

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Методические указания
для выполнения лабораторных работ
по дисциплине
для магистров очной формы обучения
по направлению 09.04.01 —
«Информатика и вычислительная техника»

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 004.942 + 519.876.5

П75

Р е ц е н з е н т:

Е.Н. Машенко - канд. техн. наук, доцент кафедры
информационных технологий и компьютерных систем

Составители : А.В. Скатков, И.А. Балакирева, В.И. Шевченко

П75 Прикладной системный анализ : методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине для магистров очной формы обучения по направлению 09.04.01 — «Информатика и вычислительная техника» / Сост. А.В. Скатков, И.А. Балакирева, В.И. Шевченко ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 40 с. – Текст : электронный.

Целью методических указаний является оказание методической помощи студентам в выполнении цикла лабораторных и курсовой работ по дисциплине «Прикладной системный анализ».

Методические указания содержат:

- краткие теоретические сведения по основам моделирования вычислительных систем;
- методика проведения экспериментов для исследования свойств имитационных моделей;
- задания для выполнения лабораторных работ;
- список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- индивидуальные варианты заданий.

УДК 004.942 + 519.876.5

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры информационных технологий и компьютерных систем, протокол № 5 от 30 января 2020 г.

Изд. № 272/2020. Объем 2,5 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....	4
1	Лабораторная работа №1. Разработка модели функционирования вычислительного центра обработки и хранения данных.....	6
1.1	Основные подходы к построению математических моделей систем....	6
1.1.1	Математическая схема общего вида.....	7
1.1.2	Непрерывно-стохастические модели (Q –схемы).....	9
1.2	Постановка задачи для выполнения лабораторной работы №1.....	11
1.3	Содержание отчета по лабораторной работе №1.....	13
2	Лабораторная работа №2. Оценка погрешности имитации, обусловленной наличием в имитационной модели генераторов случайных чисел.....	14
2.1	Проблема наличия источников погрешностей в имитационной модели.....	14
2.2	Постановка задачи для выполнения лабораторной работы №2.....	16
2.3	Содержание отчета по лабораторной работе №2.....	16
3	Лабораторная работа №3. Определение длительности переходного процесса.....	17
3.1	Проблема влияния начального периода моделирования на значения выходных параметров.....	17
3.2	Постановка задачи для выполнения лабораторной работы №3.....	20
3.3	Содержание отчета по лабораторной работе №3.....	20
4	Лабораторная работа №4. Оценка статистической устойчивости результатов имитации.....	21
4.1	Проблема статистической устойчивости результатов имитации.....	21
4.2	Постановка задачи для выполнения лабораторной работы №4.....	22
4.3	Содержание отчета по лабораторной работе №4.....	22
5	Лабораторная работа №5. Исследование чувствительности имитационной модели.....	23
5.1	Проблема выбора существенных факторов имитационной модели.....	23
5.2	Постановка задачи для выполнения лабораторной работы №5.....	25
5.3	Содержание отчета по лабораторной работе №5.....	26
	Библиографический список.....	26
	Приложение А.....	27

ВВЕДЕНИЕ

Прикладной системный анализ становится неотъемлемой компетенцией современного специалиста. Системный подход помогает быстро и результативно разобраться в структуре и функционировании системы, выявить характер взаимного влияния элементов системы — преимущественно скрытый и неочевидный, а иногда даже парадоксальный. Инструменты системного анализа позволяют разработать удобную модель, которая поможет осмыслить настоящее состояние системы и построить сценарий достижения желаемого состояния.

Можно выделить наиболее типичные проблемы, которые сопровождают систему на протяжении всего периода ее жизненного цикла.

При создании новой системы к таким проблемам относятся:

- вывод на рынок новой продукции (товар, услуга),
- запуск нового оборудования,
- создание нового общественного движения,
- создание новой технологии и т.п.

Изменение (совершенствование) существующей системы обычно связано с изменением целей пользователя системы, к которым можно отнести:

- увеличение объемов производства на существующем оборудовании,
- повышение уровня лояльности потребителей,
- увеличение доли рынка,
- сокращение затрат на существующем оборудовании, и т.п.

Изменение внешних по отношению к системе условий рождает такие проблемы как:

- изменение рынков (поставщики, потребители, рынок труда, страхование, транспортные услуги ...),
- изменение требований регулирующих органов, и т.п.

Практически всегда само существование системы обуславливает существование проблемы: сложно представить себе собственника или пользователя системы, которые не желали бы сделать свою систему более эффективной, управляемой, надежной и безопасной.

Прикладной системный анализ является методикой или, в некотором смысле, "технологией" совершенствования систем. Как и любая технология, системный анализ предполагает последовательное выполнение определенных операций. Каждая операция имеет цель, после выполнения каждой операции ожидается вполне определенный результат. Ниже приведен алгоритм прикладного системного анализа и обозначены основные цели его этапов.

1. Формирование языка описания системы

- определение терминов описания системы;
- определение целевых свойств системы на языке описания системы.

2. Построение модели системы

- установление взаимосвязей между ожиданиями заказчика и целевыми свойствами системы;

- установление взаимосвязей между внешними и внутренними факторами и параметрами системы.

3. Выявление проблемы

- поиск критических параметров - параметров системы, негативно влияющих на ее целевые свойства.

4. Проверка: проблема выявлена?

- выявление корреляции значений критических параметров системы и отклонений ее целевых свойств от желаемых значений.

5. Решение проблемы

- выявление коренных причин проблемы системы;

- определение действий по совершенствованию системы;

- внедрение действий по совершенствованию системы;

6. Проверка решения достоверно?

- выявление корреляции значений критических параметров системы и совершенствования ее целевых свойств.

7. Принятие решения по совершенствованию системы.

- стандартизация улучшающих действий, эффективность которых доказана;

- отслеживание корреляции состояния критических параметров системы и достигнутого результата.

Лабораторная работа № 1 охватывает этапы формирования языка описания системы и построения ее модели. Реализацию этапов 3-6 представляют лабораторные работы, связанные с исследованием свойств построенной модели.

Качество выполнения системного анализа подтверждается эффективностью действий по изменению системы, приводящими к устранению ее проблем. Поэтому для полноценного выполнения системного анализа невозможно ограничиться только "анализом системы" (понять природу проблемы), а нужно также найти необходимые действия и реализовать их – создать или изменить систему и убедиться в эффективности предпринятых действий. Этап принятия решения по совершенствованию свойств модели системы и разрешению существующих проблем должен быть представлен в качестве выводов по результатам выполнения лабораторных работ.

1 *Лабораторная работа №1.* РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

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 рационально 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.

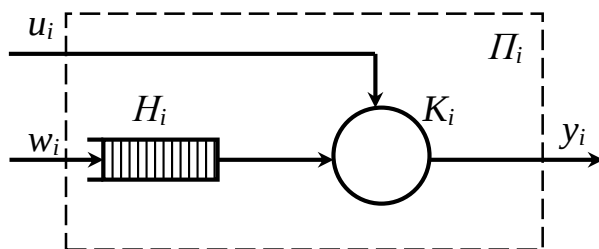


Рисунок 1.1 — Элементарная Q-схема

Элементарная Q-схема состоит из:

— прибора обслуживания Π_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 Π_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: $Q = \{W, U, G, Z, R, A\}$, где 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 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №1

Цель выполнения лабораторной работы — построение имитационной модели предложенной вычислительной системы неоднородной структуры, сбор статистики и исследование свойств разработанной модели.

Для моделирования предложена схема распределенного вычислительного центра обработки и хранения данных, далее распределенная вычислительная система (РВС), неоднородной структуры (рисунок 1.2).

В рамках выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Выбрать структуру подсистемы РВС, представленной модели (см. приложение А);
2. Описать элементы Q-схемы в соответствии с $Q=\{W, U, G, Z, R, A\}$; разработать имитационную модель системы в среде Anylogic [2];

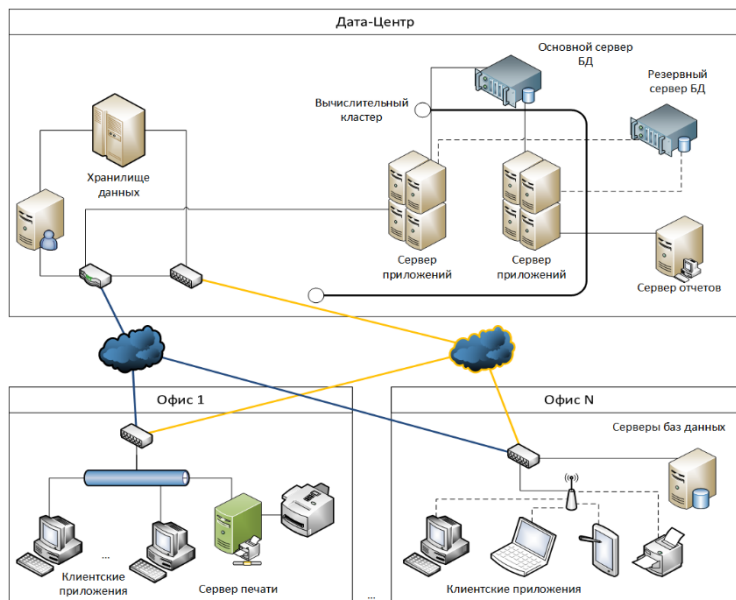


Рисунок 1.2 — Обобщенная схема распределенного вычислительного центра обработки и хранения данных

3. Оценить параметры модели по результатам моделирования РВС; в качестве оцениваемых параметров выбрать следующие: коэффициенты использования обслуживающих устройств РВС; характеристики очередей – средняя длина очереди, среднее время пребывания в очереди; среднее время обслуживания заявки в РВС (для одноканальных устройств); среднее число занятых каналов (для многоканальных устройств); среднее время пребывания заявки в РВС.

Общее описание входных данных для подсистем РВС:

Входной поток заявок в системе предполагается простейший с заданным средним временем поступления заявок.

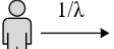
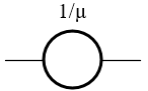
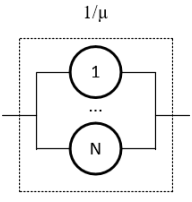
Времена обработки заявок в узлах обработки и передачи данных распределены экспоненциально со средним временем, указанным на схеме.

Единица измерения времен при моделировании – минуты.

В процессе обработки запросов пользователей по обработке данных возможны коллизионные ситуации, в связи с чем запросы могут быть направлены на дообслуживание. Вероятности перехода заявок на дообслуживание указаны на схемах с обратными связями.

На структурных схемах подсистем РВС, как моделей СМО, приняты обозначения, согласно таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Обозначения для элементов модели подсистемы РВС

Обозначение	Элемент модели
	Входной поток заявок со средним временем поступления $1/\lambda$.
	Канал обслуживания со средним временем обработки $1/\mu$.
	Многоканальное обслуживающее устройство.
	Буфер обмена с неограниченной емкостью.

Варианты для выполнения лабораторной работы приведены в Приложении А. Номер варианта выбирается в соответствии с номером студента в списке группы.

1.3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

1. Постановка задачи.
2. Описание Q-схемы.
3. Разработка имитационной модели.
4. Результаты моделирования.
5. Анализ результатов и выводы.

2 Лабораторная работа №2. ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИМИТАЦИИ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ НАЛИЧИЕМ В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

2.1 ПРОБЛЕМА НАЛИЧИЯ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В любой вероятностной ИМ сложной системы применяются генераторы случайных чисел. Как правило, система автоматизации моделирования предоставляет в распоряжение исследователя несколько различных генераторов случайных чисел. Каждый из них использует базовый генератор, числа с выхода которого затем преобразуются для получения случайных величин с заданными законами распределения. Оказывается, что такой генератор является источником погрешности имитации.

Чем и как оценить эту погрешность? Как показала практика исследования вычислительных систем на ИМ, зачастую достаточно определить оценки математического ожидания и дисперсий отклонений компонент вектора откликов Y .

В серединной точке области изменения входных переменных модели X организуется несколько (рекомендуется $N=10$) прогонов модели с одними и теми же значениями X и G , но с разными начальными значениями для базовых генераторов случайных чисел ξ_{0j} .

В системе моделирования Anylogic каждый j -й прогон соответствует выбору j -го генератора случайных чисел. Для этого в настройках запуска модели, кроме необходимых параметров, надо раскрыть вкладку **Случайность**, выбрать опцию «Начальное число», в поле ввода вводить для каждого прогона его номер.

Для каждого j -того прогона модели вычисляются значения k -й компоненты ($k=1, \dots, n$) вектора отклика Y_{jk} . Например, в качестве таких компонент могут выступать коэффициенты загрузки устройств, средние длины очередей, средние времена пребывания заявок в очереди, средние числа занятых каналов и так далее. В результате получают выборки значений отклика $\{Y_k\}$ при использовании различных корневых значений для генераторов случайных чисел. Размер выборки равен числу используемых генераторов. По выборкам определяют оценки математического ожидания и дисперсии. Такими оценками являются соответственно $\bar{Y}_k$ и $\bar{D}_k$, вычисляемые по формулам:

$$\bar{Y}_n = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y_{nk}; \quad D_n = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (Y_{nk} - \bar{Y}_n)^2. \quad (2.1)$$

Определяется доверительный интервал нахождения истинного значения математического ожидания k -ой компоненты отклика Y_{ku} . Можно допустить нормальность распределения отклонения Y_{ku} от истинного значения Y_{ku} .

Поскольку объемы выборок малы (используется $N=10$ различных генераторов), то для нахождения доверительных интервалов используется t -статистика

$$t = (\bar{Y}_k - Y_{ku}) \sqrt{\frac{N-1}{D_k}}, \quad (2.2)$$

имеющая распределение Стьюдента. Задавшись уровнем значимости $\alpha = 0,05$, можно с вероятностью 0,95 утверждать, что истинное значение $Y_{ли}$ лежит в пределах

$$\bar{Y}_k - t_{0,05} \sqrt{\frac{D_k}{N-1}} \leq Y_{ku} \leq \bar{Y}_k + t_{0,05} \sqrt{\frac{D_k}{N-1}}, \quad (2.3)$$

где $t_{0,05}$ — значение t -статистики, определяемое при $(N-1)$ степенях свободы и уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Значение t -статистики можно выбрать из таблиц распределения Стьюдента в статистических справочниках, либо воспользоваться функцией ЭТ Excel:

`СТЮДЕНТ.ОБР.2Х(вероятность; степени_свободы)`
`=СТЮДЕНТ.ОБР.2Х(0,05;9)`

Доверительный интервал для среднего значения k -ой компоненты вектора отклика (при $N=10$ и $\alpha = 0,05$ можно записать в виде

$$\bar{Y}_k \pm d_k = \bar{Y}_k \pm 2,262 \sqrt{\frac{D_k}{N-1}}. \quad (2.4)$$

Значение d_k и определяет погрешность k -ой компоненты отклика модели. Затем из всех d_k находят максимальное значение, которое в данном случае и будет верхней границей погрешности, связанной с использованием в ИМ генераторов случайных величин.

Результаты оценки погрешности генераторов рекомендуется представить в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Результаты исследования погрешности имитации, обусловленная наличием в ИМ генераторов случайных чисел

Компоненты отклика	Генераторы случайных чисел					Оценки выборок		Погрешность компонент
	RN_1	...	Rn_j	...	RN_{10}	$\bar{Y}_k$	$\bar{D}_k$	d_k
Y_1								
...								
Y_k								
...								
Y_n								

Если интервальная оценка параметров ИМ устраивает исследователя, то выбор корневого значения для генератора не имеет значения. В противном случае необходимо исключить из использования корни генераторов, дающие аномальные значения параметров и выбрать такие, при которых наблюдаемые параметры принимают модальные (наиболее типичные) значения.

2.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №2

Цель выполнения лабораторной работы — Оценить погрешность имитационной модели, обусловленной использованием генераторов случайных чисел.

Оценку погрешности генераторов проводить для модели РВС в соответствии с вариантом, представленным в Приложении А.

В рамках выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Выбрать 3-4 параметра отклика модели, связанные с
 - очередями,
 - приборами,
 - общесистемными параметрами.
2. Результаты имитации для каждого параметра занести в таблицу.
3. Произвести вычисления в соответствии с формулами (2.1)-(2.4).
4. Сформулировать решение по результатам эксперимента.

2.3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2

1. Постановка задачи.
2. Описание параметров запуска ИМ.
3. Расчеты.
4. Анализ результатов и выводы.

3 Лабораторная работа №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

3.1 ПРОБЛЕМА ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЗНАЧЕНИЯ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Одно из основных отличий имитационных экспериментов от натуральных испытаний объекта моделирования заключается в простоте повторения и воспроизведения условий эксперимента, а также в простоте запуска, прерывания и возобновления эксперимента. Это позволяет экспериментатору полностью контролировать модельный эксперимент. Обычно ИМ применяются для изучения системы в типичных для нее и повторяющихся изо дня в день условиях. Но в большинстве стохастических моделей требуется некоторое время T_0 для достижения моделью необходимого установившегося состояния. Поэтому исследователь должен позаботиться об уменьшении влияния начального периода моделирования или его исключения из результатов моделирования.

Существуют три способа уменьшения влияния начального периода на динамику моделирования сложной системы:

- использование длинных прогонов модели;
- исключение из рассмотрения начального периода прогона;
- выбор такого начального условия, которое ближе всего к типичному.

Первый подход можно применять только в случае, если прогон модели не требует много машинного времени. При втором подходе часть машинного времени тратится бесполезно и из-за сокращения объема выборки увеличивается дисперсия отклика модели Y . При этом весьма трудно установить, когда заканчивается переходный процесс. Не существует полностью надежных методов для решения вопроса о том, достигнуто ли установившееся состояние или нет. Установившееся состояние вовсе не означает, что переменная отклика достигла некоторого постоянного уровня. Переменная отклика продолжает изменяться присущим ей образом. Под статистическим равновесием или установившимся состоянием понимается такое, в котором противодействующие влияния сбалансированы и компенсируют друг друга. Предполагается, что для каждой стохастической модели существует распределение вероятностей значений отклика, являющееся характеристикой системы. Модель находится в равновесии, когда отклик не выходит за предельные значения.

Для отделения переходного режима от стационарного у исследователя должна быть возможность наблюдения за моментом входа контролируемого параметра моделирования в стационарный режим. Это можно осуществить, например, путем наблюдения за длиной очереди заявок к наиболее загруженной компоненте модели. Такой контроль может быть выполнен на любой компоненте модели, если исследователь предполагает, что она позже всех входит в стационарный режим. Проверку можно выполнить по критерию Вилкоксона, который требует задания уровня значимости. Для двух прогонов ИМ, с

длительностями T_k и T'_k , так что $T_k - T'_k = \Delta t$, проводится сравнение средних значений наблюдаемых параметров. Например, речь может идти о средних длинах очередей l_k и l'_k , $k = \overline{1, m}$ где m — объем выборки; k — номера замеров длины очереди. С помощью критерия Вилкоксона проверяется гипотеза H_0 об однородности двух выборок: $\{l_k\}$ и $\{l'_k\}$. Предполагается, что обе выборки взаимно независимы и извлечены из одной и той же генеральной совокупности и, следовательно, функции распределения случайных величин одинаковы. Эту гипотезу можно выразить тождеством $H_0: p\{l \leq x\} \equiv p\{l' \leq x\}$, $x < \infty$,

и воспользоваться для ее проверки ранговым критерием. На первом этапе реализации процедуры проверки гипотезы об однородности производится объединение случайных величин l_k и l'_k в один вариационный ряд в порядке возрастания их значений. В результате формируется последовательность типа

$$\begin{array}{cccccccccccccccc} A & A & B & A & A & A & B & B & B & B & \dots & A & B & B \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & \dots & N-2 & N-1 & N, \end{array}$$

где буквами А и В обозначены члены вариационного ряда, принадлежащие выборкам $\{l_k\}$ и $\{l'_k\}$ соответственно. Каждому члену объединенной выборки приписываются ранги r_q , обозначающие порядковые номера в этой выборке, $q = \overline{1, N}$, $N = 2m$. На основании установленных рангов вычисляется значение статистики Вилкоксона

$$W_l = \sum_{q=1}^N r_q. \quad (3.1)$$

Проверка гипотезы об однородности производится на основе неравенства

$$w_1(\alpha) \leq W_l \leq w_2(\alpha), \quad (3.2)$$

где $w_1(\alpha)$ и $w_2(\alpha)$ - нижняя и верхняя границы статистики Вилкоксона при уровне значимости α ($0 < \alpha < 1$). Если неравенство выполняется, то гипотеза H_0 принимается. Верхняя и нижняя границы вычисляются исходя из соотношений:

$$\begin{aligned} w_1(\alpha) &= \frac{m(2m+1)-1}{2} - \psi \sqrt{\frac{m^2(2m+1)}{12}}, \\ w_2(\alpha) &= m(2m-1) - w_1(\alpha), \end{aligned} \quad (3.3)$$

где $\psi = \arg \Phi(1 - \alpha/2)$; $\arg \Phi(x)$ представляет собой обратную функцию Лапласа. Значение ψ можно найти в соответствующих статистических таблицах, либо используя функцию НОРМ.СТ.ОБР в ЭТ Excel. Например, при уровне значимости $\alpha = 0,05$, значение функции ψ будет равно

$$\text{НОРМ.СТ.ОБР}(1-0,05/2) = 1,96.$$

Если обе выборки однородны (рисунок 3.1а), то можно предположить, что модель при выбранных длительностях прогонов T_1 и T_2 находится в стационарном режиме. В этом случае необходимо уменьшать длительность прогонов, пока выборки не станут неоднородными. Если выборки неоднородными, то возможны две ситуации.

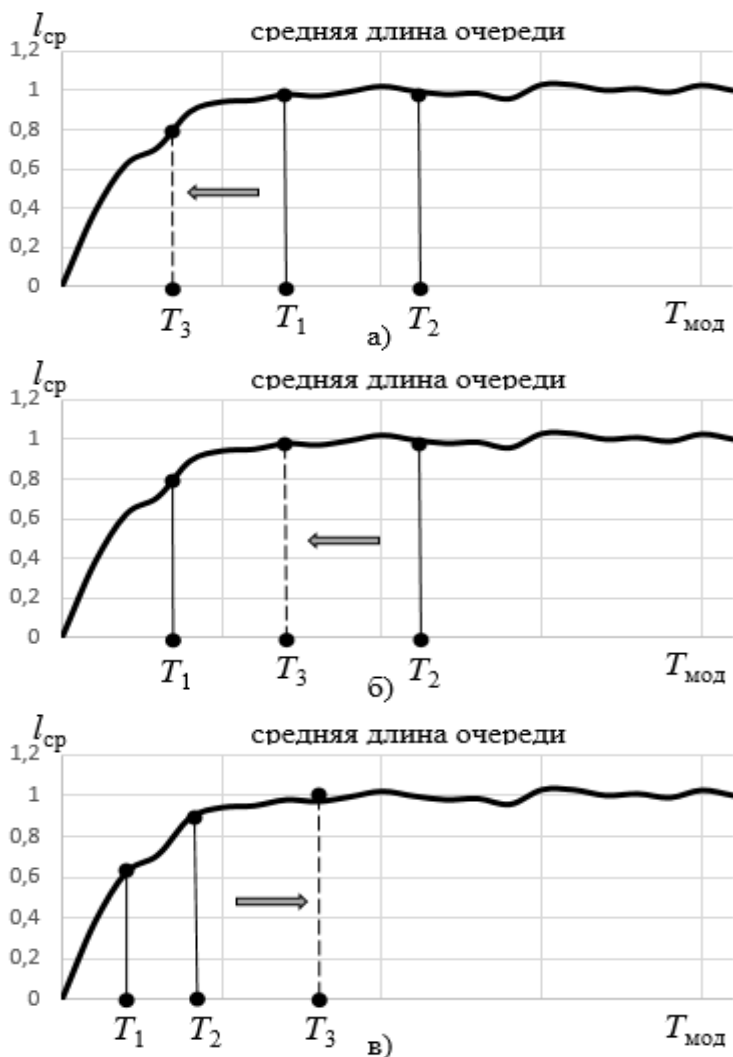


Рисунок 3.1 – Организация имитационных прогонов: а) выборки однородны; б) выборки неоднородны, ситуация 1; в) выборки неоднородны, ситуация 2.

Ситуация 1 — одна из выборок принадлежит переходному процессу, а другая стационарному (рисунок 3.1б). В этом случае можно уменьшить интервал Δt для более точного определения момента завершения переходного процесса.

Ситуация 2 — обе выборки принадлежат переходному процессу (рисунок 3.1в). В такой ситуации увеличивается время моделирования, пока не будут получены однородные выборки. Точка отсечения переходного процесса в этом случае будет находиться на интервале Δt между длительностями двух предыдущих прогонов, на которых были получены неоднородные выборки.

Длительность переходного процесса можно определять и для отдельных выходных параметров модели, и для всей модели в целом. В этом случае длительность переходного процесса в модели будет равна максимальной длительности по всем наблюдаемым параметрам.

Не всегда целью моделирования является исследование поведения системы в стационарном режиме. Бывают случаи, когда предметом имитации является переходный режим, имеющий место в реальной системе. Но и в этих случаях важно уметь уловить момент окончания переходного режима в модели, чтобы завершить имитацию, не затратив лишних вычислительных ресурсов.

3.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №3

Цель выполнения лабораторной работы — Определить точку отсечения переходного процесса в имитационной модели РВС.

Определение точки отсечения переходного процесса проводить для модели РВС в соответствии с вариантом, представленным в Приложении А. В рамках выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Выбрать 3-4 параметра отклика модели, связанные с
 - очередями,
 - приборами,
 - общесистемными параметрами.

2. Для каждого из выбранных параметров определить точку отсечения переходного процесса на основе проверки критерия Вилкоксона (3.1)-(3.3).

Для этого провести ряд имитационных экспериментов, изменяя модельное время в соответствии с $t_i = t_{i-1} + \Delta t_i$, $i=1, 2, \dots$. При $i=1$ начальное время t_0 выбирается по результатам предварительного прогона.

3. Сформулировать решение по результатам эксперимента.

3.3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3

1. Постановка задачи.
2. Описание длительностей имитационных прогонов для всех наблюдаемых параметров.
3. Расчеты.
4. Анализ результатов и выводы.

4 Лабораторная работа № 4. ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИИ

4.1 ПРОБЛЕМА СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИИ

Под статистической устойчивостью результатов имитации будем понимать степень нечувствительности их к изменению входных условий. Универсальной процедуры такой проверки не существует, но довольно часто используется апостериорная проверка. Она состоит в сравнении предсказаний модели и результатов измерений после того, как будет произведено какое-либо изменение в объекте моделирования.

Практика моделирования вычислительных систем показала, что статистическую устойчивость результатов моделирования можно оценивать дисперсией значений отклика (по выбранной компоненте). Если эта дисперсия при увеличении времени моделирования T_i не увеличивается, значит результаты моделирования устойчивы. Результаты исследования статистической устойчивости ИМ по каждой из исследуемых компонент отклика рекомендуется представить в виде таблицы 4.1, указав используемое модельное время и дисперсию, вычисленную для конкретных компонентов отклика модели.

Таблица 4.1 — Результаты исследования статистической устойчивости модели

№ прогона	Время моделирования				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
1	$Y_{1,1}$	...	...	...	$Y_{1,5}$
...	...	...	...	...	...
10	$Y_{10,1}$	...	...	...	$Y_{10,5}$
Среднее значение компоненты отклика	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$
Дисперсия компоненты отклика	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5

Кроме указанной методики оценки дисперсии может иметь место следующая. В модельном времени t_0 задаются шаг Δt и число шагов h для контроля параметра Y , а также экспертное значение изменения контролируемого параметра ΔY_9 . По достижении стационарного состояния оценивается амплитуда изменений параметра Y и вычисляется модуль амплитуды как функции от h . Каждый раз при этом проверяется выполнимость неравенства $|\Delta Y| \leq \Delta Y_9$. Если на всем интервале исследования Y окажется в заданных пределах, то считается, что модель находится в устойчивом состоянии. Рост разброса

контролируемого параметра от начального значения при изменении h указывает на неустойчивый характер имитации исследуемого процесса.

4.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 4

Цель выполнения лабораторной работы — Определить характер изменения дисперсии контролируемого параметра при увеличении длительности имитационного прогона.

Определение статистической устойчивости проводить для модели РВС в соответствии с вариантом, представленным в Приложении А. В рамках выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Выбрать 3-4 параметра отклика модели, связанные с

- очередями,
- приборами,
- общесистемными параметрами.

2. Для каждого из выбранных выходных параметров определить характер изменения дисперсии и результаты занести в таблицу 4.1.

3. Сформулировать решение по результатам эксперимента.

Рекомендации для планирования имитационного эксперимента.

1. Длительность первого имитационного прогона выбрать в соответствии с $t_1 < t_{омс}$, то есть модель не должна достигнуть окончания переходного процесса.

2. Все остальные длительности моделирования должны задаваться для стационарного режима модели в соответствии с выражением $t_i = t_{i-1} + \Delta_i$, $i = 1, 2, \dots$. Интервалы увеличения времени моделирования выбирают так, чтобы $\Delta_i = k\Delta_{i-1}$.

3. В рамках каждого эксперимента для фиксированного модельного времени провести 10 уникальных прогонов и определить дисперсию наблюдаемого выходного параметра.

4.3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4

1. Постановка задачи.
2. Описание исследуемых выходных параметров модели.
3. Таблицы с результатами экспериментов и расчетов.
4. Анализ результатов и выводы.

5 Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

5.1 ПРОБЛЕМА ВЫБОРА СУЩЕСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Исследователь должен установить диапазон изменения отклика модели Y при изменении каждой компоненты вектора входных переменных X . В зависимости от диапазона изменения откликов Y определяется стратегия планирования экспериментов на ИМ. Если при значительной амплитуде изменений некоторой компоненты вектора входных переменных модели X отклик Y меняется незначительно, то это означает, что точность представления этой компоненты в ИМ не играет существенной роли. Кроме того, в планировании имитационных экспериментов эта компонента не будет использоваться как основная. Если же отклик модели Y окажется высокочувствительным к изменению некоторой компоненты вектора X , то это служит прямым указанием на необходимость представления ее в модели с максимально возможной точностью.

Вторым не менее важным моментом исследования чувствительности модели является проверка зависимости отклика модели Y от изменения параметров модели G . Меняя характеристики G в обе стороны на некоторую величину ΔG , исследователь оценивает диапазон изменений вектора отклика модели δY . Если δY незначителен, то требования к точности задания модели в параметрах могут быть не существенными. В противном случае измерение характеристик G^* , по которым строится модель параметров G , и сами способы стабилизации значения G в модели должны быть высокоточными. Анализ поведения приращения отклика модели δY при колебаниях X и G иногда позволяет скорректировать алгоритмы ИМ в сторону их упрощения.

Определение чувствительности параметров ИМ лучше всего проводить в центральной точке пространства изменения параметров. Выбор центральной точки осуществляется, как правило, на основании априорных суждений и носит неформальный характер. Исходя из тех же априорных сведений, пользователь должен задать интервал изменения каждой компоненты вектора параметров X модели системы.

Например, область изменения показателей качества можно определить следующим образом. Каждая q -я компонента вектора X отклоняется от значения его в центральной точке в обе стороны на длину выбранного интервала его изменения ($\min X_q$, $\max X_q$). Остальные компоненты вектора X остаются без изменения и соответствуют центральной точке. При указанных значениях вектора входных переменных X проводится пара модельных экспериментов и вычисляются отклики модели ($\min Y$, $\max Y$), где $\min Y$ и $\max Y$ означают соответственно векторы отклика, полученные при минимальном и максимальном

значениях q -й компоненты вектора X . Вычисляется приращение q -й компоненты вектора параметров модели

$$\delta X_q^0 = \frac{(\max X_q - \min X_q) * 2}{(\max X_q + \min X_q)} 100\%, \quad (5.1)$$

которое и будет приращением вектора параметров X при изменении только одной компоненты q . Находится приращение n -й компоненты вектора отклика

$$\delta Y_n = \frac{|\max Y_n - \min Y_n| * 2}{(\max Y_n + \min Y_n)} 100\%. \quad (5.2)$$

Изменение вектора отклика Y можно определять либо модулем вектора приращений (δY_n , $n=1, \dots, L$; L — размерность вектора отклика), либо максимальным значением из δY_n . Чаще всего исследователи останавливаются на втором способе, когда в качестве изменения вектора отклика выбирают $\delta Y_q^0 = \max\{\delta Y_n\}$, где δY_n вычисляют по формуле (5.2).

Итак, чувствительность модели по q -й компоненте вектора X определяется парой значений ($\delta X_q^0, \delta Y_q^0$). Эта пара чисел показывает, на сколько процентов может измениться отклик модели при увеличении q -й компоненты параметров на δX_q^0 процентов. Затем подобным образом поступают с остальными компонентами вектора параметров X . В результате получают множество пар значений $\{\delta X_q^0, \delta Y_q^0\}$, $q=1, \dots, h$, где h — размерность вектора входных (внутренних) переменных модели $X(G)$.

При исследовании статистической чувствительности ИМ в качестве варьируемых параметров обычно рассматривают:

— X — среднее время поступления заявок в систему (если входных потоков два, то для каждого из потоков X_1 и X_2);

— G_i — средние времена обработки заявок устройствами.

Определить реакцию модели на изменение входных и внутренних параметров модели по трем компонентам вектора отклика, например:

- среднее время пребывания заявки в модели;
- коэффициенты загрузки устройств;
- средние длины очередей или средние времена пребывания в них;
- среднее число занятых каналов (для многоканальных устройств).

Результаты исследований для каждого из выходных параметров рекомендуется представить в таблице 5. 1.

Таблица 5.1 — Результаты исследования чувствительности модели по выходной компоненте вектора отклика модели Y .

Изменяемые величины		X_1		G_1		G_2	
Прогоны модели	1	MIN X_1	$Y(\text{MIN } X_1)$	G_1 среднее		G_2 среднее	
	2	MAX X_1	$Y(\text{MAX } X_1)$	G_1 среднее		G_2 среднее	
	3	X_1 среднее		MIN G_1	$Y(\text{MIN } G_1)$	G_2 среднее	
	4	X_1 среднее		MAX G_1	$Y(\text{MAX } G_1)$	G_2 среднее	
	5	X_1 среднее		G_1 среднее		MIN G_2	$Y(\text{MIN } G_2)$
	6	X_1 среднее		G_1 среднее		MAX G_2	$Y(\text{MAX } G_2)$
Диапазон изменения параметров и отклика модели		$\delta X, \%$	$\delta Y_1, \%$	$\delta G_1, \%$	$\delta Y_1, \%$	$\delta G_2, \%$	$\delta Y_1, \%$

Этой информации, как правило, бывает достаточно для ранжирования компонент вектора входных переменных модели X по значению чувствительности вектора отклика модели. Если модель оказывается мало чувствительной по какой-либо q -й компоненте вектора параметров модели X_q , то исследователь может не включать в план имитационного эксперимента анализ влияния X_q на отклик, чем достигается экономия ресурса времени исследования модели

5.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 5

Цель выполнения лабораторной работы — Определить чувствительность модели к изменению входных (внутренних) параметров).

Определение чувствительности проводить для модели РВС в соответствии с вариантом, представленным в Приложении А. В рамках выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Выбрать 3-4 параметра отклика модели, связанные с
 - очередями,
 - приборами,
 - общесистемными параметрами.
2. Для каждого из выбранных выходных параметров определить их реакцию на изменение входных (внутренних) параметров, результаты экспериментов занести в таблицы (таблица 5.1).
3. Сформулировать решение по результатам эксперимента.

Рекомендации для планирования имитационного эксперимента.

1. В качестве варьируемых параметров выбрать интенсивности входного потока и интенсивности обслуживания заявок приборами системы.

2. Интервал варьирования входных (внутренних) параметров выбирать приблизительно равным 100%.

5.3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Постановка задачи.

2. Описание исследуемых выходных параметров модели.

3. Таблицы с результатами экспериментов и расчетов.

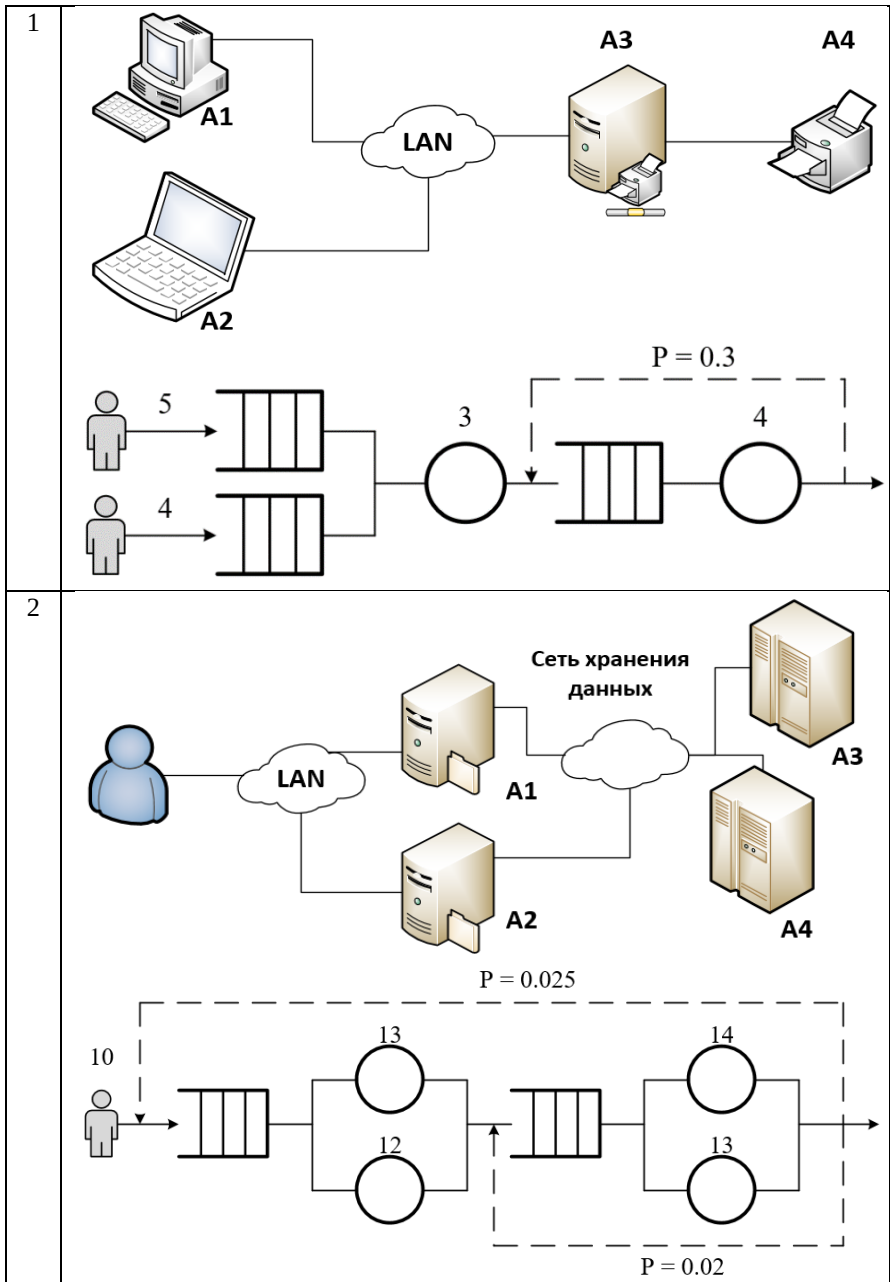
4. Анализ результатов и выводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

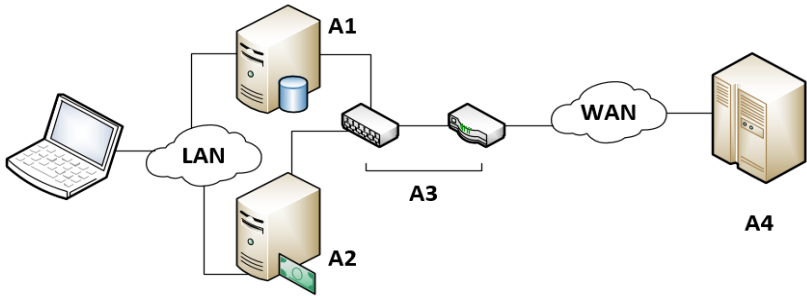
1. Советов, Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — 7-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 343 с. — ISBN 978-5-9916-3916-3. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/425228>

2. Боев, В. Д. Моделирование в среде Anylogic : учебное пособие для вузов / В. Д. Боев. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 298 с. — ISBN 978-5-534-02560-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/437871> (дата обращения: 03.02.2020).

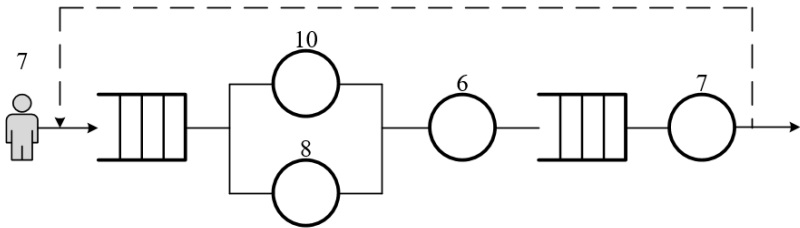
ПРИЛОЖЕНИЕ А



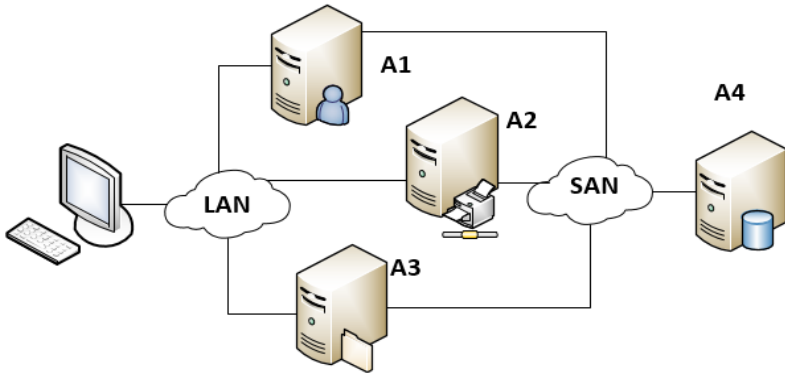
3



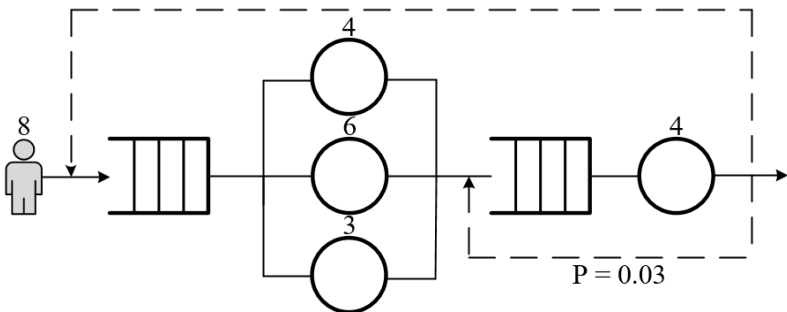
$P = 0.05$



4

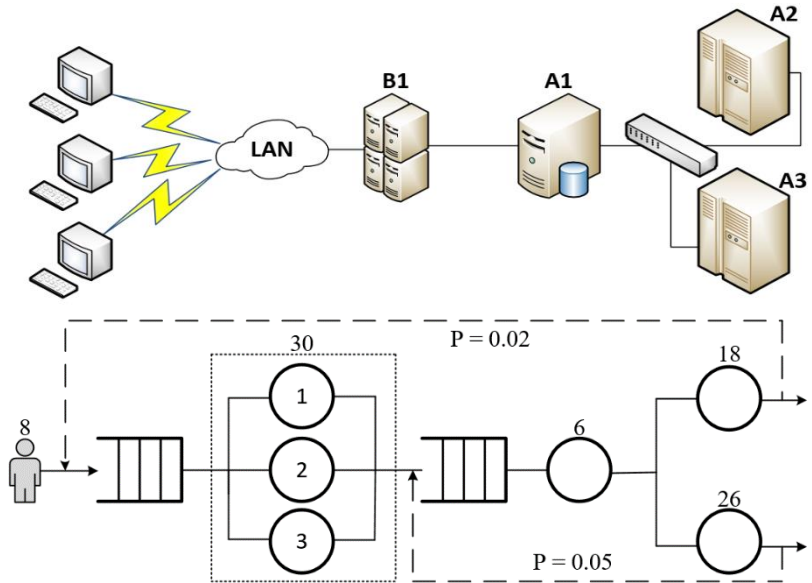


$P = 0.02$

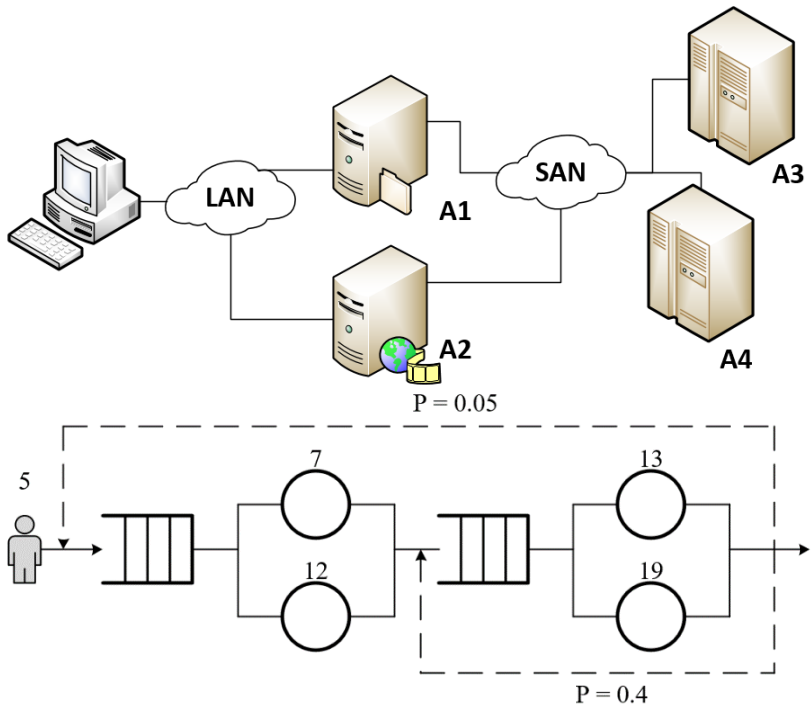


$P = 0.03$

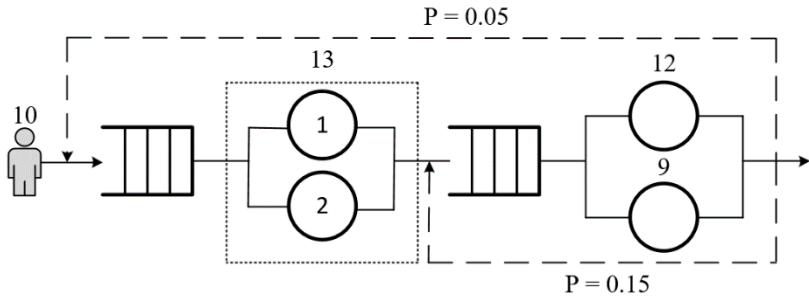
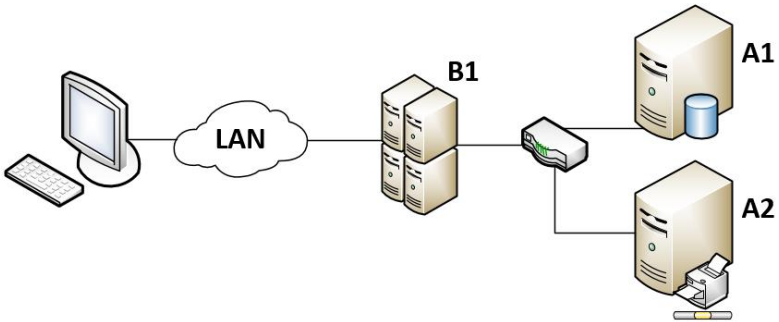
5



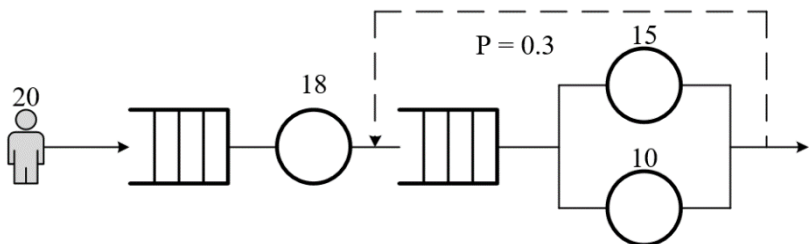
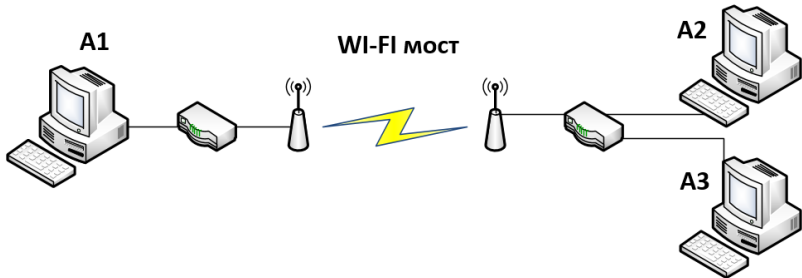
6



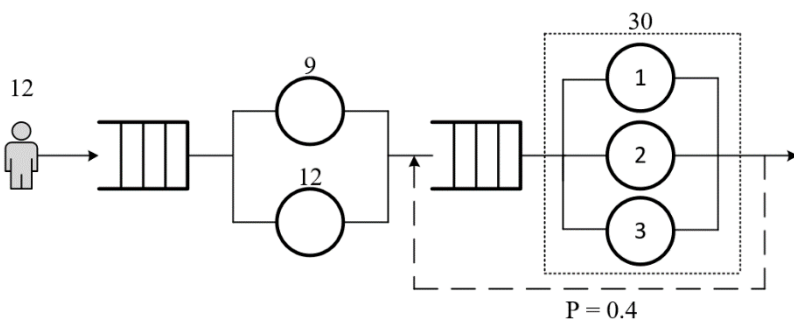
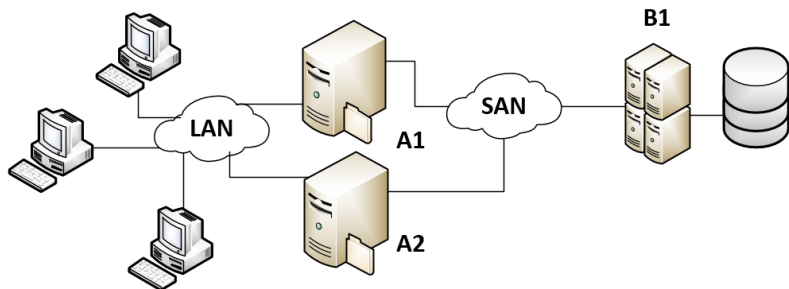
7



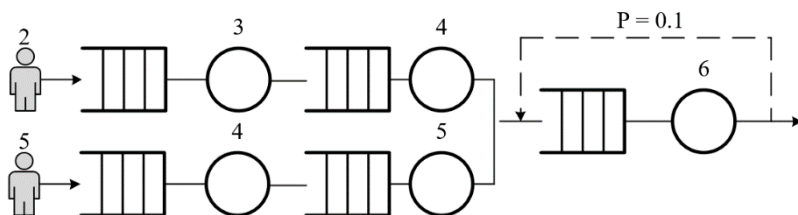
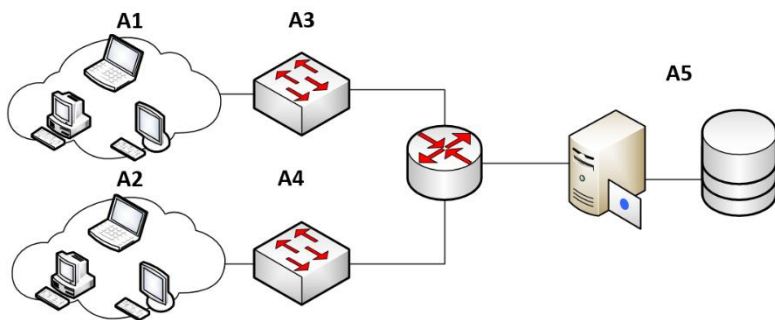
8



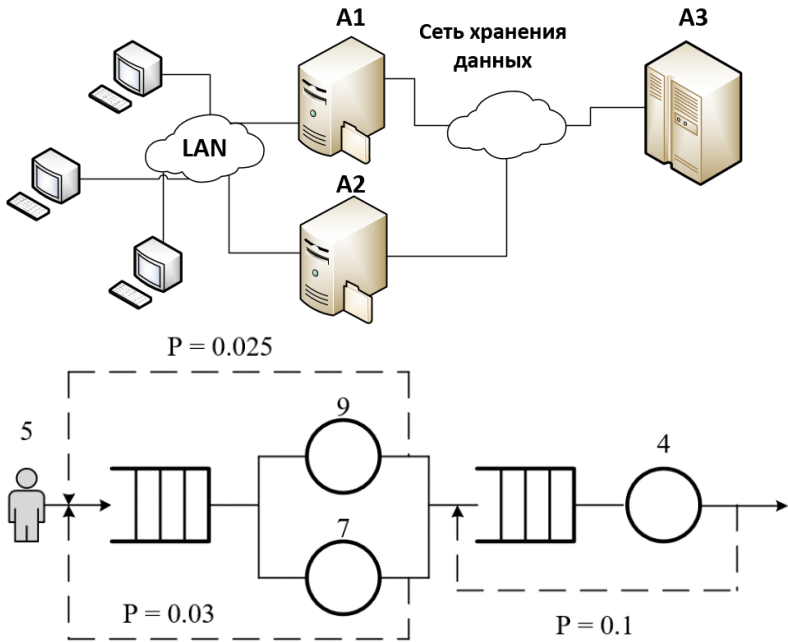
9



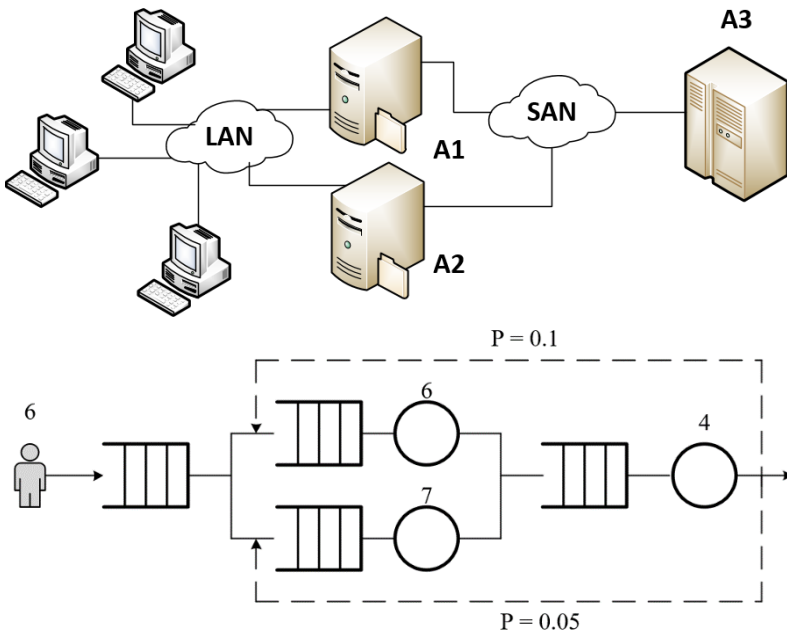
10



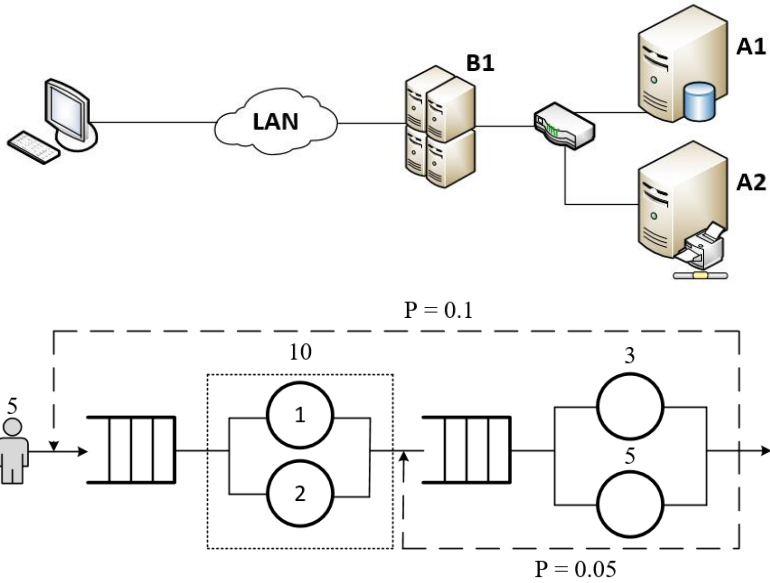
11



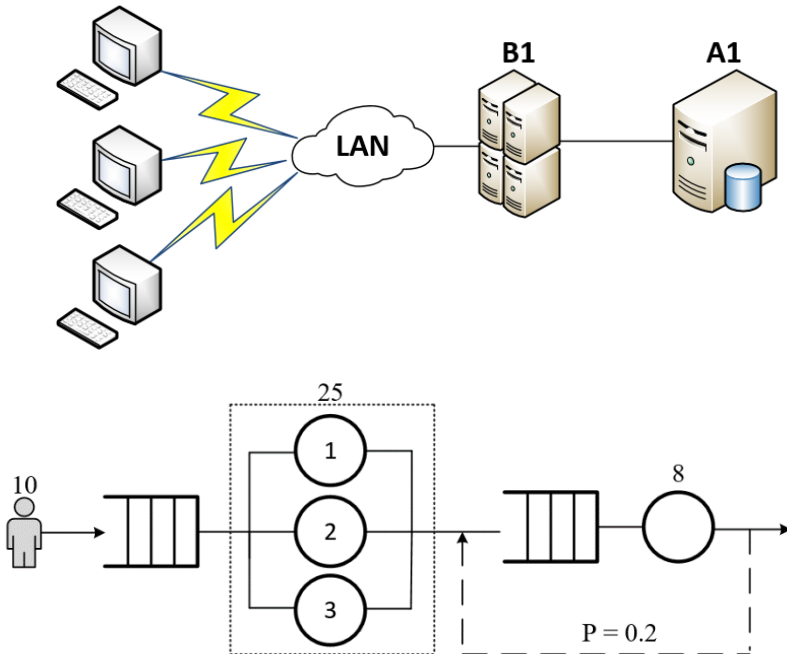
12



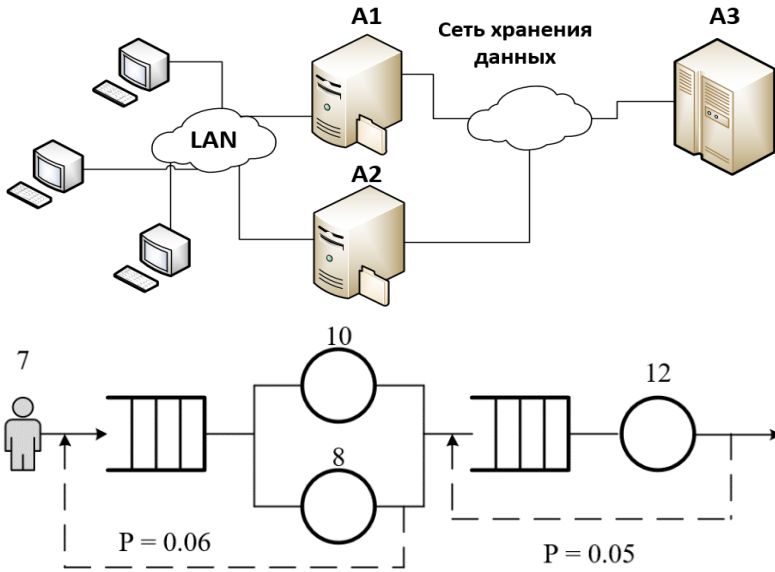
13



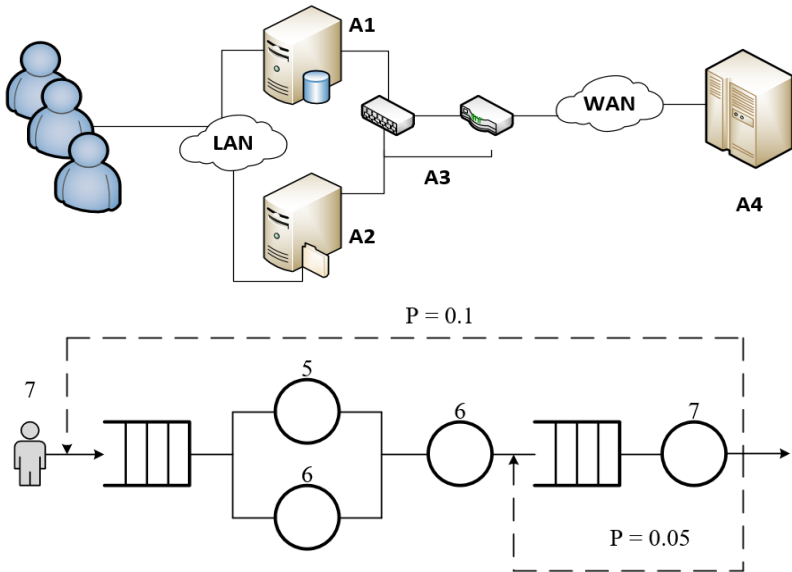
14



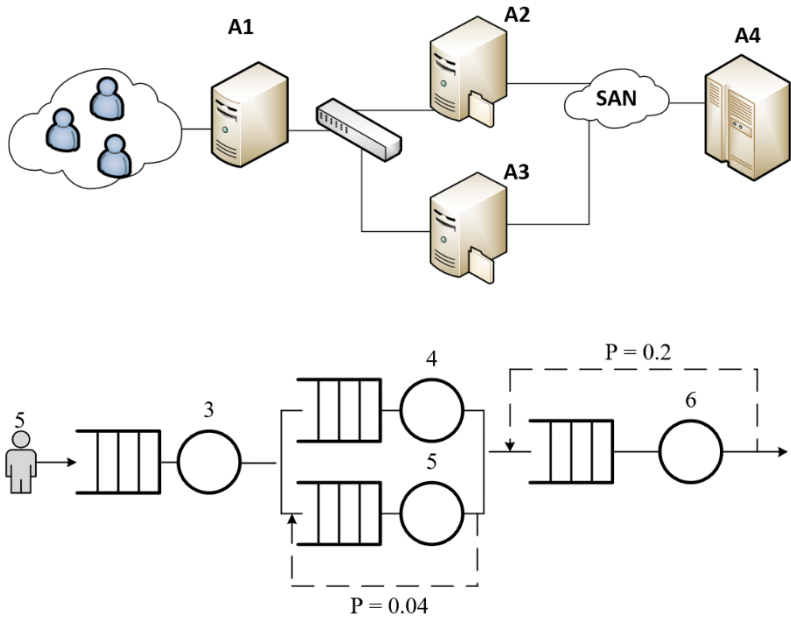
15



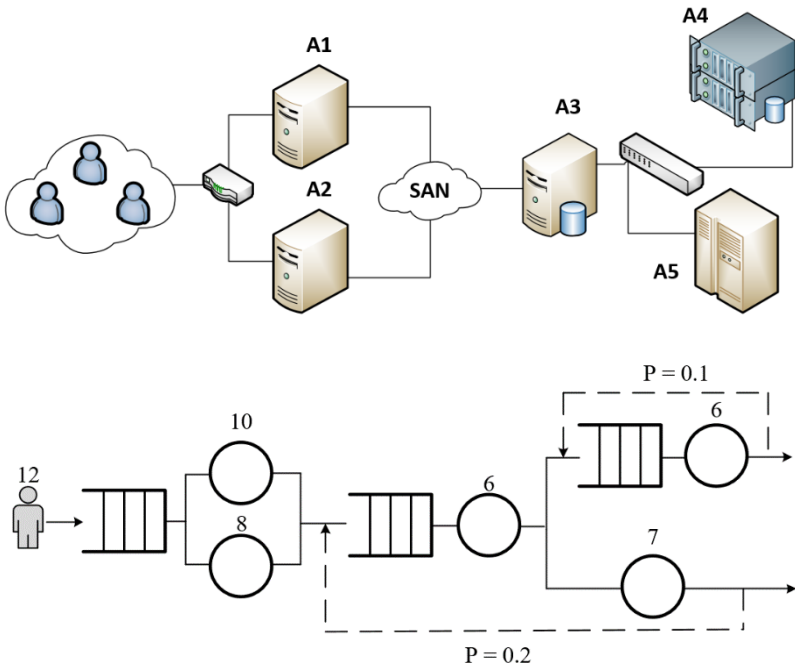
16



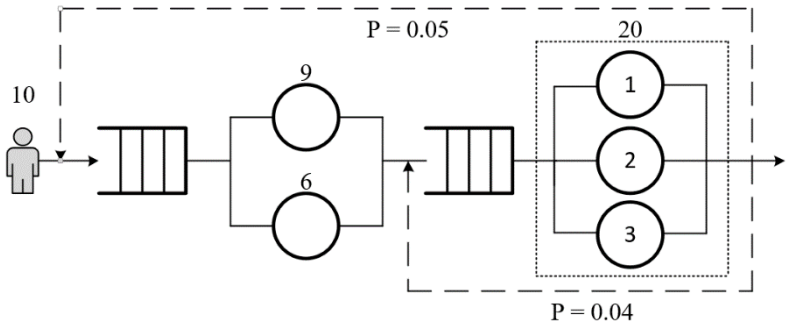
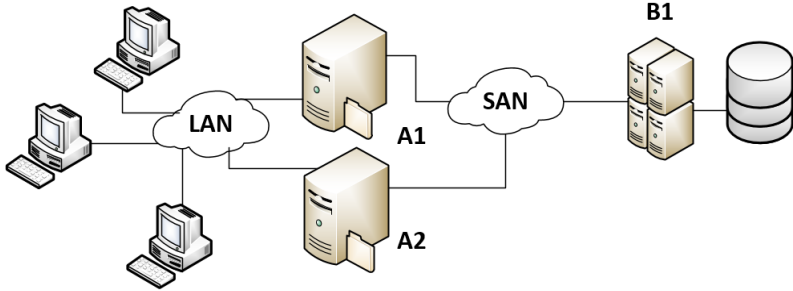
17



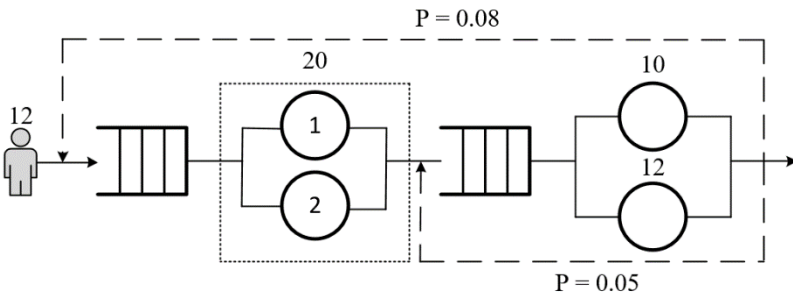
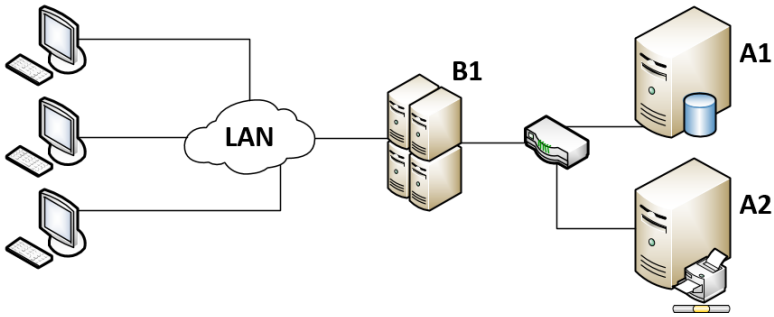
18



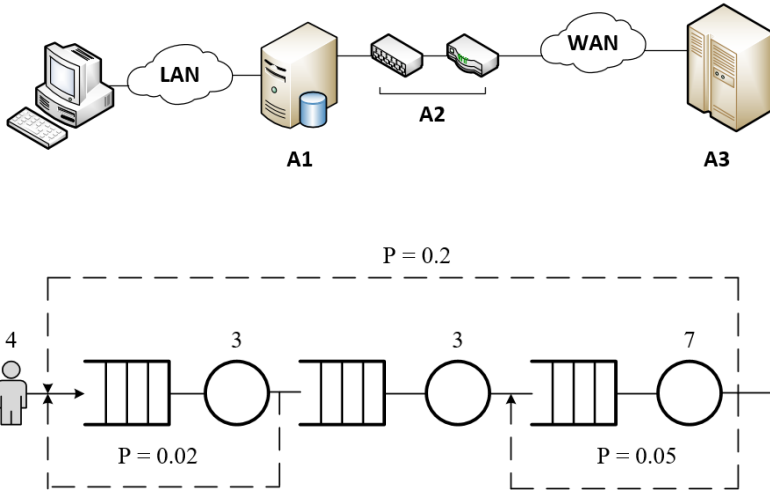
19



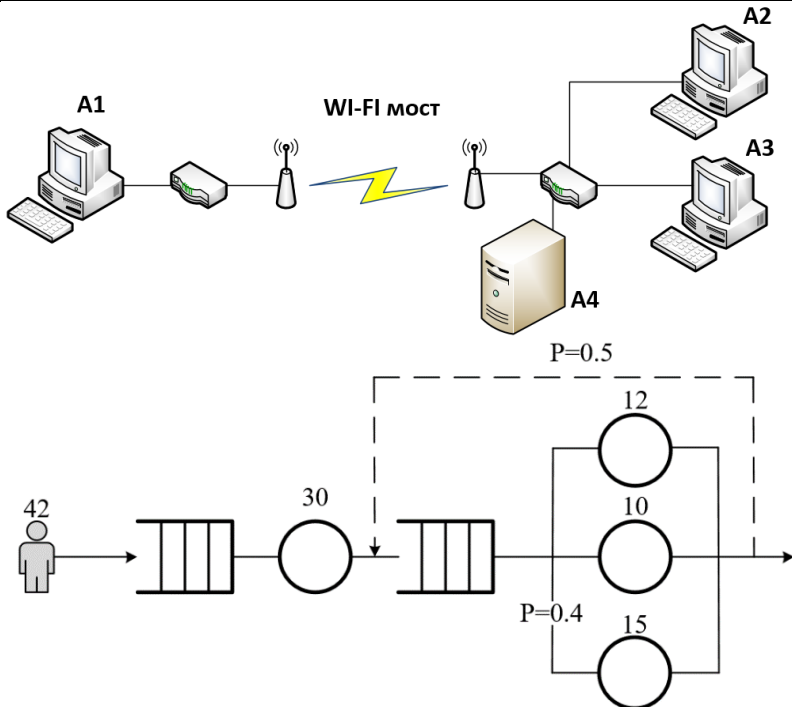
20



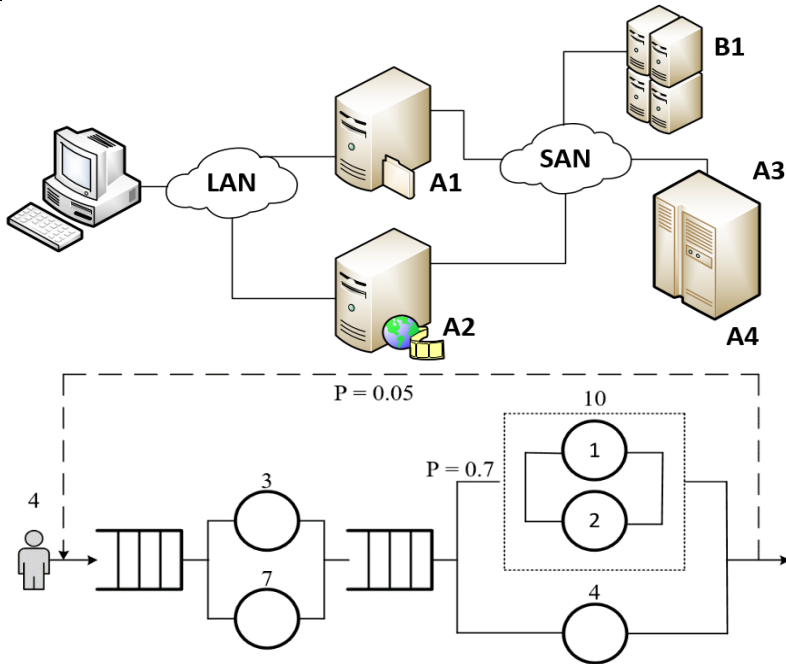
21



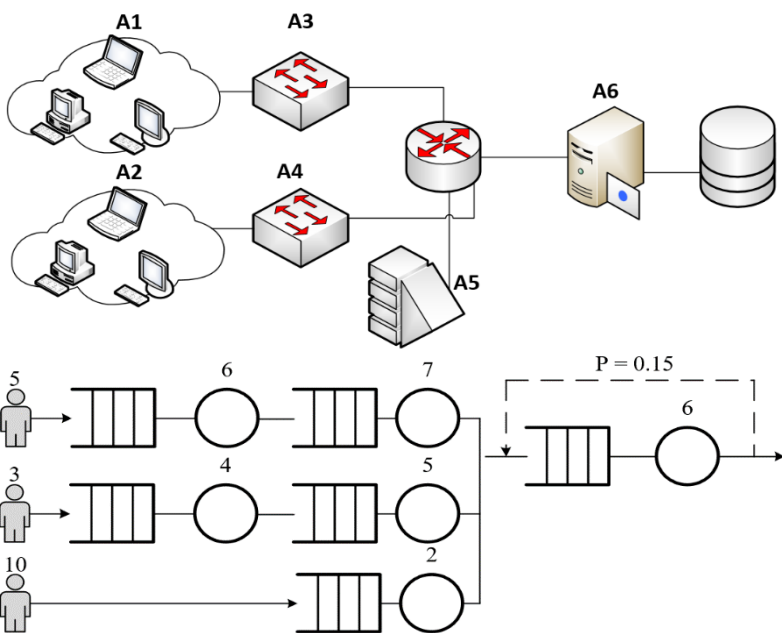
22



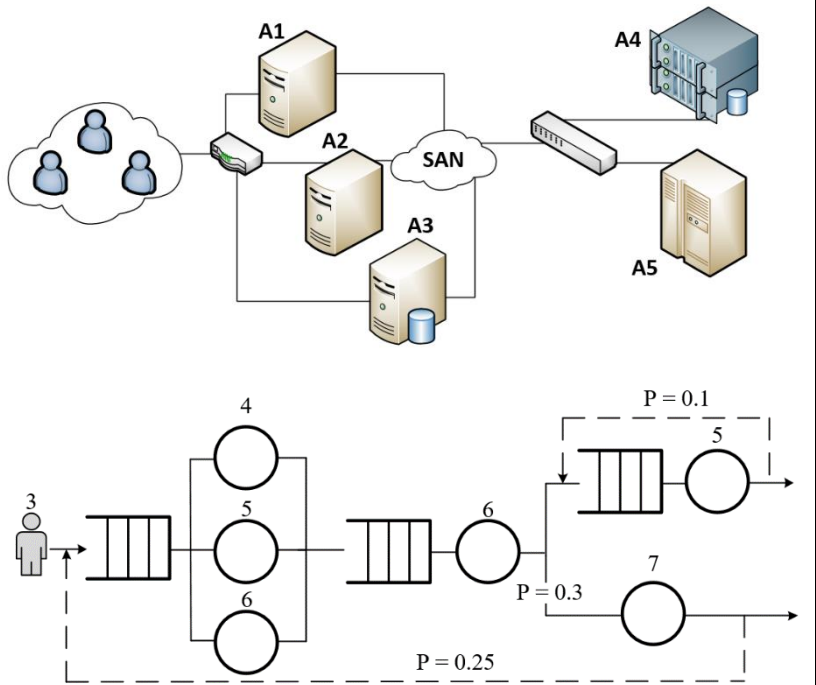
23



24



25



ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

*Методические указания
для выполнения лабораторных работ*

Составители: **Скатков** Александр Владимирович,
Балакирева Ирина Аркадьевна, **Шевченко** Виктория Игоревна

В авторской редакции

Изд. № 272/2020. Объем 2,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»