

Лабораторная работа № 6

Моделирование процесса передачи данных в информационно-вычислительной сети

Сеть передачи данных (СПД) осуществляет передачу пакетов между узлами коммутации информационно-вычислительной сети (ИВС).

Сеть представляет собой совокупность средств передачи и распределения данных. Выделяют *магистральную (базовую)* и *терминальную (абонентскую)* части ИВС.

Магистральная часть ИВС служит для передачи данных между вычислительными комплексами, ресурсы которых доступны для пользователей сети и включает:

- узлы коммутации (УК),
- соединяющие УК каналы связи (КС).

УК выполняет функции маршрутизации, передачи и коммутации данных и имеет для этого соответствующие аппаратно-программные средства. КС представляет собой совокупность технических средств и среды распространения, которые обеспечивают доставку данных в требуемую точку сети.

Терминальная часть ИВС используется для подключения непосредственно или через концентраторы нагрузки абонентских пунктов и терминалов пользователей. Концентратор – устройство, обеспечивающее сопряжение входных низкоскоростных каналов связи с выходным высокоскоростным каналом. Абонентские пункты оборудуются аппаратурой передачи данных и устройствами ввода-вывода (терминалами), с помощью которых пользователи могут осуществлять доступ к вычислительным ресурсам и базам данных сети. В качестве терминалов могут быть использованы как простейшие устройства ввода-вывода, так и интеллектуальные терминалы.

Рассмотрим режим коммутации пакетов, при котором данные из сообщений пользователей разбиваются на отдельные пакеты. Под *сообщением* понимается конечная последовательность символов, имеющая смысловое содержание. *Пакет* – это блок данных с заголовком, представленный в установленном формате и имеющий ограниченную максимальную длину. Маршруты передачи пакетов от источника к получателю определяются в каждом УК, куда они поступают.

ИВС с коммутацией пакетов обладают высокой эффективностью благодаря возможности быстрой перестройки путей передачи данных (маршрутизации) при возникновении перегрузок и повреждении элементов ИВС. Эффективность различных вариантов построения ИВС и ее фрагментов оценивается

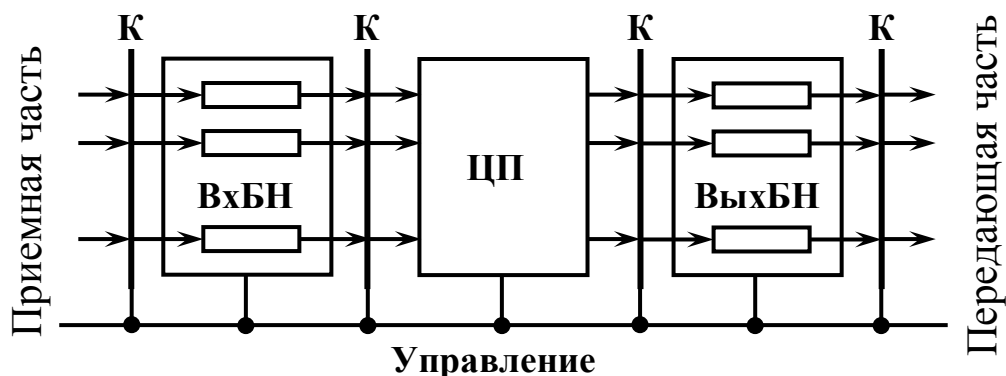
- средним временем доставки данных пользователям,
- вероятностью отказа в установлении требуемого пользователю соединения в данный момент времени.

Совокупность указанных показателей называют *вероятностно-временными характеристиками* ИВС.

Рассмотрим упрощенный пример: фрагмент ИВС, представляющий процесс взаимодействия двух соседних УК сети. Эти узлы соединены между собой дуплексным дискретным каналом связи (ДКС), позволяющим одновременно

передавать данные во встречных направлениях, т. е. имеется два автономных однонаправленных ДКС. Для определенности будем считать, что все сообщения, поступающие в СПД, являются однопакетными.

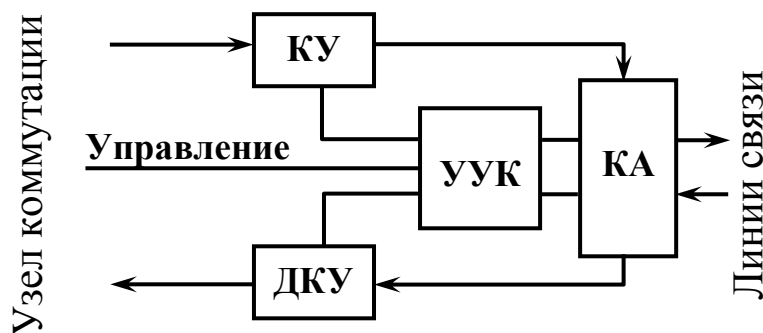
Структурная схема варианта УК представлена ниже:



ВхБН и ВыхБН – входные и выходные буферные накопители соответственно, К – коммутаторы; ЦП – центральный процессор.

УК функционирует следующим образом. После поступления пакета из входного КС узла этот пакет помещается во входной буферный накопитель (ВхБН). Затем ЦП на основе заголовка пакета и хранимой в УК маршрутной таблицы определяет требуемое направление дальнейшей передачи пакета и помещает пакет в выходной буферный накопитель (ВыхБН) для последующей передачи по выходному КС.

Структурная схема варианта ДКС представлена ниже:



КУ и ДКУ – кодирующее и декодирующее устройства соответственно, УУК – устройство управления каналом, КА – каналообразующая аппаратура.

На передающей стороне пакет из ВыхБН узла коммутации попадает в КУ, где производится кодирование (внесение избыточности для обеспечения помехоустойчивой передачи по КС). Согласование с конкретной средой распространения реализуется КА. На приемной стороне из КА пакет попадает в ДКУ, где выполняется обнаружение и/или исправление ошибок. Все функции управления КУ, ДКУ (в том числе принятие решения о необходимости повторного переспроса копии пакета с передающего УК) и взаимодействия с центральной частью узла реализуются УУК (является либо автономным, либо представляет собой часть процедур, выполняемых ЦП узла).

Пусть необходимо провести моделирование процесса функционирования фрагмента СПД с целью получения оценок вероятностно-временных характеристик этого процесса.

Далее приводится содержание основных этапов моделирования.

1. Построение концептуальной модели и ее формализация.

1.1 Постановка задачи машинного моделирования.

- В данном случае, исходя из масштаба задачи, можно не производить разбиение ее на подзадачи (такое разбиение уже было выполнено, когда для моделирования была выбрана не вся СПД, а только ее фрагмент).
- Основываясь на данных из литературных источников [1, 2, 3], можно сделать вывод о невозможности использования для оценки вероятностно-временных характеристик СПД аналитических методов и о необходимости ориентации на имитационный (или комбинированный) подход.

1.2 Анализ задачи моделирования.

- В качестве критериев оценки эффективности процесса функционирования фрагмента СПД выбраны вероятностно-временные характеристики:
 - вероятность того, что время t_d передачи пакета данных по ДКС не превысит заданного значения $T_d^{\text{зад}}$, т. е. $P(t_d \leq T_d^{\text{зад}})$,
 - вероятность того, что время t_n передачи пакета подтверждения не превысит заданного значения $T_n^{\text{зад}}$, т. е. $P(t_n \leq T_n^{\text{зад}})$,
 - математическое ожидание и дисперсия полного времени передачи пакета из одного УК в другой $M[T^{\text{ДСН}}]$ и $D[T^{\text{ДСН}}]$ соответственно.
- В качестве эндогенных (зависимых) переменных выберем
 - среднее время передачи пакета из одного УК в другой,
 - среднюю длину очереди в накопителе;

в качестве экзогенных (независимых) переменных

- интенсивности входящих потоков пакетов УК,
- время обработки пакетов ЦП и передачи пакетов по ДКС.

Необходимые уточнения – после выбора для формализации конкретных математических схем.

- По данным литературных источников [2, 3] можно провести идентификацию воздействий внешней среды на СПД, включая выбор моделей входящих потоков УК и потоков ошибок в ДКС.
- Предварительный анализ второго этапа: дискретный и неравномерный характер процессов, происходящих в СПД (поступление пакетов из различных источников, освобождение и занятие каналов процессора и т. п.), позволяет сделать вывод о целесообразности использования «принципа δz » (особых состояний). Исходя из этого, а также из стремления сокращения затрат времени на разработку модели, – выбор для машинной реализации одного из языков моделирования, ориентированного на дискретные события, например, GPSS.
- Предварительный анализ третьего этапа: исходя из выбранных критериев оценки эффективности, необходимо организовать сбор статистики для оценки характеристик передачи и ожидания пакетов по различным направлениям. Для правильной интерпретации полученных результатов необходима фиксация и

обработка характеристик: функции распределения, первых и вторых моментов рассматриваемых случайных величин. Это рационально сделать, ориентируясь на сервис, предоставляемый GPSS.

1.3 Определение требований к исходной информации.

- Необходимо решить вопрос о характеристиках потоков, входящих в УК, о параметрах передачи по ДКС и обработки пакетов УК и т. п.
Исходная информация о характере и интенсивности входящих потоков сообщений может быть получена из литературы об источниках дискретной информации, локальных сетях ЭВМ, пользовательских терминальных системах, а относительно потоков ошибок – из литературы по теории информации, помехоустойчивому кодированию, статистике ошибок в каналах связи.
- При этом: исходная информация об объекте моделирования с одной стороны, является неполной (точно не заданы конкретные терминальные средства пользователей, конкретные средства каналообразования), а с другой стороны, избыточной с точки зрения необходимости получения конкретных вероятностно-временных характеристик процесса функционирования фрагмента СПД (часть информации является второстепенной и может не учитываться в модели). Поэтому на следующих подэтапах необходимо провести ряд преобразований исходной информации в соответствии с целями проводимого исследования и упрощения модели.

1.4 Выдвижение гипотез и принятие предположений.

- Исходя из априорных сведений, можно сделать вывод о возможности построения модели и последующей машинной реализации этой модели при условии принятия ряда гипотез и предположений относительно функций распределений случайных величин, связанных с процессами, происходящими в СПД и воздействиями внешней среды.
 - Каждый из УК сети взаимодействует с большим числом абонентских (терминальных) пунктов и соседними УК. Поэтому входящие в УК потоки пакетов представляют собой суперпозицию большого числа потоков с различными законами распределения моментов их появления и разной интенсивностью. Это позволяет принять предположение о показательном (экспоненциальном) законе распределения интервалов между моментами поступления пакетов в УК (курс теории вероятностей, теорема о суммировании потоков).
 - С учетом гипотезы о независимости ошибок в кодовых комбинациях пакетов, передаваемых в ДКС, можно сделать предположение о геометрическом законе распределения числа повторных передач.
- Анализируя имеющуюся исходную информацию о СПД, можно сделать вывод, что входные накопители УК должны иметь небольшую емкость, достаточную для хранения одного пакета, а выходные накопители УК – обладать большой емкостью, т. к. нужно обеспечить хранение пакетов при ожидании ими разрешения на передачу по выходному каналу. Предварительную оценку емкости накопителей, которую необходимо задать

при моделировании, можно получить с помощью приближенных аналитических соотношений теории массового обслуживания.

1.5 *Определение параметров и переменных.*

- В рассматриваемом случае в качестве параметров модели могут быть выбраны емкости буферных накопителей УК (ВхБН и ВыхБН), которые представляют собой объем памяти, необходимый для промежуточного хранения информации, содержащейся в пакете. Емкость каждого накопителя будем обозначать через L и измерять в количестве пакетов, которые можно поместить в накопитель. В модели параметр L задается в исходных данных и служит для фиксации состояния заполненности накопителя при оценке потерь и времени ожидания.
- В качестве эндогенных переменных модели зададим
 - среднюю длину очереди в каждом накопителе – среднее число пакетов, ожидающих в накопителе дальнейшей обработки (передачи); будем обозначать среднюю длину очереди через $L_{\text{ср}}$ и измерять в количестве пакетов; диапазон изменения – $0 \div L$; в модели переменная оценивается на основании обработки статистики, собираемой по каждому накопителю;
 - среднее время передачи сообщений по ДКС – среднее время, необходимое для передачи всех пакетов одного сообщения с учетом возможных повторных передач из-за ошибок, появившихся в ДКС; будем обозначать среднее время передачи через $T_{\text{п}}$ и измерять в единицах времени; диапазон изменения – $0 \div 200$ единиц времени; в модели переменная оценивается на основании обработки статистики, собираемой по передаче пакетов по ДКС.
- В качестве экзогенных переменных модели выберем
 - время передачи каждого пакета по ДКС, представляющее собой случайную величину с законом распределения, определяемым числом повторных передач из-за ошибок в ДКС; обозначим время передачи пакета через $t^{\text{ДКС}}$ и будем измерять в единицах времени; диапазон изменения – от времени передачи одного пакета до времени передачи одного пакета, умноженного на допустимое число передач; в модели переменная имитируется исходя из состояния ДКС;
 - время обработки каждого пакета в ЦП, представляющее собой случайную величину с законом распределения, определяемым занятостью ДКС; обозначим время обработки пакета через t^{CPU} и будем измерять в единицах времени; в модели переменная имитируется исходя из наличия пакетов на входе ЦП.
- В качестве воздействий внешней среды зададим интенсивность входящего в УК потока пакетов, представляющего собой суммарный поток из всех потоков пользователей и других УК; интенсивность входящего потока обозначим через $\lambda_{\text{вх}}$ и будем измерять в количестве пакетов, поступивших в единицу времени; в модели переменная задается в исходных данных, воздействие среды имитируется путем генерации случайных чисел с требуемым законом распределения.

1.6 *Установление основного содержания модели.*

- Исходя из содержательной постановки задачи моделирования, можно предположить, что процессы, происходящие в объекте моделирования, являются по своей сути процессами обслуживания. Поэтому рационально описывать эти процессы на языке Q -схем.
- Возможным средством машинной реализации Q -схемы может быть пакет GPSS, хорошо приспособленный именно для моделирования процессов обслуживания.

1.7 Обоснование критериев оценки эффективности системы.

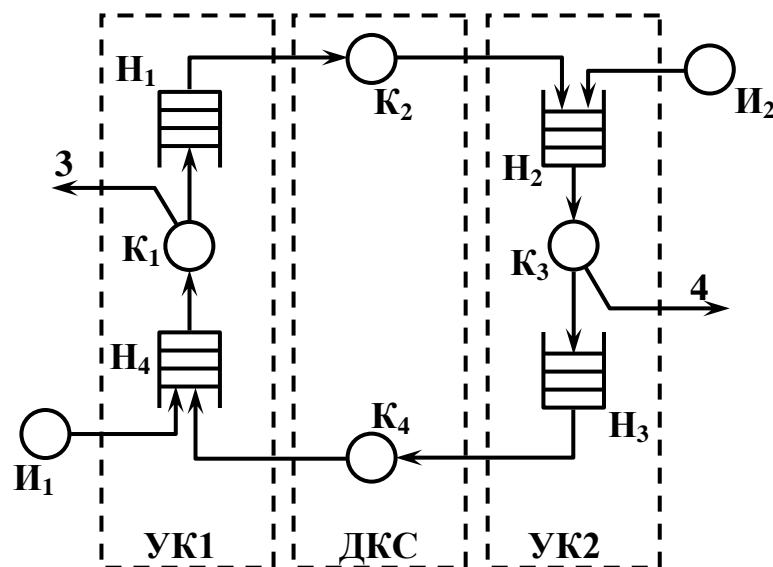
В рассматриваемом примере в качестве критериев оценки эффективности процесса функционирования фрагмента СПД заданы вероятностно-временные характеристики, описанные выше.

1.8 Определение процедур аппроксимации.

В рассматриваемом случае предполагается использование вероятностной процедуры и процедуры определения средних значений (исходя из требования учета фактора стохастичности и необходимости получения заданных вероятностно-временных характеристик).

1.9 Описание концептуальной модели.

Структурная схема модели взаимодействия двух УК (УК1 и УК2) через дискретный канал связи (ДКС) в символической Q -схем приведена ниже:



Поступление пакетов данных в УК имитируется источниками I_1 и I_2 . Пакеты буферятся накопителями H_4 и H_2 , где ожидают освобождения каналов K_1 и K_3 соответственно. Обслуживание в каналах имитирует обработку пакетов ЦП. После обслуживания в каналах (обработки пакетов ЦП) пакеты поступают в выходные накопители H_1 и H_3 . Далее, в порядке очереди, копии пакетов обслуживаются каналами K_2 и K_4 , имитирующими процесс передачи данных по ДКС. При приеме копии пакета без ошибки (т. е. при поступлении ее в H_2 или H_4) формируется подтверждение приема, которое в виде короткого пакета поступает в выходной накопитель данного узла (H_1 или H_3) для передачи на другой УК (т. е. снова реализуется обслуживание каналами K_1 и K_3). После подтверждения

правильного приема в узле-источнике уничтожается пакет, хранящийся в накопителе H_1 или H_3 (выходы 3 и 4 на структурной схеме).

1.10 Проверка достоверности концептуальной модели.

Один из методов проверки – применение обратных операций.

1.11 Составление технической документации по первому этапу моделирования.

Пояснительная записка должна включать постановку задачи моделирования и ее анализ, критерии оценки эффективности, параметры и переменные модели системы, гипотезы и предположения, принятые при построении модели, описание модели в абстрактных терминах и понятиях, описание ожидаемых результатов моделирования. Все это описано выше.

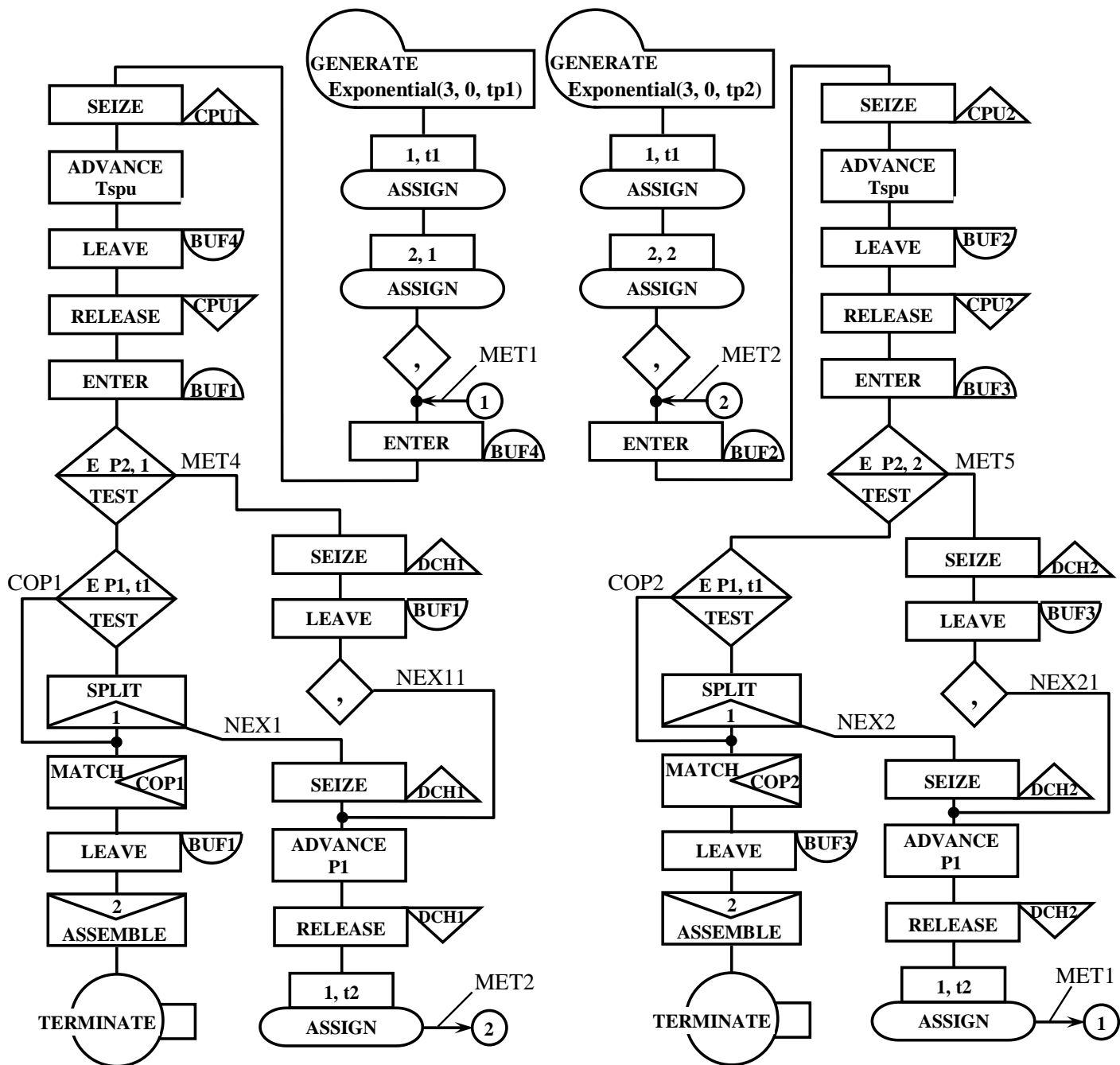
2. Алгоритмизация модели и ее машинная реализация.

2.1 Построение логической схемы модели.

В рассматриваемом примере для машинной реализации модели предполагается использование языка GPSS, в котором предусмотрена символика изображения схемы модели на языке блок-диаграмм. Это практически освобождает разработчика от данного подэтапа.

2.2 Получение математических соотношений.

Т. к. для реализации модели выбран язык GPSS, то необходимо разработать блок-диаграмму модели (логическую схему, адаптированную к особенностям GPSS). Блок-диаграмма модели функционирования фрагмента СПД приведена ниже:



Использованы обозначения:

BUF1, BUF2, BUF3 и BUF4 – накопители H_1 , H_2 , H_3 и H_4 соответственно;
 CPU1 и CPU2 – каналы обслуживания K_1 и K_3 соответственно (ЦП в УК);
 DCH1 и DCH2 – каналы обслуживания K_2 и K_4 соответственно (передача данных по ДКС);

$tp1$ и $tp2$ – средний интервал времени между поступлениями пакетов из источников I_1 и I_2 соответственно;

$t1$ и $t2$ – время передачи по ДКС одного пакета данных и одного подтверждения соответственно;

t_{cpu} – время обработки пакета в ЦП.

При построении алгоритма были использованы два параметра транзактов:

1 – время передачи пакета по ДКС (значение равно $t1$, если данный транзакт представляет пакет данных, и $t2$, если транзакт представляет подтверждение),

2 – номер источника, где первоначально был сгенерирован пакет.

2.3 Проверка достоверности модели системы.

Блок-диаграмма GPSS однозначно соответствует формализации модели в виде *Q*-схемы. Поэтому для проверки достаточно сопоставить блок-диаграмму с *Q*-схемой модели с учетом расширения описания элементов *Q*-схемы (источников, накопителей и каналов) блоками GPSS.

2.4 Выбор инструментальных средств моделирования.

Можно остановиться на предварительно выбранной на первом этапе ПЭВМ, в состав программного обеспечения которой входит интерпретатор GPSS.

2.5 Составление плана выполнения работ по программированию.

Для реализации рассматриваемой модели используется GPSS World, который работает в среде ОС Windows. Число команд для реализации разработанной модели в GPSS World составляет порядка 60, необходимый объем оперативной памяти – порядка 8 Мбайт. Ориентировочные затраты машинного времени на моделирование варианта фрагмента СПД составляют несколько секунд (в зависимости от ПЭВМ). Затраты времени на программирование при использовании GPSS World составляют около двух часов.

2.6 Спецификация и построение схемы программы.

При реализации программы с использованием GPSS нет необходимости в построении схемы программы, т. к. блок-диаграмма дает достаточную степень детализации для генерации рабочей программы. Тестирование полученной программы обеспечивается встроенными средствами системы GPSS World. Форма представления входных данных определяется в GPSS-программе, а форма выходных – задается редактором вывода.

2.7 Проверка достоверности схемы программы.

Средствами GPSS обеспечивается однозначный переход от блок-диаграммы к рабочей программе.

2.8 Проведение программирования модели.

В данном случае является формальным шагом (представление блок-диаграммы с помощью блоков и операторов GPSS).

2.9 Проверка достоверности программы.

Сгенерированная рабочая программа GPSS однозначно соответствует блок-диаграмме (это одно из преимуществ использования для моделирования специализированных пакетов прикладных программ на базе языков имитационного моделирования).

Проведенная повторная оценка затрат машинного времени на прогон модели подтверждает, что это время не превышает 2-3 секунд.

2.10 Составление технической документации по второму этапу.

В рассматриваемом примере входные переменные в GPSS-программе задаются в явном виде, а выходные определяются стандартным выводом (отчет) GPSS. Работа с программой заключается в запуске программы средствами GPSS World.

При оформлении программной документации второго этапа необходимо строго придерживаться стандартов ЕСПД.

3. Получение и интерпретация результатов моделирования.

3.1 Планирование машинного эксперимента с моделью системы.

■ Стратегическое планирование.

Для рассматриваемого примера заданы следующие исходные данные: (набор параметров и переменных):

- емкости накопителей УК $L_i = 30, i = 1, 2, 3, 4$;
- средний интервал времени между поступлениями пакетов $tp_k = 25, k = 1, 2$;
- время передачи пакета данных по ДКС $t1_j = 20, j = 1, 2$;
- время передачи пакета подтверждения по ДКС $t2_j = 1, j = 1, 2$;
- время обработки пакета в ЦП $tcpu_i = 2, i = 1, 2$;
- точность оценки характеристик $\varepsilon = 0,1$;
- достоверность оценки характеристик $q = 0,95$.

Для упрощения задачи предположим, что $L_1=L_2=L_3=L_4$, $tp_1=tp_2$ и $t1_1=t1_2$.

Введем обозначения факторов $x_1 = L_i$, $x_2 = tp_k$ и $x_3 = t1_j$. Выполнив масштабирование факторов, получим план ПФЭ типа 2^3 . Для такого количества факторов можно ограничиться проведением ПФЭ.

■ Тактическое планирование.

Для примера рассмотрим определение числа реализаций, необходимого для обеспечения требуемой точности и достоверности результатов моделирования.

Пусть \tilde{E} – оценка (среднее значение, вычисленное после N реализаций) характеристики E , величина $|E - \tilde{E}|$ – абсолютная точность оценки. Учитывая,

что $D(\tilde{E}) = \frac{\sigma^2}{N}$, из неравенства Чебышева $q = P(|E - \tilde{E}| \leq \varepsilon) \geq 1 - \frac{\sigma^2}{N\varepsilon^2}$,

откуда $N \geq \frac{\sigma^2}{(1-q)\varepsilon^2}$.

Например, для получения оценки с точностью $\varepsilon = \frac{\sigma}{10}$ и достоверностью $q = 0,95$ необходимо имитировать доставку в СПД $N \geq \frac{100}{0,05} = 2000$ пакетов.

3.2 Определение требований к вычислительным средствам.

Минимальный комплект технических средств и характеристики инструментальной ПЭВМ задаются исходя из условий применения системы GPSS World.

3.3 Проведение рабочих расчетов.

Особенностью подготовки исходных данных в рассматриваемом примере является то, что они вносятся в явном виде в текст программы. Поэтому подготовка сводится к занесению данных в соответствующие блоки программы.

3.4 Анализ результатов моделирования.

Для рассматриваемого примера с помощью встроенных средств GPSS получены отдельные статистики по функционированию каждого устройства СПД и обобщенная статистика процесса передачи пакетов в рассматриваемом фрагменте СПД.

Lab3.31.1 - REPORT

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
CPU1	1213	0.243	2.000	1	0	0	0	0	0
DCH1	804	0.861	10.713	1	0	0	0	0	0
CPU2	1198	0.240	2.000	1	1609	0	0	0	0
DCH2	803	0.828	10.314	1	1611	0	0	0	2

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
BUF1	30	28	0	30	1213	1	7.714	0.257	0	0
BUF2	30	29	0	5	1198	1	0.313	0.010	0	0
BUF3	30	26	0	24	1197	1	6.810	0.227	0	0
BUF4	30	30	0	5	1213	1	0.318	0.011	0	0

На основе этих данных можно получить полное представление о процессах, происходящих в СПД, моделирование которых требовалось выполнить при постановке задачи.

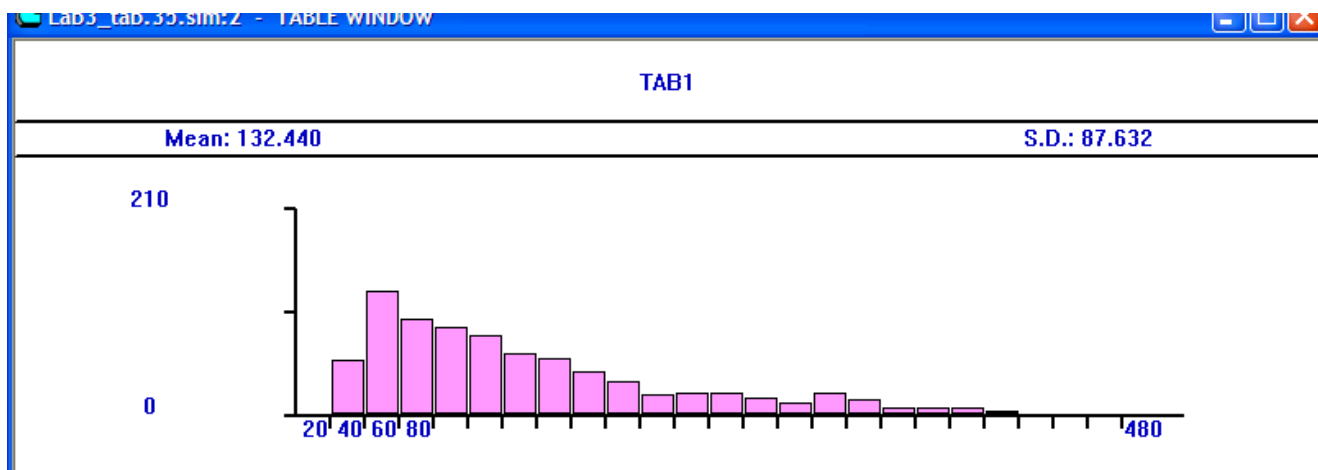
3.5 Представление результатов моделирования.

В рассматриваемом примере наряду со стандартной статистикой о функционировании устройств и накопителей могут быть использованы также возможности GPSS по сбору статистики в виде таблицы. В данном случае целесообразно табулировать время нахождения транзакта в модели (время передачи пакета из одного УК в другой) – стандартный числовой атрибут M1.

Lab3_tab.35.1 - REPORT

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TAB1	132.440	87.632		0		
		20.000	-	40.000	55	6.87
		40.000	-	60.000	125	22.47
		60.000	-	80.000	98	34.71
		80.000	-	100.000	89	45.82
		100.000	-	120.000	81	55.93
		120.000	-	140.000	62	63.67
		140.000	-	160.000	58	70.91
		160.000	-	180.000	44	76.40
		180.000	-	200.000	34	80.65
		200.000	-	220.000	20	83.15
		220.000	-	240.000	22	85.89
		240.000	-	260.000	22	88.64
		260.000	-	280.000	17	90.76
		280.000	-	300.000	13	92.38
		300.000	-	320.000	22	95.13
		320.000	-	340.000	15	97.00
		340.000	-	360.000	7	97.88
		360.000	-	380.000	7	98.75
		380.000	-	400.000	8	99.75
		400.000	-	420.000	2	100.00

На основе полученной таблицы может быть построена гистограмма распределения времени передачи пакета данных по фрагменту СПД.



Применение статистических таблиц позволяет получить более широкий набор характеристик процесса передачи пакетов в СПД, а гистограмма более наглядно представляет полученные в результате моделирования характеристики процесса функционирования СПД. С помощью гистограмм можно достаточно просто оценить некоторые дополнительные характеристики, например, выдвинуть и проверить гипотезу о характере закона распределения времени передачи пакета, оценить вероятность превышения заданного времени передачи пакета и т. п.

3.6 Интерпретация результатов моделирования.

В рассматриваемом примере специальной интерпретации результатов моделирования не требуется, т. к.

- не проводилось масштабирование переменных, следовательно, нет необходимости в их переводе в исходные значения;
- при формализации и алгоритмизации объекта моделирования реальные элементы системы не подвергались декомпозиции, а были смоделированы соответствующими объектами GPSS, поэтому статистика, полученная по объектам GPSS, непосредственно является статистикой элементов моделируемой системы;
- специальные статистики о процессе функционирования фрагмента СПД организовывались так, чтобы исключить неоднозначность понимания.

Таким образом, полученные результаты моделирования отражают характеристики процесса функционирования исследуемого объекта (фрагмента СПД) и выражены в единицах измерения реальных физических величин, характеризующих СПД.

3.7 Подведение итогов моделирования и выдача рекомендаций.

Можно сделать вывод, что полученные на ЭВМ результаты отражают основные особенности функционирования объекта и позволяют качественно и количественно оценить его поведение.

На основе полученных оценок характеристик функционирования объекта можно дать, например, следующие рекомендации. Загрузка ЦП составляет порядка 25%, а загрузка каналов связи приближается к 90%, т. е. имеет место несбалансированность производительностей ЦП и каналов связи СПД. Поэтому, в зависимости от допустимого времени передачи пакета, можно либо снизить производительность процессоров, что удешевит систему, либо повысить

производительность каналов связи, обеспечивая заданное качество передачи данных.

3.8 Составление технической документации по третьему этапу.

Содержание основных документов рассмотрено в процессе описания подэтапов. Комплект технической документации должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ.

Задание (15 баллов).

Исследовать на машинной модели функционирование фрагмента СПД в течение 10000 ед. времени. Концептуальная модель в виде Q -схемы и блок-диаграмма модели приведены выше. В ходе моделирования выполнить следующее.

1. Выбрать значения параметров L_i , tp_k и $t1_j$ в соответствии с номером своего варианта (таблица 6.1).
2. Составить программу на языке **GPSS World**, реализующую представленную модель.
3. Добавить к тексту программы блоки (операторы), обеспечивающие
 - определение функции распределения времени передачи пакетов сообщений между УК,
 - получение оценки вероятности переполнения накопителей,
 - получение графика изменения длины очереди пакетов в выходных накопителях,
 - получение функции распределения времени ожидания пакетом подтверждения в выходной очереди.
4. Провести имитационный эксперимент на компьютере, получить результаты прогона модели.
5. Подвести итоги моделирования и сформулировать рекомендации.

Таблица 6.1

Вариант	L_i , пакетов	tp_k , ед. вр.	$t1_j$, ед. вр.
1	20	15	10
2	25	20	15
3	30	20	20
4	35	25	20

Содержание отчета.

1. Программа на языке **GPSS World**, реализующая модель функционирования фрагмента СПД.
2. Параметры моделируемой системы, полученные в результате имитационного моделирования:
 - среднее время обслуживания пакета каждым из обслуживающих устройств;
 - данные о загруженности обрабатывающих устройств;
 - данные о заполненности накопителей;

- гистограмма распределения времени передачи пакета данных по фрагменту СПД;
- оценка вероятностей переполнения накопителей;
- график изменения длины очереди пакетов в выходных накопителях;
- гистограмма распределения времени ожидания пакетом подтверждения в выходной очереди.

3. Анализ результатов моделирования, итоги и рекомендации.