



УДК 681.326

© 2001 г. **Н.А. Гребенников,**
В.М. Постников, канд. техн. наук
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И СЕТЕЙ

В статье рассмотрены особенности построения и практического использования разработанной системы моделирования вычислительных комплексов и сетей. Предлагаемая система моделирования позволяет совмещать аналитическое и имитационное исследование вычислительных комплексов и сетей, формализуемых в виде сетей массового обслуживания.

Введение

Целью математического моделирования вычислительных комплексов и сетей (ВКиС) является получение информации об исследуемой системе и принятие на ее основе рациональных решений по выбору состава, структуры и характеристик отдельных функциональных элементов ВКиС. Моделирование позволяет с меньшими затратами воссоздать процесс работы ВКиС с целью выбора рационального варианта ВКиС среди множества альтернативных. В настоящее время широко применяются два вида математического моделирования: аналитическое и имитационное. Аналитическое моделирование позволяет в простой и удобной форме получить функциональные зависимости выходных характеристик модели от входных. Однако такие зависимости удается получить для сравнительно простых систем. Более сложные задачи обычно решают методом имитационного моделирования. При этом в имитационной модели учитываются, по возможности, все основные особенности процесса функционирования реальной системы во времени. Для создания имитационных моделей ВКиС используют языки имитационного моделирования, при этом чаще всего – язык моделирования GPSS. Программа модели, написанная на языке GPSS, работает в режиме интерпретации, генерирует транзакты и передает их из блока в блок в соответствии с правилами, которые установ-

лены в блоках. Создание имитационной модели исследуемой системы на языке GPSS довольно часто является трудоемкой задачей, требующей больших затрат времени на написание и отладку программы имитационной модели. Для сокращения этих затрат была разработана система моделирования вычислительных комплексов и сетей – СМВКиС. СМВКиС позволяет проводить имитационное моделирование, минуя стадию ручного написания текста программы модели на языке моделирования GPSS. Кроме этого, СМВКиС дает возможность производить аналитическое моделирование замкнутых сетей массового обслуживания методом фонового потока.

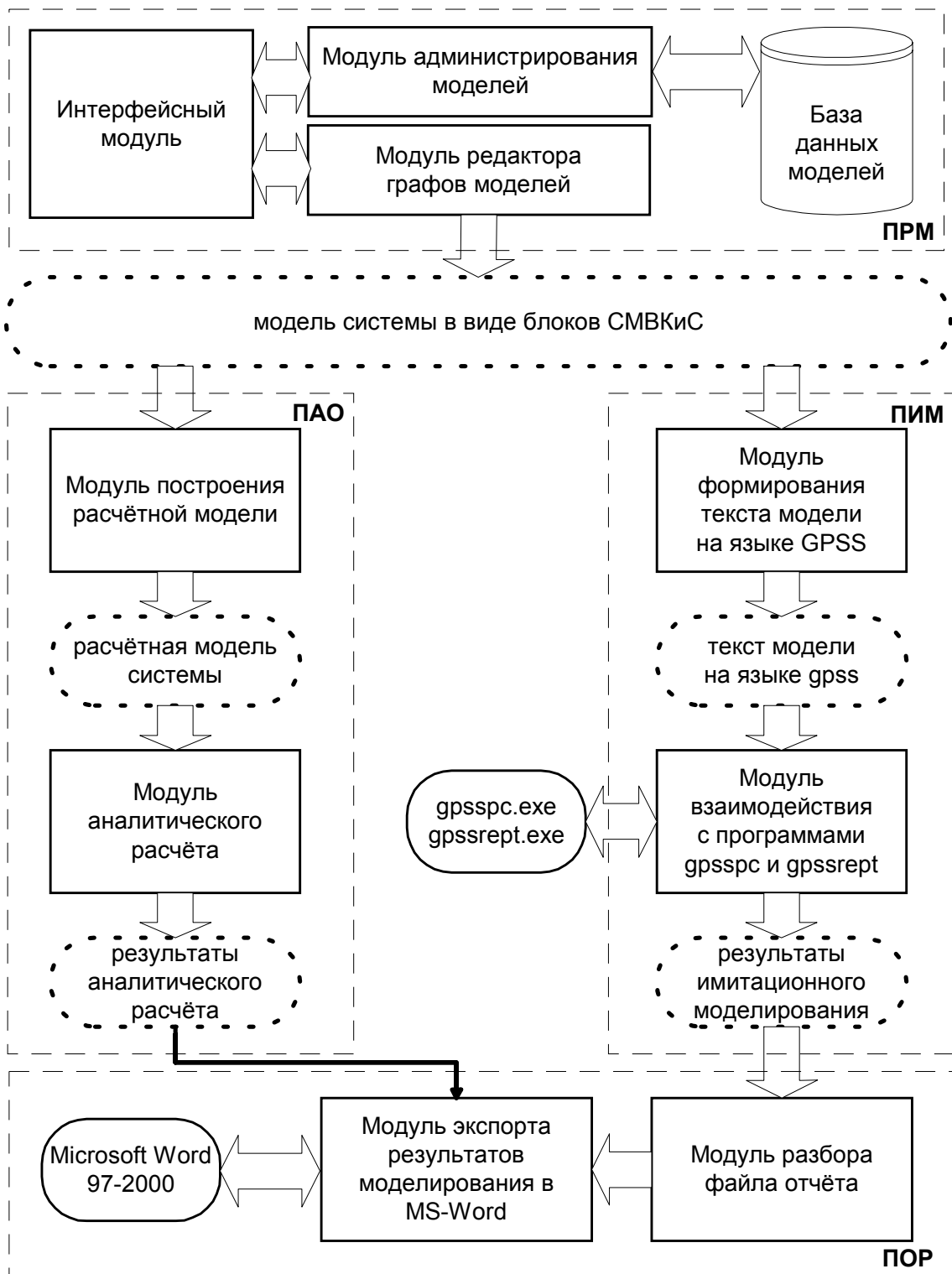
Структурная схема СМВКиС

Укрупненная структурная схема СМВКиС приведена на рис. 1. СМВКиС построена по модульному принципу и состоит из четырех подсистем: 1) работы с моделями, 2) имитационного моделирования, 3) аналитической обработки, 4) обработки результатов. Каждая из подсистем состоит из нескольких модулей.

Подсистема работы с моделями состоит из интерфейсного модуля, модуля администрирования моделей и модуля редактора графов моделей. Интерфейсный модуль обеспечивает взаимодействие всех остальных подсистем. Это позволяет обеспечить для системы стандартный интерфейс Windows-программы, при котором существует одно главное окно программы, через которое происходит взаимодействие с пользователем и вызов остальных подсистем.

Основной задачей модуля администрирования моделей является поддержка общих операций с моделями (создание, открытие, сохранение, закрытие, переименование, удаление, задание параметров), а также ведение той части БД, которая относится к моделям в целом. В СМВКиС структурно под моделью понимается совокупность записей в базе данных (БД) о модели и ее параметрах, о графе модели и текст модели. Считается, что с моделью также связаны три файла: файл текста модели (*.gps), файл отчета по модели (*.ger) и файл изображения модели (*.bmp).

Третьим модулем подсистемы работы с моделями является модуль редактора графов моделей. Двумя главными задачами редактора графов являются визуальное отображение графа модели и работа с параметрами всех объектов, составляющих граф модели. При этом наиболее интенсивно используется БД системы, хранящая как параметры отображения объектов, так и значения параметров, определяющих свойства объектов в моделируемой системе. Под графом модели в СМВКиС понимается совокупность блоков языка СМВКиС, их свойств (рабочих параметров блоков языка СМВКиС) и связей между блоками.



Примечание:

- модули SMBKIS
- представления модели системы или результаты моделирования
- внешние модули
- PPM - подсистема работы с моделями
- PAO - подсистема аналитической обработки
- PIM - подсистема имитационного моделирования
- POR - подсистема обработки результатов

Рис. 1. Структурная схема SMBKIS

Связи, соединяющие блоки, указывают маршруты потоков сообщений, то есть описывают последовательность выполняемых событий. Выбор маршрута потока сообщений может основываться на статистических или логических условиях, действующих в момент выбора. Поэтому от блока может отходить несколько связей или же к блоку может подходить несколько связей.

На выходе подсистемы работы с моделями СМВКиС формируется *модель исследуемой системы в виде блоков языка СМВКиС*. После этого на основе данной модели возможно проведение аналитического и/или имитационного моделирования. Подсистема имитационного моделирования состоит из модуля формирования текста модели на языке GPSS и модуля взаимодействия с программами `gpsspc` и `gpssrept`.

Модуль автоматического формирования текста программы модели на языке GPSS переводит модель исследуемой системы в виде блоков языка СМВКиС в *текст программы модели на языке GPSS*. Текст формируется на основании информации о блоках языка СМВКиС, о рабочих параметрах блоков и связях между блоками. При добавлении новых блоков в модель в текст программы модели на языке GPSS также добавляются новые фрагменты, соответствующие этим блокам. При изменении параметров блоков модели соответствующие фрагменты текста программы модели на языке GPSS также изменяются. При удалении блоков модели соответствующие им фрагменты текста также удаляются из текста программы модели. В подсистеме реализован достаточно сложный алгоритм формирования правильной последовательности операторов в тексте программы модели на языке GPSS независимо от того, в какой последовательности блоки добавлялись к графу модели. Главное, чтобы блоки были корректно соединены связями. С точки зрения данной подсистемы, весь текст программы модели разбит на шесть областей:

- в области (FVAR) располагаются определения используемых переменных;
- в области (FSTOR) располагаются определения емкостей используемых многоканальных обслуживающих аппаратов;
- в области (FEXP) располагаются описания всех функций, в соответствии с которыми происходят генерация и обслуживание транзактов, а также описание функций разветвителей при переходе по вероятностям;
- в области (FTABL) располагаются описания всех таблиц, используемых в блоках сбора статистики;
- в области (FMAIN) располагаются все основные блоки GPSS программы, которые описывают полный путь движения транзактов от генератора до терминатора;
- в области (FEND) располагаются параметры GPSS программы – время моделирования, имя файла отчета о результатах моделирования и т. д.

Модуль взаимодействия с программами gpsspc и gpssrept реализует процедуру имитационного моделирования, используя программы системы моделирования GPSS/PC v2.0. Основными задачами этой подсистемы являются запуск, корректная передача требуемых параметров, отслеживание процесса работы и момента окончания функционирования программ gpsspc и gpssrept системы моделирования GPSS/PC v2.0. При этом запуск данных программ осуществляется как запуск новых процессов операционной системы. Результаты имитационного моделирования сохраняются в файле отчета определенной в системе GPSS/PC v2.0 структуры.

Подсистема аналитической обработки состоит из модуля построения расчетной модели и модуля аналитического расчета.

Модуль построения расчетной модели позволяет строить расчетную модель системы на основе модели системы в виде блоков языка СМВКиС. Расчетная модель представляет собой *канал обслуживания* (КО), который в свою очередь состоит из некоторого числа узлов обслуживания (УО):

$$КО = \{УО_i\}, i=1 \dots M,$$

где M – количество узлов обслуживания в канале обслуживания. По каналу обслуживания движутся транзакты, число которых является параметром модели (N). При создании расчетной модели следует избавиться от узлов переходов, определив на их основе параметр $N_{\text{прох}}$ для всех узлов обслуживания. Каждый из узлов обслуживания характеризуется параметрами двух типов:

- *общие параметры* – к которым относятся $t_{\text{обс}i}$ – среднее значение времени обслуживания в данном узле обслуживания и $N_{\text{прох}i}$ – число проходов данного узла транзактом в одном цикле обработки;
- *частные параметры* – которые определяют типом узла обслуживания (см. ниже).

$$УО_i \rightarrow (t_{\text{обс}i}, N_{\text{прох}i}, \dots)$$

Каждый из узлов обслуживания КО представляет собой узел обслуживания одного из четырех типов – «простое обслуживание», «простое обслуживание с ожиданием», «параллельное обслуживание» и «вероятностное параллельное обслуживание». В системе используются следующие типы узлов обслуживания: обслуживание без ожидания (узел – УО_{T0}), обслуживание с ожиданием (узел – УО_{T1}), параллельное обслуживание, т.е. многоканальная СМО (узел – УО_{T2}), и вероятностное параллельное обслуживание, т.е. набор параллельных одноканальных СМО (узел – УО_{T3}).

Модуль аналитического расчета реализует обобщенный алгоритм расчёта характеристик замкнутой сети массового обслуживания методом фонового потока. Исходные данные модуля – построенная на предыдущем шаге расчетная модель исследуемой системы. Данный алгоритм приведен на рис. 2.

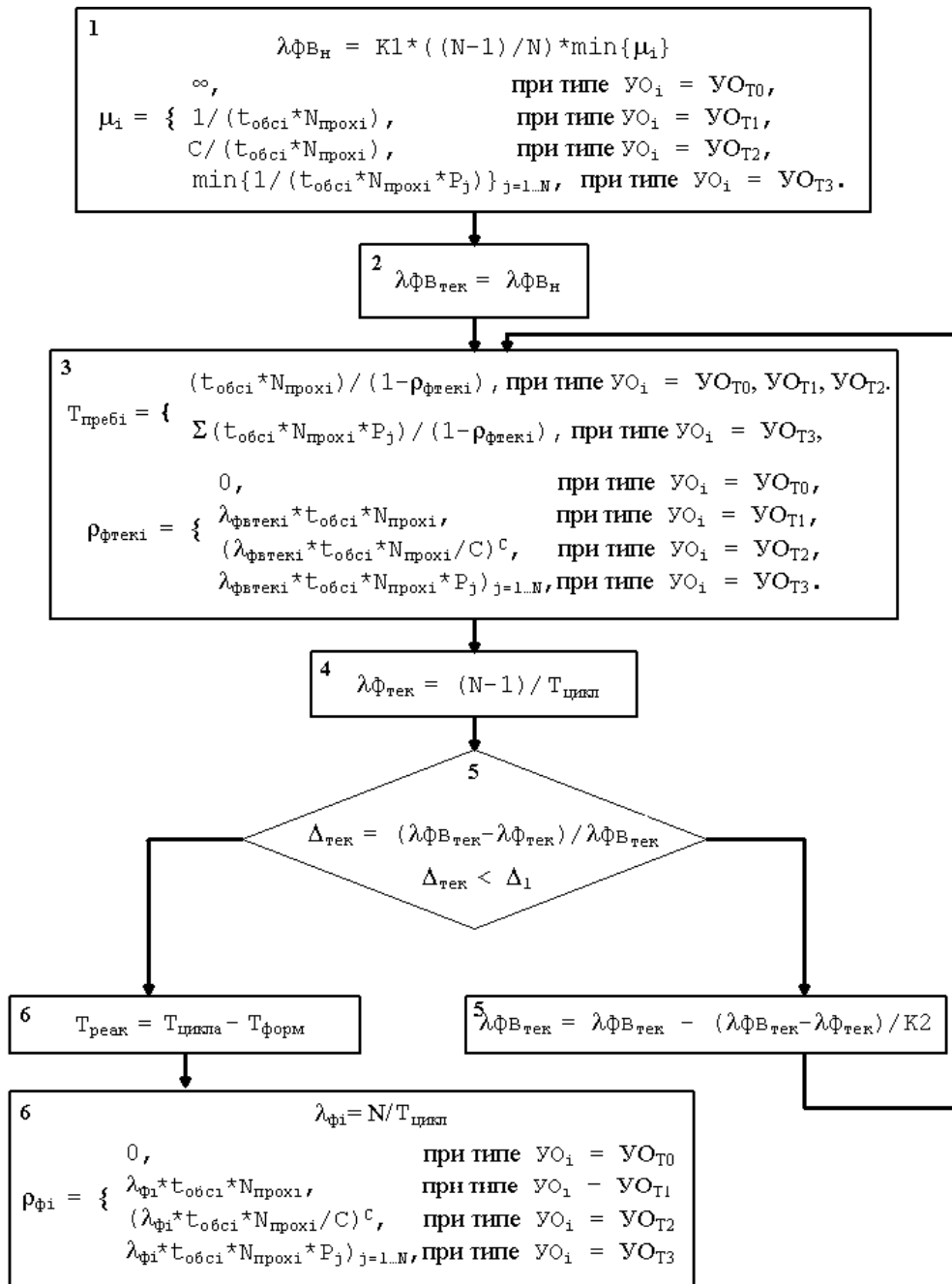


Рис. 2. Обобщенный алгоритм расчёта характеристик замкнутой сети массового обслуживания методом фонового потока, используемый в СМВКиС.

Пояснение к работе алгоритма (см. рис. 2).

1. Находим начальное приближение для верхней границы фонового потока заявок в системе λ_{Φ} ($\lambda_{\Phi_{ВН}}$), с учетом того, что загрузка любого узла системы ($\rho = \lambda / \mu$) должна быть < 1 , т.е.

$$\lambda_{\Phi_{ВН}} = K1 * ((N-1)/N) * \min\{\mu_i\},$$

где μ_i – производительность i -го узла системы ($i=1..M$), а $\min\{\mu_i\}$ определяет узкое место системы и вычисляется следующим образом в зависимости от типа узла обслуживания (УО):

$$\begin{aligned} & \infty, \text{ при типе } УО_i = УО_{Т0}; \\ & \mu_i = \{ 1/(t_{обсi} * N_{прохi}), \text{ при типе } УО_i = УО_{Т1}; \\ & C/(t_{обсi} * N_{прохi}), \text{ при типе } УО_i = УО_{Т2}; \\ & \min\{1/(t_{обсi} * N_{прохi} * P_j)\}_{j=1...N}, \text{ при типе } УО_i = УО_{Т3}. \end{aligned}$$

K1 – коэффициент, принимает значение в диапазоне 0,995...0,99995. Как показали эксперименты на моделях, уже при K1 = 0,995 данный алгоритм имеет устойчивую сходимость.

2. Задаем текущее значение верхней границы фонового потока заявок в системе $\lambda ф$ равным $\lambda ф_{вн}$: $\lambda ф_{тек} = \lambda ф_{вн}$.
3. Рассчитываем время пребывания ($T_{преб}$) заявок в узлах системы с учетом текущего фонового потока заявок и времени их обслуживания.
4. Находим текущее значение нижней границы фонового потока заявок в системе $\lambda ф_{тек}$:

$$\lambda ф_{тек} = (N-1)/T_{цикл},$$

где $T_{цикл}$ – среднее время цикла, т.е. сумма времени пребывания заявок в узлах системы за время одного цикла.

5. Определяем разницу между значениями верхней и нижней границ фонового потока заявок в системе:

$$\Delta_{тек} = (\lambda ф_{втек} - \lambda ф_{тек}) / \lambda ф_{втек}.$$

Если различие меньше допустимой погрешности, т.е. $\Delta_{тек} < \Delta_1$, то переходим к пункту 6 настоящего алгоритма, иначе говоря, вычисляем новое текущее значение верхней границы фонового потока заявок в системе $\lambda ф_{втек}$ по формуле

$$\lambda ф_{втек} = \lambda ф_{втек} - (\lambda ф_{втек} - \lambda ф_{тек}) / K2$$

и переходим к пункту 3 настоящего алгоритма.

При этом Δ_1 – коэффициент, который определяет допустимую погрешность и принимает значения в диапазоне 0,001...0,00001. Как показали эксперименты, уже при $\Delta_1 = 0,001$ данный алгоритм имеет устойчивую сходимость.

K2 – коэффициент, который определяет меру сходимости и принимает значения в диапазоне 10...1000. Как показали эксперименты, при K2 = 100 данный алгоритм имеет устойчивую сходимость.

6. Рассчитываем выходные временные и загрузочные характеристики функционирования системы.

$T_{реак}$ – среднее время реакции системы на запрос пользователя определяется по формуле

$$T_{реак} = T_{цикл} - T_{форм},$$

$T_{форм}$ – сумма времен пребывания заявок в узлах системы (или узле), которые участвуют в формировании запроса.

Коэффициенты загрузки ρ_i вычисляются по формулам пункта 3, где вместо $\lambda ф_{теки}$ подставляется значение $\lambda ф_i = N/T_{цикл}$.

Подсистема обработки результатов состоит из модулей разбора файла отчёта и экспорта результатов моделирования в текстовый процессор Microsoft Word.

Задачей модуля разбора файла отчета является распознавание и вывод в удобной для анализа форме файла отчета о результатах моделирования (файлы *.ger). Модуль экспорта результатов моделирования в текстовый процессор Microsoft Word предназначен для формирования расширенного отчета по результатам аналитического расчета и имитационного моделирования.

Описание блоков языка построения графов моделей СМВКиС

Для построения графа модели исследуемой системы средствами СМВКиС было разработано семь блоков: генератор, обслуживающий аппарат, многоканальный обслуживающий аппарат, разветвитель, терминатор, блок связи и блок сбора статистической информации.

Блок «генератор» используется для порождения информационных потоков в системе (транзактов) и имеет восемь настраиваемых параметров. Блок «обслуживающий аппарат» (ОА) используется для моделирования времени задержки транзактов в системе и имеет девять настраиваемых параметров. Блок «многоканальный обслуживающий аппарат» (МнОА) используется для моделирования потоков обслуживания в системе, имеющей несколько параллельных конвейеров обработки. Блок имеет шесть настраиваемых параметров. Блок «разветвитель» не имеет прямого аналога в теории массового обслуживания. Он используется в СМВКиС для указания точек разделения потоков обслуживания на два или более направления. В данной версии системы блок «разветвитель» имеет три подтипа, позволяющих по-разному задавать условия, по которым происходит ветвление потоков обслуживания. Блок «терминатор» используется для указания того, что транзакт попал в конечную точку пребывания в системе. При этом происходит уничтожение транзакта.

Блок «сбор статистики» используется для вычисления времен пребывания заявок на определенных участках моделируемой системы. Статистика собирается с помощью системы GPSS. «Блок связи» используется для объединения блоков языка СМВКиС в единую модель. Параметры «блока связи» задают точки начала/конца сбора статистики, изменение значений параметров входящих транзактов и признак завершающей (циклической) связи.

Особенности работы с СМВКиС

Моделирование исследуемой системы (учитывая при этом, что шаги алгоритма с 3-го по 6-й выполняются с помощью СМВКиС) включает

следующие этапы:

- разработка формализованного описания процесса функционирования исследуемой системы;
- разработка формализованной схемы процесса функционирования исследуемой системы в терминах сетей массового обслуживания;
- преобразование формализованной схемы исследуемой системы в схему взаимодействия блоков языка СМВКиС и построение этой схемы на экране монитора ПЭВМ;
- выполнение на ПЭВМ программы имитационной модели на языке GPSS, т.е. имитационное моделирование системы;
- выполнение аналитического моделирования системы;
- формирование результатов моделирования в требуемой форме;
- обработка результатов моделирования с целью принятия рационального решения по модернизации архитектуры исследуемой системы.

Пример работы с СМВКиС

Рассмотрим использование СМВКиС для оценки характеристик функционирования распределенной системы обработки данных (РСОД), представленной в виде локальной вычислительной сети, состоящей из ряда рабочих станций, сервера и канала связи. Укрупненная схема функционирования подобной РСОД приведена на рис. 3.

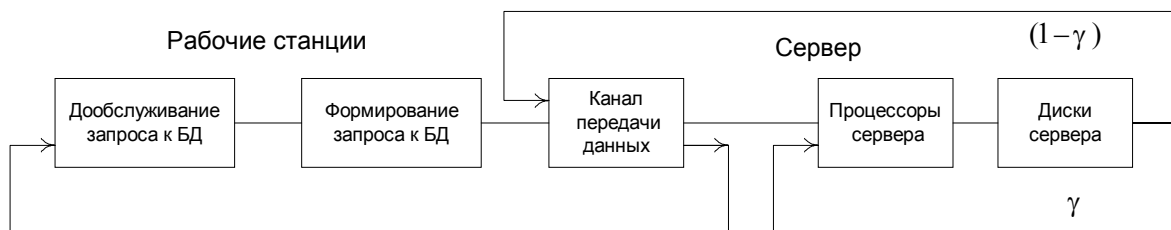


Рис. 3. Укрупненная схема функционирования РСОД.

На рабочей станции сети формируется запрос пользователя к базе данных, расположенной на сервере. Этот запрос через канал передачи данных поступает на обработку в процессор сервера, а затем – в дисковую подсистему. После этого запрос с вероятностью γ снова поступает на обработку в процессор или с вероятностью $(1-\gamma)$ данные, относящиеся к запросу, поступают через канал на дообработку в соответствующую рабочую станцию сети. Основные показатели РСОД, характеризующие качество ее функционирования, - это время реакции системы, а также коэффициент загрузки процессора и дисков сервера.

Схема процесса функционирования РСОД, формализованной в виде системы массового обслуживания, приведена на рис. 4.

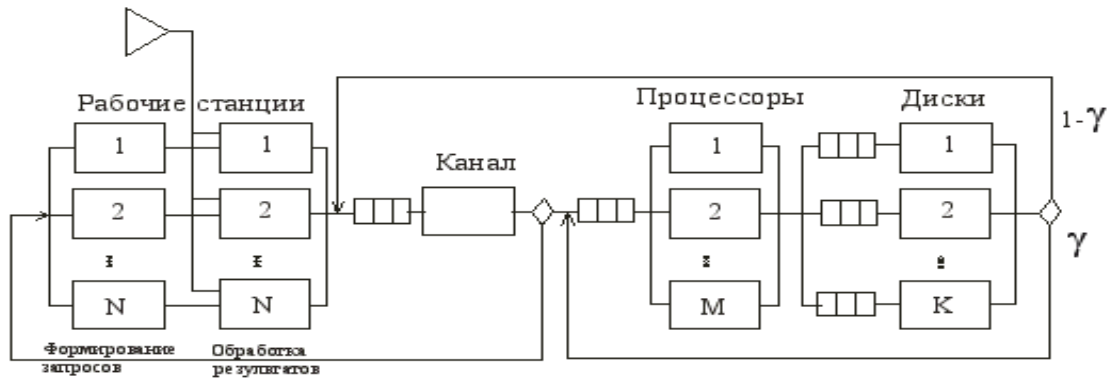


Рис. 4. Формализованная схема процесса функционирования РСОД

По данной схеме исследователь строит схему РСОД в виде модели взаимодействия блоков языка СМВКиС, представленной на рис. 5.

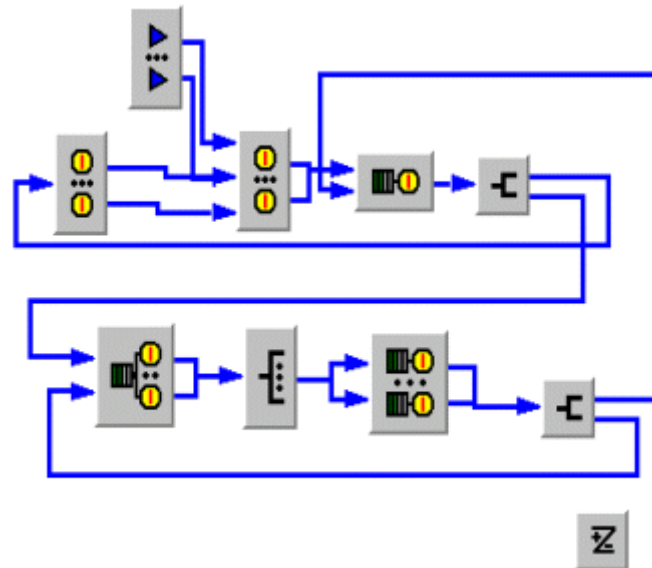


Рис. 5. Схема РСОД в виде модели взаимодействия блоков языка СМВКиС.

При этом СМВКиС автоматически формирует текст модели на языке GPSS и аналитическую расчетную схему системы, приведенную на рис. 6.

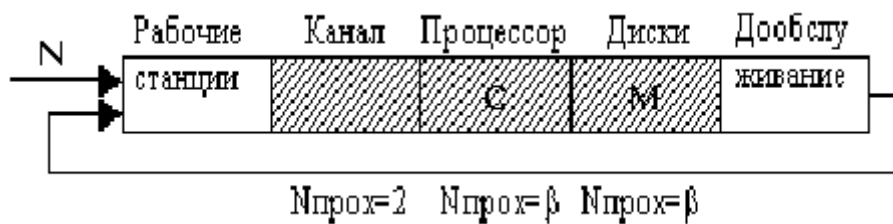


Рис. 6. Расчетная схема РСОД

Исходными данными исследуемой модели являются: число рабочих станций сети ($N=30$), среднее значение времени дообработки запроса на рабочей станции ($T_o=300$) и среднее значение времени его формирования ($T_p=300$), среднее значение времени передачи запроса от рабочей станции к серверу сети через канал передачи данных ($t_{кл}=10$), среднее значение вре-

мени передачи данных от сервера сети к рабочей станции через канал передачи данных ($t_{к2}=10$), количество процессоров сервера ($C=1-2$), среднее значение времени обработки запроса в процессоре сервера ($t_{п}=10$), количество дисков сервера ($M=1-3$), среднее значение времени обработки запроса в диске сервера ($t_{д}=10-20$), вероятность обращения запроса к i -му диску сервера после обработки в процессоре ($P_i=0.33-1$), вероятность поступления запроса после обработки на диске сервера снова на процессор сервера ($\gamma=0.5$). Значения варьируемых исходных параметров при моделировании РСОД приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер варианта	1	2	3	4	5
Число процессоров (С)	1	1	1	1	2
Время обработки в процессоре ($t_{п}$)	10	10	10	10	10
Число дисков в системе (М)	1	2	2	3	2
Время обработки в диске ($t_{д}$)	10	10	20	10	10
Вероятности обращения к дискам (P_i)	1	0,67 0,33	0,67 0,33	0,34 0,33 0,33	0,67 0,33

Предполагается, что время обработки запросов в обслуживающих аппаратах рассматриваемой замкнутой сети массового обслуживания распределено по экспоненциальному закону. Результаты моделирования РСОД приведены в табл. 2.

Таблица 2

N	Модель	Загрузка устройств				Время реакции	
		P_K	$P_{П}$	$P_{Д1}$	$P_{Д2}$		
1	Аналитическая	0,874	0,874	0,874	–	686,86	
	Имитационная	0,887	0,880	0,871	–	652,22	
2	Аналитическая	0,912	0,912	0,611	0,301	658,35	
	Имитационная	0,917	0,906	0,608	0,298	615,02	
3	Аналитическая	0,743	0,743	0,985	0,490	806,36	
	Имитационная	0,738	0,751	0,984	0,511	764,36	
4	Аналитическая	0,913	0,913	0,298 0,301	0,301 0,301	0,325 0,311	656,94
	Имитационная	0,930	0,915				620,06
5	Аналитическая	0,959	0,480	0,643	0,317	625,31	
	Имитационная	0,989	0,495	0,663	0,317	583,59	

Считая эксперимент №1 базовым, можно сделать следующие выводы: добавление дополнительного диска (эксперимент №2) оказало не столь

существенное влияние на время реакции системы, как добавление дополнительного процессора (эксперимент №5), а добавление третьего диска (эксперимент №4) практически не повлияло на время реакции по сравнению с системой, включающей два диска.

Система моделирования вычислительных комплексов и сетей была использована для моделирования целого ряда систем обработки информации. Сравнение результатов полученных с помощью имитационных и аналитических моделей показало, что их различие, как правило, не превосходит 10%. Всё это показывает целесообразность практического использования СМВКиС для оценки характеристик функционирования вычислительных комплексов и сетей.

Реализация СМВКиС

СМВКиС реализована в среде Delphi 5 на языке программирования Object Pascal. База данных системы реализована с помощью СУБД Paradox 7.0, оптимизированной для работы с Delphi 5. Параметры системы СМВКиС: ядро системы (запускаемый файл gpssw32.exe и файл настройки конфигурации settings.ini) занимает 1250 Кб дискового пространства, файлы системы GPSS/PC v2.0 – 500 Кб дискового пространства, начальный размер базы данных системы – 200 Кб. В процессе работы на каждую новую модель требуется до 300 Кб дискового пространства.

Выводы

Разработана система моделирования вычислительных комплексов и сетей (СМВКиС), которая позволяет проводить исследования вычислительных комплексов и сетей, формализуемых в виде сетей массового обслуживания.

СМВКиС позволяет строить граф блоков имитационной модели, переводить его в программу модели на языке GPSS и осуществлять имитационное моделирование с помощью стандартной системы моделирования GPSS/PC.

СМВКиС позволяет проводить аналитическое моделирование вычислительных комплексов и сетей, формализуемых в виде замкнутых сетей массового обслуживания (СеМО), методом фонового потока. Основу метода составляет предложенный итерационный алгоритм определения выходных характеристик функционирования замкнутых СеМО.

СМВКиС построена по модульному принципу и состоит из четырех подсистем: 1) работы с моделями, 2) имитационного моделирования, 3) аналитической обработки, 4) подсистема обработки результатов. Каждая из подсистем состоит из модулей, обеспечивающих пользователя сервисным набором функций и удобным интерфейсом.



СМВКиС содержит семь блоков внутреннего языка для построения графов моделей и графические изображения блоков. Для каждого блока языка СМВКиС определен необходимый и достаточный набор настраиваемых рабочих параметров, позволяющих осуществлять моделирование исследуемых систем в широком спектре их функциональных возможностей.

СМВКиС дает возможность проводить сравнительный анализ различных вариантов организации обработки информации в вычислительных системах и сетях и принимать рациональные решения по выбору наилучшего из них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров С.В., Ашихмин Н.В., Луговец А.В. и др. Локальные вычислительные сети. Кн. 3. Организация функционирования, эффективность, оптимизация. М.: Финансы и статистика. 1995.
2. Щрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS. М.: Машиностроение. 1980.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Ю.А. Григорьевым.

УДК 681.513

© 2001 г. **Е.Л. Еремин**, д-р техн. наук,
Д.Г. Шевко

(Амурский государственный университет, Благовещенск)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В рамках вычислительного эксперимента показано, что две гибридные системы, отличающиеся структурой аналоговых цифро-аналоговых блоков, но имеющие идентичные уравнения связи вход-выход, с точки зрения технической реализации могут считаться эквивалентными.

Введение

Популярность гибридных систем управления (ГСУ) объясняется как уровнем развития современной вычислительной техники, в частности – микропроцессоров, так и преимуществами работы с цифровыми сигнала-