УДК 681.324

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАЦИОННОЙ И БИЗНЕС-ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОРНОЙ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА СИСТЕМ

Н.Г. Треногин, директор департамента Межрегионального филиала «Сибирь» ОАО «Ростелеком», к.т.н.
Е.А. Веловатый, начальник отдела Межрегионального филиала «Сибирь» ОАО «Ростелеком»; Evgeny.A.Velovaty@sibir.rt.ru
М.Н. Петров, профессор кафедры «Сети и системы связи» Сибирского федерального университета, д.т.н.

Введение. В последнее времени в компании ОАО «Ростелеком» реализован ряд проектов внедрения информационных систем, являющихся составными частями системы поддержки операционной и бизнес-деятельности компании (Operation Support System/Business Support System). На этапе автоматизации бизнес-процессов весьма актуальной становится задача оптимального построения систем, выбора их архитектуры и оптимизации бизнес-процессов, реализующих операционную деятельность подразделений. Решение этой задачи влияет на эффективность использования систем при выполнении бизнес-процессов и, в конечном итоге, на сам бизнес.

Проблема поиска универсального средства описания и оценки эффективности информационных систем известна давно. Однако очень сложно найти подход, с помощью которого можно одинаковыми средствами описать системы, различные по назначению и принципу работы.

В статье для описания системы поддержки операционной и бизнес-деятельности компании предлагается использовать тензорную методологию, позволяющую представить систему в виде удобного для дальнейшего анализа набора величин.

Понятие тензорной методологии анализа систем. Процесс описания разнородных систем с помощью универсальных понятий элемента и структуры приводит к следующему обобщению: множество систем является множеством различных проявлений некоторой обобщенной абстрактной системы, следовательно элементы и структуры рассматриваемых систем определенным образом взаимосвязаны друг с другом. В таком случае, имея результаты анализа одной системы, можно применять их к другим системам с помощью некоторого количества стандартных преобразований. Абстрактная сложная система может быть рассмотрена как геометрический объект, помещенный в некоторое многомерное пространство, а все многообразие существующих систем – как проекции данного объекта в частные системы координат.

Теория преобразований систем координат рассматривается в рамках векторного исчисления. *Тензорный анализ* является математическим аппаратом, позволяющим оперировать обобщенными n-мерными пространствами и объектами в них.

Автор тензорной методологии анализа систем американский ученый и инженер Г. Крон [1, 2] сделал вывод, что инвариантом преобразований структуры является линейная форма, связанная с каждым элементом сети. Одному и тому же символу в уравнении состояния системы соответствует не одна n-матрица, а совокупность n-матриц, имеющих одну и ту же размерность и отличающихся лишь значениями компонент. Такая совокупность n-матриц, выражающих проекции определенной физической сущности, называется геометрическим объектом.

В приложении к теории связи дальнейшее развитие тензорная методология Г. Крона получила в [3, 4]. Там впервые была использована тензорная методология для анализа вероятностно-временных характеристик в сетях связи.

Узловой метод анализа сети. При рассмотрении сети из n-ветвей как сети, состоящей из (n—k) узловых пар (открытых путей), в качестве распределения потенциалов, возникающих под действием поступающих в сеть потоков сообщений, принимаются величины длин очередей в системах массового обслуживания (СМО), соответствующих ветвям сети.

В узловых сетях воздействующей величиной, т.е. явлением, возникающим во вне и действующим на систему, является интенсивность потока входящих в сеть сообщений λ, а величиной отклика – значение длины очереди, возникающей в СМО под действием потока интенсивности λ при заданных интенсивностях обслуживания.

Вспомогательная сеть определяется как структура той же размерности, что и исходная сеть, элементы которой соединены неким другим способом. Из множества вспомогательных сетей выделяется так называемая *примитивная сеть* – сеть, состоящая из несоединенных между собой ветвей – элементов.

На первом этапе анализа узловых сетей тензорным методом необходимо установить вспомогательную сеть. К ней предъявляется следующее требование: получение уравнения состояния и компонент участвующих в нем элементов не должно представлять особой сложности. Простейшим частным случаем вспомогательной сети является примитивная сеть.

Г. Крон в [1] показал, что примитивная узловая сеть из n ветвей состоит из n незамкнутых обособленных (несвязанных между собой) ветвей. Общий вид примитивной узловой сети приведен на рис. 1.

Примитивная узловая сеть содержит n независимых подсетей и $2n$ узлов, и, следовательно, имеет $2n - n = n$ узловых пар. Два конца каждой ветви образуют узловую пару, через которую поступает и уходит поток сообщений интенсивностью λ. Таким образом, ветвь представляет собой одно- или многоканальную двухполюсную однофазную сеть передачи дискретных сообщений.

Простейшим элементом примитивной узловой сети является ветвь, представляющая собой обособленный открытый путь. Для ее описания необходимы следующие геометрические объекты:

- λ – интенсивность потока сообщений, воздействующего на СМО, расположенную в ветви;

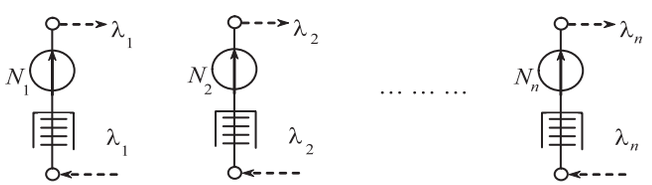

Рис. 1. **Примитивная узловая сеть**

- N – длина очереди, возникающая в буфере СМО под действием входящего потока сообщений;
- f – интенсивность выхода обслуженных сообщений из СМО – величина, обратная времени задержки T.

Формула Литтла состояния простейшего элемента – двухполюсной однофазной сети передачи дискретных сообщений для случая узловой сети:

$$\lambda = fN, \text{ где } f = T^{-1}.$$

Геометрические объекты, необходимые для описания примитивной сети, записанные в матричной форме, имеют тот же вид, что и для элемента примитивной сети:

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \dots \\ N_n \end{bmatrix}; \quad \mathbf{L} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix}; \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,n} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n,1} & f_{n,2} & \dots & f_{n,n} \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{L}$ – вектор, компоненты которого представляют собой интенсивности потоков сообщений, воздействующих на соответствующие ветви; $\mathbf{N}$ – вектор, компоненты которого представляют собой значения длин очередей, возникающих под действием поступающего потока сообщений в буферах СМО, соответствующих ветвям; $\mathbf{f}$ – квадратная матрица значений интенсивности выхода обслуженных сообщений, размерностью n-строк на n-столбцов. Элементы главной диагонали представляют собой интенсивности выхода обслуженных сообщений из СМО в соответствующих ветвях. Остальные элементы матрицы отражают взаимное косвенное влияние СМО друг на друга (использование общих ресурсов).

Матричное уравнение состояния примитивной сети:

$$\mathbf{L} = \mathbf{f}\,\mathbf{N}. \tag{1}$$

Эквивалентная система уравнений состояния примитивной сети:

$$\begin{cases} \lambda_1 = f_{1,1}N_1 + f_{1,2}N_2 + \dots + f_{1,n}N_n; \\ \lambda_2 = f_{2,1}N_1 + f_{2,2}N_2 + \dots + f_{2,n}N_n; \\ \dots\dots\dots \\ \lambda_n = f_{n,1}N_1 + f_{n,2}N_2 + \dots + f_{n,n}N_n. \end{cases} \tag{2}$$

Геометрические объекты, необходимые для описания исходной сети и уравнения состояния исходной сети, выраженные в матричной форме, имеют тот же вид, что и для примитивной сети, отличаясь лишь значениями компонент. Независимыми называются узловые пары, которые не могут быть выражены друг через друга. В то же время любую другую величину в сети можно получить линейной комбинацией независимых узловых пар. Геометрический объект, связывающий переменные обеих систем, называется *тензором преобразования*.

Уравнения преобразования переменных в узловой сети имеет вид:

$$\begin{cases} N_1 = A_{1,1}N'_1 + A_{1,2}N'_2 + \dots + A_{1,n-k}N'_{n-k}; \\ N_2 = A_{2,1}N'_1 + A_{2,2}N'_2 + \dots + A_{2,n-k}N'_{n-k}; \\ \dots\dots\dots \\ N_n = A_{n,1}N'_1 + A_{n,2}N'_2 + \dots + A_{n,n-k}N'_{n-k}. \end{cases} \tag{3}$$

Коэффициенты при величинах N_c исходной сети представляют собой тензор преобразования $\mathbf{A}$ узловой сети:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \dots & A_{1,n-k} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \dots & A_{2,n-k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n,1} & A_{n,2} & \dots & A_{n,n-k} \end{bmatrix}. \tag{4}$$

Система уравнений (3) в матричной форме:

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}\mathbf{N}', \tag{5}$$

где $\mathbf{N}$ – вектор длин очередей в ветвях примитивной (вспомогательной) сети; $\mathbf{N}'$ – вектор длин совокупных очередей в открытых путях исходной сети; $\mathbf{A}$ – матрица преобразования переменных (значений длин очередей) между примитивной и вспомогательной сетями. Формула

$$\mathbf{L} = \left(\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\right)^{-1}\mathbf{L}' \tag{6}$$

отражает закон преобразования вектора интенсивностей потоков сообщений $\mathbf{L}$, воздействующих на ветви примитивной сети, в вектор интенсивности потоков сообщений $\mathbf{L}'$, воздействующих на узловые пары (открытые пути) исходной сети.

Матрица значений интенсивности выхода обслуженных сообщений из СМО в исходной сети имеет вид:

$$\mathbf{f}' = \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{f}\mathbf{A}. \tag{7}$$

Следовательно, компоненты $\mathbf{f}'$ исходной сети находятся по компонентам матрицы $\mathbf{f}$ примитивной сети с помощью формулы преобразования (7), причем размерность матрицы $\mathbf{f}'$ отличается от размерности f и составляет (n—k) строк на (n-k) столбцов.

Уравнения состояния исходной сети в матричной форме

$$\mathbf{L}' = \mathbf{f}'\mathbf{N}'; \tag{8}$$

$$\mathbf{N}'_{\text{в}} = \mathbf{A}\mathbf{N}'; \tag{9}$$

$$\mathbf{L}'_{\text{в}} = \mathbf{f}\mathbf{A}\mathbf{N}'. \tag{10}$$

Результатом решения данной системы уравнений является вектор совокупных длин очередей в открытых путях (между узловыми парами) исходной сети. Обычно этот вектор — лишь промежуточным результатом. В том случае, если вспомогательная сеть является примитивной, длины очередей в СМО, расположенных в отдельных ветвях исходной сети, и интенсивности потоков сообщений, проходящих в отдельных ветвях, находят по формулам (9) и (10) соответственно.

Использование тензорной методологии для описания системы. Рассматриваемый подход позволяет значительно упростить задачи описания и анализа не только СМО при моделировании информационных систем, но и задач из других областей [5–10].

На рис. 2 представлена схема работы систем и оборудования, являющихся составными частями системы поддержки операционной и бизнес-деятельности Новосибирского филиала Макрорегионального филиала «Сибирь» компании ОАО «Ростелеком». Основные потоки информации при выполнении бизнес-процессов сотрудниками компании направлены из внешних источников корпоративной сети передачи данных и внутренних серверов к пользователям, расположенным в зданиях на площадках города Новосибирска, и к пользователям районных узлов компании в Новосибирской области. Движение потоков информации подчиняется законам теории массового обслуживания.

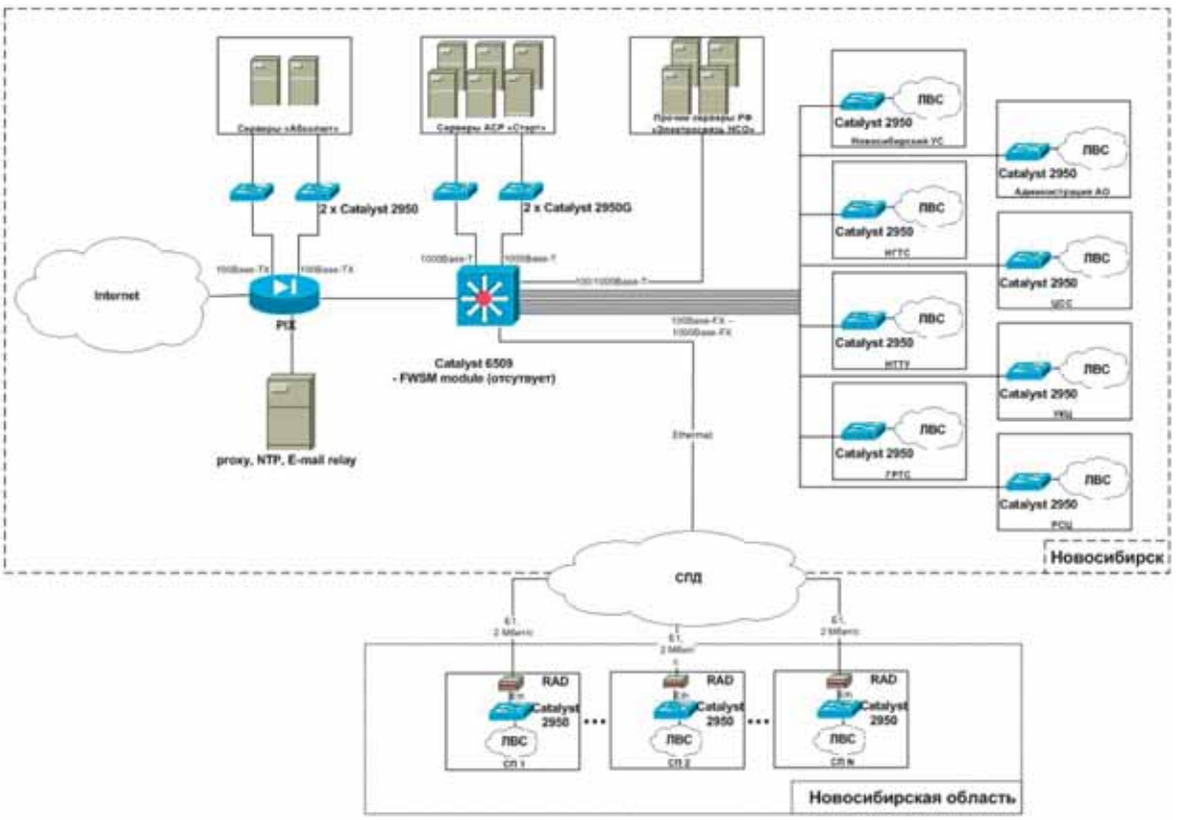

Рис. 2. **Схема подключения систем поддержки операционной и бизнес-деятельности Новосибирского филиала Макрорегионального филиала «Сибирь» ОАО «Ростелеком»**

Таким образом, система может быть представлена как СМО и к ней могут быть применены методы тензорной методологии. На рис. 3 приведена рассмотренная схема, представленная в удобном для анализа виде.

С помощью тензорной методологии система описывается следующим образом:

$$\mathbf{L}=\begin{bmatrix}\lambda_1\\ \lambda_2\\ \dots\\ \lambda_8\end{bmatrix};\ \mathbf{N}=\begin{bmatrix}N_1\\ N_2\\ \dots\\ N_8\end{bmatrix};\ \mathbf{f}=\begin{bmatrix}f_{1,1} & 0 & \dots & 0\\ 0 & f_{2,2} & \dots & 0\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ 0 & 0 & \dots & f_{8,8}\end{bmatrix}.$$

Для анализа были выбраны следующие ветви системы: *a* (1 4 8), *b* (2 4 6), *c* (3 4 8), *d* (5 6), *e* (7 8).

Матрица тензора преобразования:

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix}1&0&0&0&0\\0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0\\1&1&1&0&0\\0&0&0&1&0\\0&1&0&1&0\\0&0&0&0&1\\1&0&1&0&1\end{bmatrix};\ \mathbf{A}^{\mathrm{T}}=\begin{bmatrix}1&0&0&1&0&0&0&1\\0&1&0&1&0&1&0&0\\0&0&1&1&0&0&0&1\\0&0&0&0&1&1&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&1\end{bmatrix}.$$

С учетом формул (6), (7), (8), запишем:

$$\begin{cases}L_1+L_4+L_8=(f_{1.1}+f_{4.4}+f_{8.8})N_a+(f_{4.4}+f_{8.8})N_b+f_{4.4}N_c+f_{8.8}N_e;\\ L_2+L_4+L_6=f_{4.4}N_a+(f_{2.2}+f_{4.4}+f_{6.6})N_b+f_{4.4}N_c+f_{6.6}N_e;\\ L_3+L_4+L_8=(f_{4.4}+f_{8.8})N_a+f_{4.4}N_b+(f_{2.2}+f_{4.4}+f_{8.8})N_c+f_{8.8}N_e;\\ L_5+L_6=f_{6.6}N_b+(f_{5.5}+f_{6.6})N_e.\end{cases}$$

Получили систему уравнений, соответствующую формуле (8). Также могут быть получены формулы (9) и (10) для данной системы.

Средства автоматизации расчета параметров. Для наглядного отображения систем и расчета характеристик часто используют специализированные программные средства. На рис. 3 представлен внешний вид программы, разработанной авторами статьи, как средство автоматизации описания систем с применением тензорной методологии.

Программа имеет пользовательский интерфейс для составления схемы исследуемой системы. Пользователю необходимо определить узлы сети, ветви и указать последовательность обхода узлов. После окончания составления схемы необходимо нажать кнопку «Рассчитать» и программа сформирует все параметры описания системы. Помимо ручного составления схемы программа имеет механизм загрузки схем из файлов распространенного пакета BPWin.

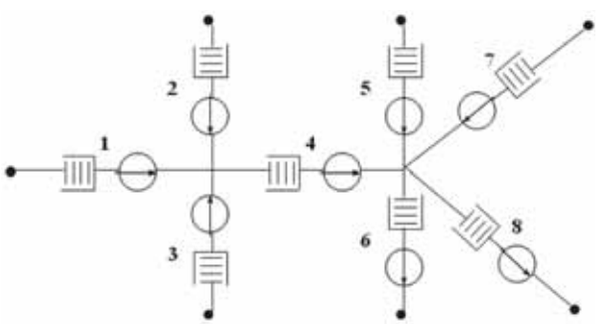

Рис. 3. **Схема, упрощенная и представленная в виде СМО**

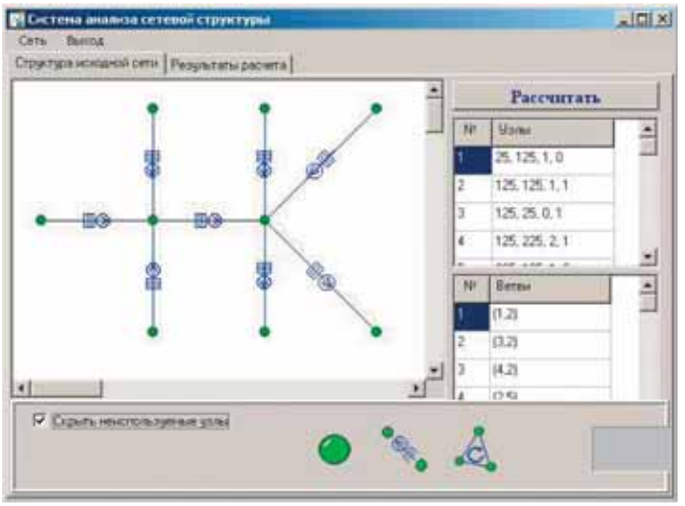

Рис. 4. **Интерфейс программы анализа сетевой структуры**

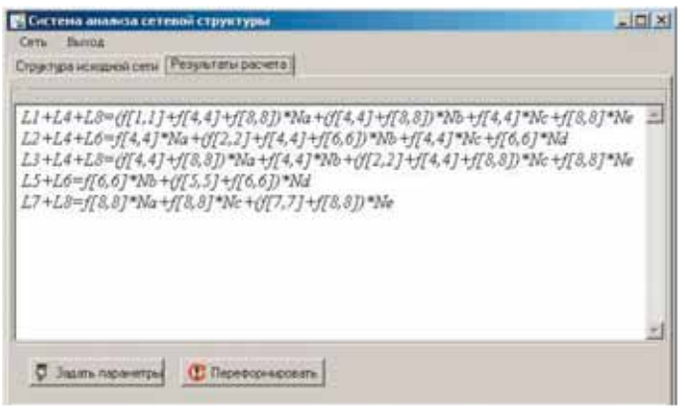

Рис. 5. **Результат расчета параметров**

На рис. 4 представлены результаты расчета параметров с помощью разработанной программы. Они соответствуют результатам, полученным ранее без программы.

Заключение. Тензорная методология является мощным инструментом для исследования характеристик сложных систем. Универсальность и общность описаний и рассуждений создает предпосылки для широкого применения методологии в современных условиях.

Представленный подход использования тензорной методологии для описания системы поддержки операционной и бизнес-деятельности компании позволяет в полной мере описать систему и происходящие в ней процессы.

Применение средств автоматизации позволяет значительно упростить рутинные операции вычисления параметров, учитывая тот факт, что системы часто имеют очень сложную структуру с большим количеством элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Крон Г.** Тензорный анализ сетей: Пер. с англ. под ред. Л.Т. Кузина и Г.П. Кузнецова. – М.: Сов. Радио, 1978 .
2. **Крон Г.** Исследование сложных систем по частям – диакоптика: Пер. с англ. под ред. Баранова. – М.: Наука, 1972.
3. **Петров М.Н.** Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации. – Красноярск: КГТУ, 1997.
4. **Верёвкина Е.В., Корякина О.А., Петров М.Н.** Тензорная методология исследования нагрузки в информационных сетях. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2004.
5. **Петров М.Н. Треногин Н.Г.** Распределенные информационные системы управления в телекоммуникационной отрасли; Под ред. проф. М.Н. Петрова. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2006.
6. **Треногин Н.Г.** Внедрение инновационных решений в деятельности ИТ подразделений телекоммуникационных компаний. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2006.
7. **Верёвкина Е.В., Гуревич Д.М., Петров М.Н.** Тензорная методология исследования бизнес-процессов; Под ред. проф. М.Н. Петрова. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2005.
8. **Верёвкина Е.В., Гуревич Д.М., Петров М.Н.** Тензорная методология исследования бизнес-процессов; Под ред. проф. М.Н. Петрова. – 2-е изд., доп. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2005.
9. **Верёвкина Е.В., Левин Д.Н., Петров М.Н.** Тензорная методология исследования надёжности бизнес-процессов; Под ред. проф. М.Н. Петрова. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2005.
10. **Верёвкина Е.В., Левин Д.Н., Петров М.Н.** Тензорная методология исследования надёжности бизнес-процессов; Под ред. проф. М.Н. Петрова. – 2-е изд. доп. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2006.

Получено после доработки 01.10.12.