

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕЙ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

**В. В. Золотухин, М. Н. Петров, Д. Ю. Пономарев (Красноярск)**

Существует большое множество методов анализа сетей связи, среди которых основу составляют методы математического анализа и имитационного моделирования. В последнее время большой интерес представляет также тензорный метод анализа сетей [1], который можно выделить в отдельную категорию, поскольку идея метода коренным образом отличается от остальных методов. Тензорный метод занимает особую позицию, являясь не похожим на другие методы. Особенностью данного метода является то, что его автор попытался объединить все процессы, происходящие в системе, и взглянуть на систему с более общей точки зрения. Так, при анализе какой-либо сложной сети, необходимо сначала получить результаты для одного элемента данной сети, а затем распространить эти результаты на всю сеть. Более того, введение таких понятий, как «преобразование», «инвариантность» и «группа» приводит к появлению новой математической сущности. Такой сущностью является геометрический объект, который представлен не одной, а бесконечным множеством матриц. Изменение системы координат (топологии сети) приводит к изменению компонентов геометрического объекта (компонентов матриц), при этом сам геометрический объект остается неизменным. Это позволяет рассматривать целый класс сетей как один объект, а переход между ними осуществлять с помощью специальной матрицы перехода.

Математический анализ сетей связи зачастую требует больших усилий, поскольку сущность методов состоит в нахождении аналитических соотношений между искомыми величинами. Вывод формул оказывается достаточно сложным, особенно для сетей с большим числом элементов, но полученные результаты имеют большую ценность, поскольку дают возможность прямого решения поставленной задачи и анализа зависимости результата от изменения различных факторов. Аналитические соотношения получены, главным образом, для сетей с небольшим числом элементов. Имитационное моделирование, напротив, практически не требует трудоемкого вывода математических формул – всё, что требуется от исследователя, это знание средств имитационного моделирования и параметров моделируемой системы. При этом появляется сразу несколько очевидных преимуществ: можно смоделировать практически любые физические объекты, экспериментальное исследование которых затруднено или невозможно. В этом случае имитационное моделирование приобретает особое значение как метод подтверждения результатов, полученных другими методами, заменяя собой практический эксперимент. В данной работе применение среды GPSS показало, что тензорный метод анализа позволяет при заданных интенсивностях поступления заявок и объемах буферов получать достоверные результаты для верхней границы среднего времени задержки в узлах обслуживания, что позволяет говорить о возможности применения данного метода к анализу телекоммуникационных сетей большой размерности.

Моделью сетей интегрального обслуживания в данной работе являются сети массового обслуживания двух типов: контурные и ортогональные. Основные результаты по тензорному анализу сетей представлены в [1, 2].

При анализе сетей интегрального обслуживания с помощью имитационного моделирования составляющими общей модели являются модели систем массового обслуживания с различными дисциплинами обслуживания.

Система массового обслуживания (СМО) состоит из обслуживающего прибора и очереди. Блок-схема такой системы представлена на рис. 1.

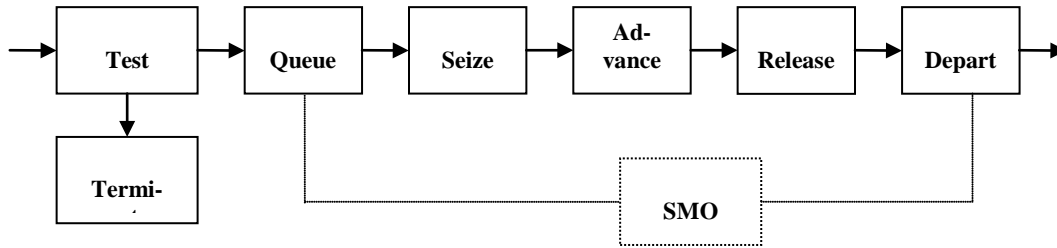


Рис. 1. Блок-схема системы массового обслуживания

Текст программы на языке GPSS может выглядеть следующим образом:

```

GENERATE (Exponential (1,0,T))
TEST L Q$Line1,N, Destroy
QUEUE Line1
SEIZE SMO1
ADVANCE (Exponential (1,0,To))
RELEASE SMO1
DEPART Line1

```

В данной программе блок GENERATE создает поток транзактов, поступающий на СМО. С помощью блока TEST задается ограничение размера буфера N. Блоки QUEUE и DEPART необходимы для накопления информации о средней длине очереди и времени задержки.

При моделировании сети связи необходимо произвести объединение СМО в соответствии со структурой сети.

Транзакты представляют собой заявки, циркулирующие в системе, а системы массового обслуживания выполняют функции обработки и маршрутизации сообщений. Обобщенная блок-схема реализации сети при имитационном моделировании приведена на рис. 2.

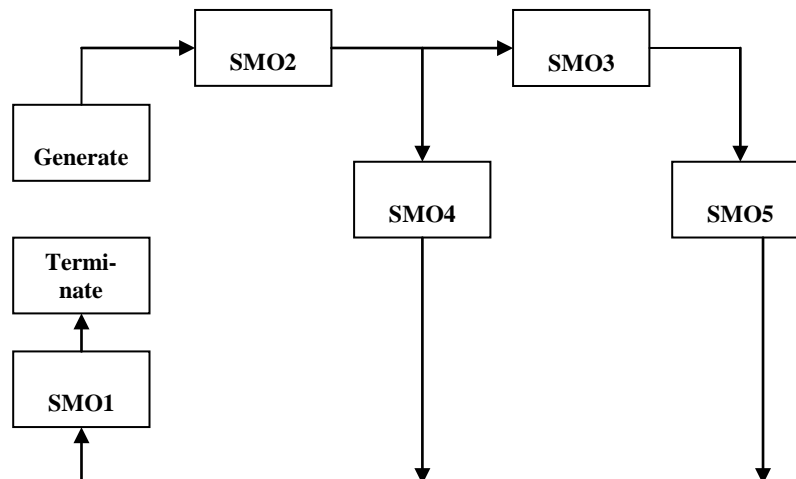


Рис. 2. Обобщенная блок-схема сети связи

Особенностью сети является взаимосвязанность систем массового обслуживания между собой: транзакты не удаляются после каждой системы массового обслуживания, а поступают на следующую СМО, в результате чего происходит продвижение сообщений по сети. Следует заметить, что в случае ограниченного буфера в СМО часть сообщений теряется, и поток на выходе системы массового обслуживания отличается от

первоначального. Кроме того, происходит изменение структуры самого потока сообщений.

Рассмотрим моделирование контурной сети интегрального обслуживания с СМО вида М/М/1/Ν. Сравнение результатов моделирования будем производить с расчетом характеристик сети с помощью тензорного метода.

Расчет тензорным методом позволяет анализировать характеристики сетей, состоящих практически из любого числа систем массового обслуживания. Увеличение числа СМО приводит лишь к увеличению времени расчета без значительного усложнения самого принципа вычислений.

Для анализа использована сеть, состоящая из 10 систем массового обслуживания. Структура такой сети приведена на рис. 3.

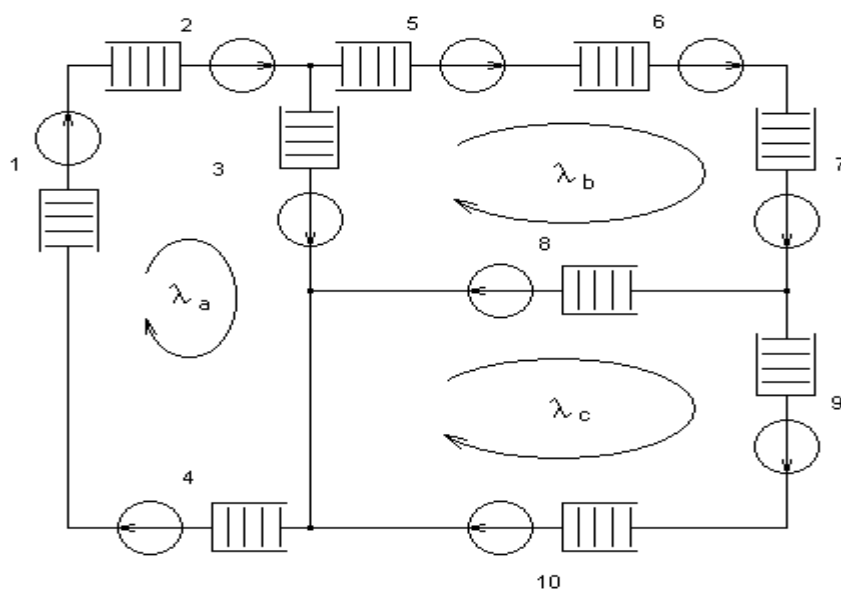


Рис. 3. Структура анализируемой сети

Постановка задачи звучит следующим образом: заданы средние длины очередей систем массового обслуживания и средние значения времени задержки пакетов (сообщений). Необходимо определить такие интенсивности потоков сообщений в ветвях, при которых значения средних длин очередей и времен задержек будут соответствовать заданным.

Решение системы уравнений [1, 2] дает следующие значения интенсивностей потоков сообщений в ветвях и контурах:  $\lambda_a = 0.09831$  Эрл,  $\lambda_b = 0.0644$  Эрл,  $\lambda_c = 0.02318$  Эрл.

Имитационное моделирование производится на основе заданных интенсивностей потоков сообщений и фиксированных объемов буферов.

Результаты моделирования представлены в таблице 1.

Значения, полученные как тензорным методом, так и методом имитационного моделирования, отличаются не более чем на 1,5 процента. Во многом эти погрешности обусловлены использованием при имитационном моделировании интенсивностей, отличных от тех, которые были получены тензорным методом. Это объясняется использованием целочисленных значений временных задержек при моделировании систем массового обслуживания и создании потоков вызовов.

Таблица 1

## Результаты исследования контурной сети двумя методами

(ТМ – тензорный метод, ИМ – имитационное моделирование,  
П – относительная погрешность)

СМО	$\lambda$ , Эрл	Средние длины очереди			Средние временные задержки, с		
	ТМ	ТМ	ИМ	П, %	ТМ	ИМ	П, %
1	0,098	1,215	1,214	0,08	12,56	12,567	0,05
2	0,096	1,877	1,876	0,05	19,50	19,503	0,02
3	0,031	0,299	0,298	0,33	10,36	10,350	0,09
4	0,073	1,853	1,827	1,40	25,60	25,221	1,48
5	0,064	5,610	5,598	0,22	90,60	90,764	0,17
6	0,058	4,310	4,295	0,35	73,85	73,871	0,03
7	0,051	1,928	1,921	0,36	36,2	36,116	0,23
8	0,019	2,310	2,295	0,65	89,50	89,843	0,38
9	0,023	3,010	2,989	0,70	114,00	113,02	0,86
10	0,021	1,900	1,885	0,78	77,0	77,784	1,00

Кроме контурных сетей особый интерес представляют ортогональные сети. В данной работе для анализа использована ортогональная сеть, состоящая из 10 систем массового обслуживания с классификацией М/М/1/Н. Структура такой сети приведена на рис. 4.

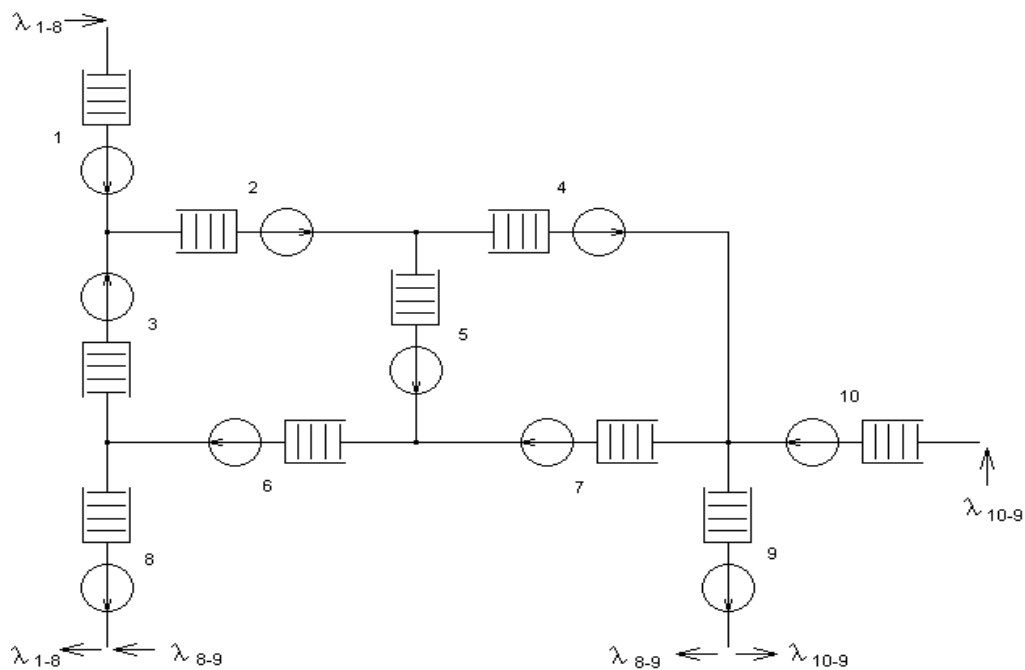


Рис. 4. Структура анализируемой сети

Постановка задачи звучит следующим образом: заданы средние длины очередей систем массового обслуживания и средние величины временных задержек пакетов (сообщений), а также интенсивности воздействующих сообщений. Необходимо определить такие интенсивности потоков сообщений в ветвях, при которых задержки сообщений в системах массового обслуживания и средние значения длины очередей в соответствующих ветвях будут соответствовать заданным величинам. Решение системы уравнений дает следующие значения интенсивностей потоков сообщений в ветвях и средних длин очередей:  $\lambda_a = 0.01458$  Эрл,  $\lambda_b = 0.008$  Эрл,  $N_1 = 0,112$ ,  $N_8 = 1,24$ ,  $N_9 = 0,675$ ,  $N_{10} = 1,67$ .

Имитационное моделирование производится на основе заданных интенсивностей потоков сообщений и фиксированных объемов буферов. Результаты расчета тензорным методом и методом имитационного моделирования сведены в таблицу 2.

Таблица 2

## Сравнение результатов, полученных обоими методами

(П – погрешность)

СМО	Тензорный метод		Имитационное моделирование			
	Среднее время задержки $T_i$	Средняя длина очереди $N_i$	Среднее время задержки $T_i$	Средняя длина очереди $N_i$	П $\delta N$ , %	П $\delta T$ , %
1	11,3	0,112	11,278	0,113	0,885	0,195
2	54,0	0,773	52,606	0,771	0,259	0,730
3	453,0	2,110	450,547	2,084	1,232	0,542
4	254,3	1,875	259,303	1,847	1,493	1,967
5	270,0	1,870	273,363	1,839	1,658	1,230
6	190,0	1,785	191,983	1,780	0,280	1,033
7	935,0	2,330	925,045	2,366	1,522	1,065
8	276,0	1,240	280,041	1,260	1,587	1,443
9	49,0	0,675	48,886	0,686	1,630	0,233
10	173,0	1,67	173,939	1,667	0,178	0,540

Результаты позволяют сделать очевидные выводы: значения средней длины очереди и среднего времени задержки, полученные тензорным методом и методом имитационного моделирования, практически совпадают с точностью до 2 процентов. При этом средняя погрешность составляет порядка одного процента, а максимальная погрешность не превышает 1,967 %. Максимальная погрешность наблюдается в случае СМО с номером 4, для которой загрузка является наибольшей и составляет 0,725. Значительная погрешность во многом может быть обусловлена формулой расчета вероятности потерь в системе массового обслуживания, неточность которой возрастает при увеличении размера буфера и загрузки СМО.

Помимо этого, погрешность объясняется использованием формулы для расчета вероятности потерь на основе предполагаемых интенсивностей потоков сообщений, которые в общем случае отличаются от действительных интенсивностей, что имеют место в исследуемой сети.

В заключение следует отметить, что использование пакета GPSS World не только обеспечивает подтверждение результатов, полученных с помощью аналитического метода анализа сетей, но и позволяет в совокупности с тензорным методом синтезировать сети с заданными характеристиками, что дает значительный выигрыш как по времени, так и по стоимости исследований телекоммуникационных сетей.

### Литература

1. **Петров М.Н.** Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации: Научное издание/М. Н. Петров. КГТУ. – Красноярск, 1997. – 220 с.
2. **Золотухин В.В., Пономарев Д.Ю.** Исследование возможностей тензорного метода анализа сетей связи с использованием имитационного моделирования// Современные проблемы радиоэлектроники: Сборник научных трудов/Под ред. А.В.Сарафанова. – Красноярск: ИПЦ КГТУ – 2003. – С. 436–440.