

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ ОБРАБОТКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Илья Григорьевич Красницкий, аспирант Красноярского государственного технического университета

Дмитрий Юрьевич Пономарев, канд. техн. наук, доцент каф. «Сети и системы связи» Красноярского государственного технического университета

660074, Красноярск, ул. Киренского, 26, E-mail: kafaes@krasmail.ru

Аннотация.

Развитие современного информационного общества привело к объединению информационных потоков различных типов и возникновению различных технологий по обработке этих потоков в телекоммуникационных сетях. Наиболее перспективными для развития сетей следующего поколения являются технологии IP, ATM, MPLS. Однако, в связи с усложнением алгоритмов обработки, интеграцией информационных потоков различного типа; постоянным ростом, как объемов передаваемой информации, так и требований к качеству обработки информационных потоков, анализ качественных показателей таких сетей становится достаточно сложной задачей.

В данной работе предложен метод оценки вероятностно-временных характеристик сетей обработки интегральной информации, основанный на тензорном анализе параметров сети. Разработан и программно реализован алгоритм, позволяющий достаточно просто проводить оценку качественных показателей сетей практически любого масштаба с использованием моделей теории массового обслуживания.

Бурное развитие систем телекоммуникаций обусловленное растущими потребностями бизнеса и частных пользователей привело к созданию сетей интегрального обслуживания, которые способны предоставлять услуги видео и аудио связи в реальном масштабе времени, а также другие услуги, без которых сегодня уже нельзя обойтись (передача файлов, факсимильных сообщений, данных и т.д.). Развитие этих сетей невозможно без развития технологий транспортных сетей (ATM, MPLS, SDH и т.д.). Следовательно, появляется необходимость применительно к современному состоянию информационных сетей получение достаточно точных значений параметров сетей на стадии их проектирования и дальнейшей их корректировке при эксплуатации.

Поэтому в качестве основной цели данной работы является разработка программно-вычислительного комплекса для определения вероятностно-временных характеристик систем передачи интегральной информации с ограниченным буфером тензорным методом для нескольких дисциплин обслуживания вызовов (M-пуассоновского, E-эрланговского, D-детерминированного, Г-гамма распределения) [1].

Понятие «тензор» ввел еще Эйнштейн, а практическое применение тензорного метода в электротехнике осуществил Г. Крон. Он исследовал с помощью тензоров электрические схемы и цепи [2]. Современные методы анализа сетей, основанные на методах теории массового обслуживания, марковских случайных процессах и теории вероятностей позволяют анализировать узлы связи и сети только тогда, когда число узлов в сети незначительно (единицы). Однако реальные сети связи характеризуются тем, что число узлов может достигать сотен и даже тысяч, а архитектура таких сетей сложна. Число состояний в таких сетях огромно и это затрудняет их аналитическое описание.

Преимущество тензорной методологии при анализе сетей перед классическими методами заключается в большей простоте, при том, что классические методы ограничены в применении к сетям с большим числом узлов из-за чрезвычайной сложности аналитических выкладок.

Сеть простейшего типа, называется техническая структура, которая состоит из одномерных членов (связей), соединенных в определённых точках, силы (вызовы) накладываются вдоль этих членов на узлы. Такая сеть состоит из следующих элементов [3]:

- ветви, которые, соединяясь между собой, образуют сеть;
- узлы – это два конца ветви, которыми она соединяется с другими ветвями.

В зависимости от типа воздействующих величин и типа требуемых величин отклика различаются три способа возбуждения сети [2,3].

Сеть возбуждается напряжениями (задаются объемы буферов систем массового обслуживания), приложенными последовательно к ветвям, при этом достаточно определить столько токов отклика (интенсивностей потоков сообщений), сколько линейно-независимых контуров имеет сеть. Все остальные величины могут быть выражены через указанные выше. Данный способ возбуждения называется контурным возбуждением. Ему соответствует представление всей сети, как совокупности закрытых путей (контуров) и контурный метод расчета отклика сети. Пример сети с контурным возбуждением приведен на рис. 1.

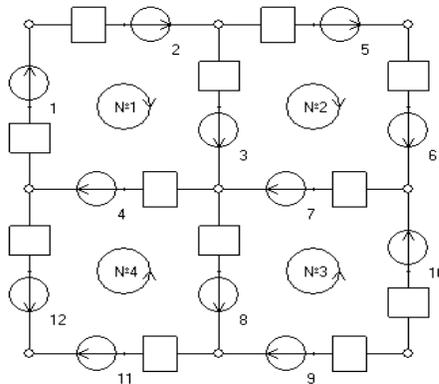


Рисунок 1 – Пример контурной сети

Сеть возбуждается токами, поступающими к узловым парам сети. Это означает, что ток (поток вызовов) поступает через один узел ветви и вытекает через другой ее узел. Откликом сети является возникновение на всех ветвях разностей потенциалов (формирование очередей в системах массового обслуживания, находящихся в соответствующей ветви), причем достаточно определить столько величин отклика, сколько линейно-независимых узловых пар имеет сеть. Данный способ возбуждения называется узловым возбуждением. Ему соответствует представление всей сети, как совокупности открытых путей (узловых пар) и узловой метода расчета отклика сети. Пример сети с узловым возбуждением приведен на рис. 2.

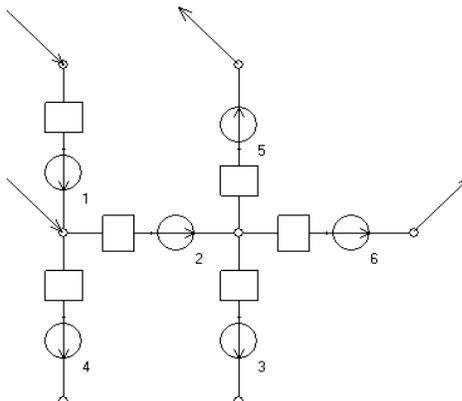


Рисунок 2 – Пример узловой сети

Сеть возбуждается и напряжениями (задаются объемы буферов систем массового обслуживания) и токами (потоками поступающих вызовов). Отклик сети также состоит, как из напряжений (длин очередей в системах массового обслуживания), так и из токов (интенсивностей потоков вызовов, проходящих через соответствующую ветвь), причем количество величин отклика в общем случае равно количеству ветвей в сети. Этот, более общий способ возбуждения, равно, как и метод расчета, называется ортогональным. Пример ортогональной сети приведен на рис. 3.

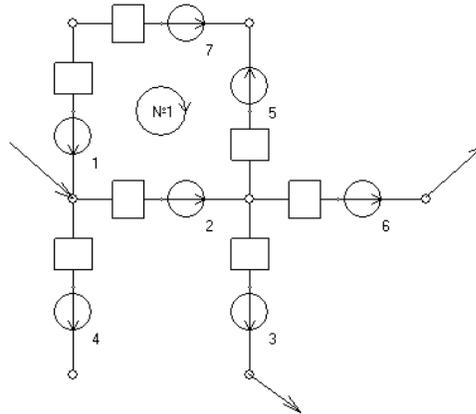


Рисунок 3 – Пример ортогональной сети

Для анализа очереди и задержек в сетях связи используется формула Литтла $N = T \cdot \lambda$ [2]. Параметры каждого узла до соединения в сеть известны. Входной поток вызовов i -го узла равен λ_i , средняя очередь в буферах равна N_i , а среднее время ожидания обслуживания равно T_i . Но после объединения этих узлов в сеть будут происходить взаимные влияния узлов сети друг на друга. И тогда рассматривать отдельные узлы целой сети будет бессмысленно. Однако, тензорная методология позволяет получить уравнения состояний для любой по сложности сети, преобразовав эту сеть в более простую и наглядную, для которой можно легко найти все параметры. После чего по матрице перехода можно получить все параметры исходной сети.

Последовательность этапов анализа сети с помощью тензорной методологии (контурным методом) [2]:

1. Устанавливается структура примитивной (вспомогательной) сети.

2. Определяются компоненты геометрических объектов λ , T , N , задействованных в уравнении состояния примитивной (вспомогательной) сети. Векторы интенсивностей потоков сообщений λ и объемов буферов N имеют столько компонент, сколько имеется ветвей, и содержат соответствующие величины для каждой из ветвей. Матрица T значений времени задержки сообщений в системах массового обслуживания примитивной (вспомогательной) сети является квадратной матрицей размерностью n -строк на n -столбцов. Элементы главной диагонали содержат все собственные задержки в ветвях, остальные - все задержки, обусловленные косвенным влиянием элементов сети друг на друга.

3. Находится матрица преобразования C . В новой сети выбирается k новых независимых интенсивностей контурных потоков. Для каждой отдельной ветви интенсивности примитивной (вспомогательной) сети λ выражаются через контурные интенсивности исходной сети λ' . Коэффициенты при новых интенсивностях образуют матрицу преобразования C .

4. Определяются компоненты матриц N' и T' с помощью формул $N' = C^T N$ и $T' = C^T T C$ соответственно.

5. Записывается система уравнений состояния исходной сети согласно $N' = T' \lambda'$.

6. Решение системы уравнений состояния, нахождение контурных интенсивностей λ' .

Рассмотрим контурный метод анализа сетей интегрального обслуживания на примере простой схемы представленной на рис. 4.

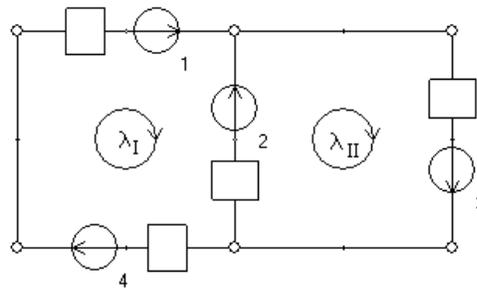


Рисунок 4 – Заданная сеть

Каждый узел представлен как система массового обслуживания, параметры которых до соединения в сеть известны: Входной поток заявок первого узла имеет интенсивность λ_1 , второго – λ_2 и т.д. Среднюю очередь в каждом узле обозначим N_1, N_2 и так далее. Время задержки сообщений в i -ом узле обозначим через T_i . Обслуживание осуществляется в направлении, указанном стрелкой.

Нужно определить параметры узлов после соединения в сеть (рис. 4).

Тензорный метод показывает:

- не следует сразу рассчитывать заданную сеть;
- необходимо составить новую сеть, анализ которой намного проще.

На основе заданной сети составим элементарную, с тем же числом узлов (рис. 5).

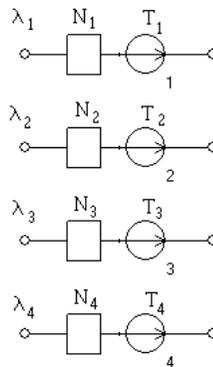


Рисунок 5 – Элементарная сеть

Для новой сети легко получить матрицы для λ , N и T :

$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{pmatrix}, \quad N = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} T_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & T_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & T_{44} \end{pmatrix}.$$

В матрице T нули означают, что между узлами элементарной сети отсутствует взаимное влияние.

Далее устанавливают связь между заданной и элементарной сетями. Для этого задают в заданной сети (рис. 4) контурные интенсивности λ_I, λ_{II} , число которых равно числу контуров заданной сети.

Введенные интенсивности выражают через те, что были приняты для элементарной сети:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \lambda_I, \\ \lambda_2 &= -\lambda_I + \lambda_{II}, \\ \lambda_3 &= \lambda_{II}, \\ \lambda_4 &= \lambda_I.\end{aligned}$$

Очевидно, если в заданной сети контурная интенсивность совпадает с направлением обслуживания узла, то для него она имеет положительный знак, иначе – отрицательный.

Данную систему уравнений можно представить в матричном виде:

$$\bar{\lambda} = \bar{C} \cdot \bar{\lambda}',$$

где $\bar{\lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{pmatrix}; \quad \bar{\lambda}' = \begin{pmatrix} \lambda_I \\ \lambda_{II} \end{pmatrix}; \quad \bar{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$

Если известна матрица C , то можно найти T' и N' для заданной сети, используя T и N элементарной сети по формулам:

$$\begin{aligned}T' &= C^T \cdot T \cdot C, \\ N' &= C^T \cdot N.\end{aligned}$$

где C^T – транспонированная матрица C .

Найдем теперь по очереди сначала T' , а затем и N' матрицы.

$$T' = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} T_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & T_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & T_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1 + T_2 + T_4 & -T_2 \\ -T_2 & T_1 + T_3 \end{pmatrix},$$

$$N' = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_1 - N_2 + N_4 \\ N_2 + N_3 \end{pmatrix}.$$

И теперь на основании формулы Литтла $N' = T' \cdot \lambda'$, получим:

$$\begin{pmatrix} N_1 - N_2 + N_4 \\ N_2 + N_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1 + T_2 + T_4 & -T_2 \\ -T_2 & T_1 + T_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_I \\ \lambda_{II} \end{pmatrix}.$$

Это матричное уравнение даст систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} N_1 - N_2 + N_4 = [T_1 + T_2 + T_4] \cdot \lambda_I - T_2 \cdot \lambda_{II} \\ N_2 + N_3 = -T_2 \cdot \lambda_I + [T_1 + T_3] \cdot \lambda_{II} \end{cases}.$$

На основании начальных данных (размер буфера N , интенсивности в каждой СМО) из системы уравнений находим контурные интенсивности.

Конечно, обычные методы расчета более эффективны для мелких сетей, но в больших сетях выигрывает тензорная методология. Ведь механизм расчета сводится к перемножению матриц произвольной размерности. Если же размерность матриц получается очень большой, то избавиться от громоздкости можно путем разбиения сложных сетей на более мелкие. Найдя в этих сетях все параметры и объединив их, через матрицу перехода можно определить все параметры и для исходной сети [2]. Данная особенность существенно облегчает расчеты больших сетей, заменяя прямое вычисление разбиением на простые сети, результаты для которых, возможно, уже получены. Тензорный метод позволяет, при объединении сетей, объединить полученные для них результаты и анализировать объединенную сеть, не рассчитывая ее. Метод разбиения в тензорной методологии называют методом диакоптики [2,3].

При расчете отдельных частей большой сети, находят матрицы перехода, длин очередей и времени задержки. И на основании этого объединяют их в одну соответствующую матрицу.

$$C''' = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$$

$$T''' = \begin{pmatrix} T' & 0 \\ 0 & T'' \end{pmatrix}$$

$$N''' = \begin{pmatrix} N' \\ N'' \end{pmatrix}$$

Тензорный метод реализован в программном комплексе, алгоритм работы которого представлен на рис.6.

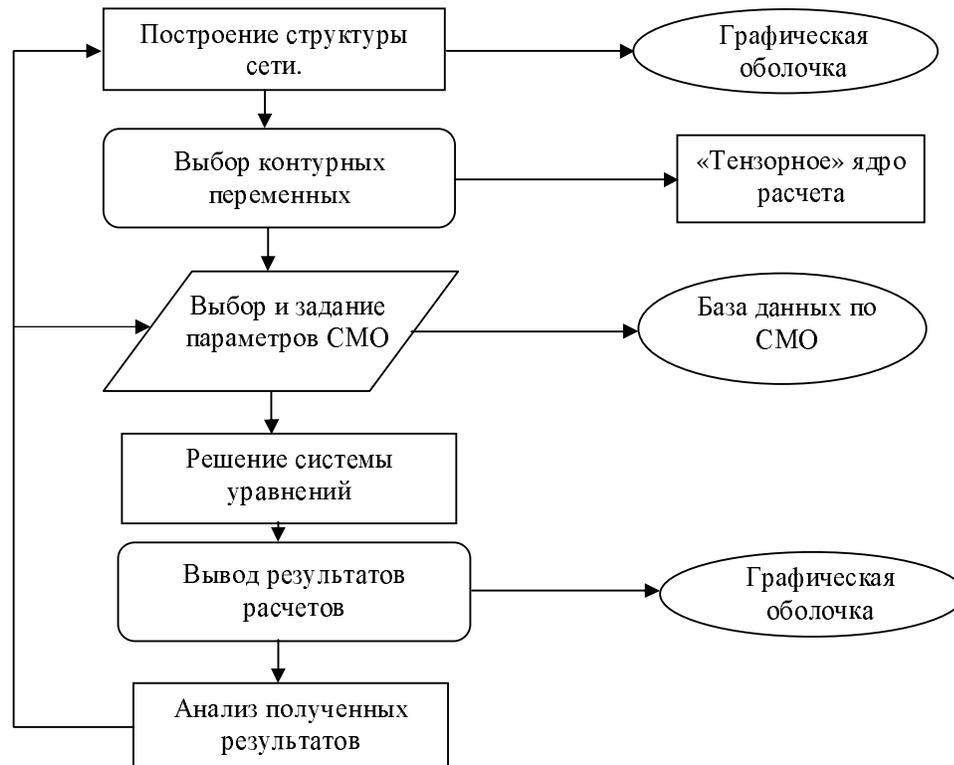


Рисунок 6 – Алгоритм работы программы

Программа создана в среде объектно-ориентированного программирования Delphi 7.0 с использованием нестандартных компонентов.

Первая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2005: Труды конференции. – М.: Комкнига. – 2005. – Т.2. – С. 175-180.

Ядром программы является тензорная методология и основанные на ней методы получения параметров сети. Ядро работает по описанному выше алгоритму анализа сети.

Графическая часть имеет интуитивный интерфейс, впитавший в себя все достоинства интерфейса ОС Windows XP. Построение схем сетей основано на привычных способах рисования, которые часто используются в современных графических редакторах. Также реализована возможность сохранения и загрузки схем сетей из файла.

Расчетная часть основана на получении, посредством ядра программы, решения системы уравнений состояния исследуемой сети, интенсивности обслуживания, загрузка и дисциплина обслуживания для которой задаются самим пользователем. Входной поток вызовов считается распределенным по пуассоновскому закону. Таким образом, можно получить значения длин очередей или времени задержки вызовов для каждой СМО.

В программе предусмотрена база данных, в которой хранится информация по системам массового обслуживания, параметры которых задает пользователь.

Вывод: программно-вычислительный комплекс позволяет определять вероятностно-временные характеристики любых по архитектуре сетей при задании определенной дисциплины обслуживания и начальных значений интенсивности поступления вызовов и загрузки.

Рассмотрим пример работы программы, в которой пользователь построил схему сети изображенной на рис. 7.

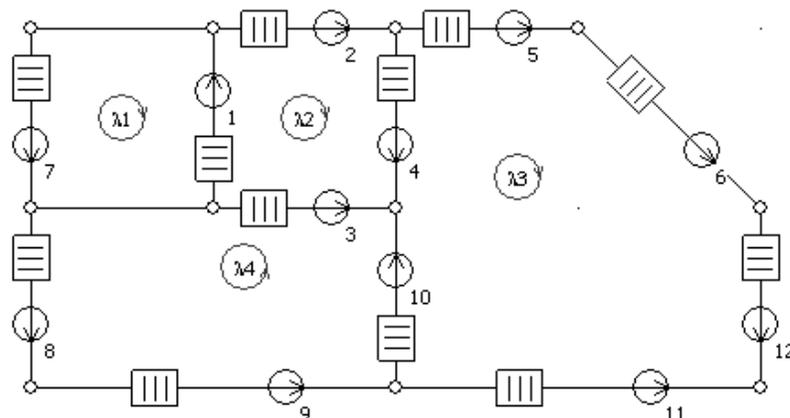


Рисунок 7 – Схема сети, построенная в программе

Матрицы перехода, задержек и очередей для данной схемы, определенные программой, приведены на рис. 8-10.

	1	2	3	4
1	-1	1		
2		1		
3		-1	-1	
4		1	-1	
5			1	
6			1	
7	-1			
8				1
9				1
10			1	1
11			-1	
12			1	

Рисунок 8 – Матрица перехода

	1	2	3	4
1	T1+T7	-T1		
2	-T1	T1+T2+T3+T4	-T4	T3
3		-T4	T4+T5+T6+T10+T11+T12	T10
4		T3	T10	T3+T8+T9+T10

Рисунок 9 – Матрица задержек, определенная программой

	1
1	-N1-N7
2	N1+N2-N3+N4
3	-N4+N5+N6+N10-N11+N12
4	-N3+N8+N9+N10

Рисунок 10 – Матрица очередей, определенная программой

Далее пользователь вводит начальные параметры (интенсивность обслуживания, загрузку, размеры буфера и модель СМО в каждом узле) в таблицу представленную на рис. 11. Кроме того, на этом этапе, как описывалось выше, он выбирает точность вычисления (здесь выбрано 6 знаков после запятой) и формат представления чисел (здесь выбран общий).

	μ	ρ	N буф	k	СМО
1	1	0,3	10		M/M/1/N
2	2	0,4	12		M/M/1/N
3	3	0,5	13		M/M/1/N
4	4	0,6	14		M/M/1/N
5	5	0,3	15		M/M/1/N
6	1	0,4	10		M/M/1/N
7	2	0,5	11		M/M/1/N
8	3	0,6	12		M/M/1/N
9	4	0,3	13		M/M/1/N
10	5	0,4	14		M/M/1/N
11	1	0,5	15		M/M/1/N
12	2	0,6	10		M/M/1/N

Рисунок 11 – Начальные параметры для анализа схемы сети

Далее пользователь нажимает на кнопку «Вычислить» и программа начинает определение основных параметров схемы сети и выводит результаты в таблицах, представленных на рис. 12-14.

	λ
1	-0,492239
2	0,162124
3	-0,065106
4	0,404634

Рисунок 12 – Матрица контурных интенсивностей

	λ
1	0,654363
2	0,162124
3	-0,566758
4	0,227230
5	-0,065106
6	-0,065106
7	0,492239
8	0,404634
9	0,404634
10	0,339528
11	0,065106
12	-0,065106

Рисунок 13 – Матрица интенсивностей в ветвях схемы

	N	T	P _{пер}
1	1,782755	2,724413	0,003276
2	0,088213	0,544106	0,000000
3	0,232923	0,410974	0,000000
4	0,060229	0,265057	0,000000
5	0,013193	0,202639	0,000000
6	0,069640	1,069640	0,000000
7	0,326470	0,663234	0,000000
8	0,155906	0,385302	0,000000
9	0,112543	0,278136	0,000000
10	0,072853	0,214571	0,000000
11	0,069640	1,069640	0,000000
12	0,033648	0,516824	0,000000

Рисунок 14 – Таблица основных параметров схемы сети

Кроме этих результатов программа выводит значения стационарных вероятностей состояния СМО для каждой ветви схемы.

Аналогично можно рассчитать любую другую схему. Однако, при использовании в качестве СМО моделей с эрланговским или детерминированным распределением времени обслуживания с ограниченным размером буфера рекомендуется проводить расчеты при $N_{\text{буф}}$ не более 30, поскольку при превышении этого значения выражение для расчета длины очереди, представляющее собой знакопеременный ряд, теряет устойчивость, это объясняется недостаточной точностью расчетов (максимальная точность до 19 знаков).

Сравнение разработанной программы со средой моделирования GPSS показывает, что расчет параметров в разработанной программе проходит намного быстрее, чем в GPSS, при этом возможности в задании для анализа схем сетей намного шире и проще, чем в GPSS. Однако, при расчете сетей, обслуживаемые приборы которых имеют ограниченный буфер, при достаточно больших нагрузках разработанная программа дает небольшую погрешность в определении параметров по сравнению с GPSS. Это можно объяснить тем, что GPSS использует именно моделирование всех событий в сети, и наличие потерь в одной ветви, приводит к снижению загрузки в следующей за ней ветви, что не учитывается в разработанной программе, характеристики ветвей в которой определяются выведенными математическими выражениями. Несмотря на это, программа достаточно точно оценивает все параметры сети и может использоваться для анализа сетей связи. Кроме того, программа предполагает дальнейшую модернизацию, связанную с изменением свойств, как информационных потоков, так и систем их обслуживания.

Список литературы

1. Пономарев Д.Ю. Вероятностно-временные характеристики асинхронных информационных сетей с учетом самоподобия. Красноярск: НИИ СУВПТ. – 2002. – 314с.
2. Петров М.Н. Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации. Красноярск: КГТУ. – 1997. – 270с.
3. Петров М.Н., Вережкина Е.В., Захарченко М.О. Тензорная методология в информационных сетях. Красноярск: НИИ СУВПТ. – 2001. – 225с.