первом компьютере, и с вероятностью 60% необходимая информация обнаруживается на месте. В противном случае необходима посылка запроса во второй компьютер. Запросы поступают через 10 ± 5 с, первичная обработка запроса занимает 2 с, выдача ответа требует 18 ± 2 с, передача по каналу связи занимает 3 с. Временные характеристики компьютеров аналогичны. Смоделировать прохождение 500 запросов. Определить необходимую емкость накопителей на входе вычислительной системы, обеспечивающую безотказную работу системы, и функцию распределения времени обслуживания заявки.

Задание 28. Система обработки информации содержит мультиплексный канал и 3 компьютера. На вход канала через интервалы времени 10 ± 5 микросекунд поступают сообщения от датчиков. В канале они буферизируются и предварительно обрабатываются на протяжении 10 ± 3 микросекунд. Потом сообщения поступают на обработку в тот компьютер, который имеет наименьшую длину входной очереди. Емкости входных накопителей всех компьютеров рассчитаны на хранение пяти сообщений. Если в момент прихода сообщения входные накопители всех компьютеров полностью заполнены, то сообщение получает отказ. Время обработки сообщения во всех компьютерах равно 35 микросекунд.

Смоделировать процесс обработки 1000 сигналов, поступающих с датчиков. Определить средние времена задержки сигналов в канале и компьютерах и вероятности переполнения входных накопителей.

Задание 29. Вычислительные блоки (ВБ) для специализированной системы управления на заключительной стадии их производства проходят ряд пунктов технического контроля. На последнем из этих пунктов осуществляется проверка технических параметров ВБ. Если во время контроля обнаружилось, что ВБ не соответствует ТУ, он направляется в пункт повторной настройки. После этого опять попадает в пункт окончательного контроля. ВБ, которые сразу или после нескольких возвратов в пункт настройки прошли заключительную фазу контроля, направляются в цех упаковки.

Время между поступлениями ВБ в пункт контроля для заключительной проверки распределено равномерно на интервале 3,5-7,5 мин. В пункте заключительной контроля параллельно работают два контролера. Время, необходимое на проверку одного ВБ, распределено равномерно на интервале 6-12 мин. В среднем 85% ВБ проходят проверку успешно с первого предъявления и направляются на упаковку. Остальные возвращаются в пункт настройки, обслуживаемый одним рабочим. Время настройки распределено равномерно на интервале 20-40 мин.

Требуется промоделировать работу пунктов контроля и настройки в течение рабочей смены (8 час) для оценки времени, затрачиваемого на обслу-

живание каждого ВБ на последнем этапе производства, а также загрузку контролеров и настройщика.

Задание 30. На сборочный участок цеха предприятия через интервалы времени, распределенные экспоненциально со средним значением 10 мин, поступают партии, каждая из которых состоит из трех деталей. Половина всех поступающих деталей перед сборкой должна пройти предварительную обработку в течение 7 мин. На сборку подаются обработанная и необработанная детали. Процесс сборки занимает всего 6 мин. Затем изделие поступает на регулировку, продолжающуюся в среднем 8 мин (время выполнения ее распределено экспоненциально). В результате сборки возможно появление 4% бракованных изделий, которые не поступают на регулировку, а направляются снова на предварительную обработку.

Смоделировать работу участка в течение 24 ч. Определить возможные места появления очередей и их вероятностно-временные характеристики. Выявить причины их возникновения предложить меры по их устранению и смоделировать работу скорректированной системы.

Заказ № ____ от « ____ » _____ 2016 г.
СевГУ

Тираж ____ экз