

В. И. Кудрявцев, д-р техн. наук; О. Ф. Зирко, лаборант

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ВЫСОКОЙ АДАПТИВНОСТЬЮ

The task of model adaptivity has been used in Queuing systems with complex implementation. The new levels of a dvanced Queuing systems are ordered in device of this state. The complex form of requires and levels allows to represent the new method of driving model in Queuing systems for heightened adaptivity. As instrument of analyses the authors gave the expressions of new complex exponent and characteristics of queuing systems in control models. The heightened adaptivity is the future of Queuing theory. As the result of work we can assert that all process of Queuing theory could be transmitted in Queuing mini-systems. In this paper was made the attempt to improve adaptivity of Queuing systems by means of spreading the possibilities of mini-systems with complex exponent.

**Введение.** Под адаптивностью модели понимаются возможности поддержания требуемой адекватности модели:

- при изменении требований и задач модели;
- усложнении или расширении моделируемого процесса или структуры.

Потенциал повышения адаптивности модели может быть выявлен на разных уровнях модели, связанных с ее структурными базовыми особенностями, процессами и задачами. В системе обслуживания (СМО) можно определить следующие уровни модели:

- 1) обслуживающего прибора или уровень комплекса систем;
- 2) системы;
- 3) очереди;
- 4) источника требований;
- 5) требования;
- 6) задач системы.

**Основная часть.** Рассмотрим каждый из уровней.

**Уровень комплекса систем.** В традиционной СМО результат реализации требований рассматривается как конечный итог работы данной СМО или как основание для создания нового потока требований в смежной СМО. В последнем случае обслуживающий прибор является одновременно источником требований для смежной СМО. Интенсивность поступления требований в этой СМО будет определяться по формуле

$$\lambda = \Phi_{\text{тр}}(P_{ki}\lambda_i), \quad (1)$$

где  $\Phi_{\text{тр}}$  – функционал трансформации;  $P_{ki}$  – вероятность реализации;  $\lambda_i$  – интенсивность поступления требований в первоначальной СМО;  $(P_{ki}\lambda_i)$  – поток реализованных требований.

Требование с комплексным показателем представляет собой описание сложного объекта, что подразумевает сложное с ним взаимодействие, которое в свою очередь повышает вероятность сложной, т. е. многовариантной, реализации этого требования. В этом случае в СМО возникает эффект множественной реализации, под которой подразумевается многовариантная реализация требований. Тогда веро-

ятность реализации может быть представлена как комплексное число [1]. При этом для сохранения единства с существующей формой записи вещественная часть этого числа отображает завершенную реализацию требования, т. е. реализацию, за которой не прослеживается дальнейшая обработка этого результата, в противном случае вещественная часть числа отсутствует. В соответствии с принятой формой отображения комплексного числа каждая компонента этого числа представляет собой отдельное измерение [2]. Поскольку каждая мнимая компонента этого числа в вероятности реализации есть основание для создания потока требований смежных систем реализации, структурные схемы которых принято рассматривать в качестве плоских схем, то под каждой компонентой показателя реализации подразумевается смежная СМО, представляемая в отдельном плоском измерении, которое назовем плоско-стью реализации, связи между которыми выражаются формулой (1).

Очевидно, что если существуют две плоскости реализации, в которых одни и те же источник требований и обслуживающий прибор играют противоположные роли, то речь идет о системе с обратной связью по требованиям. Тогда эта система может рассматриваться как система управления источником требований либо на уровне мнимой части показателя требования, либо на уровне времени издания требования. В последнем случае речь может идти о полумарковских и немарковских процессах издания требований в СМО.

**Уровень системы.** По сложности организации можно выделить два типа СМО:

- с простым регламентом очереди;
- со сложным управлением очередью, например, так называемые ВМАР-системы.

Попробуем описать процессы управления реструктуризацией  $\{CR\}$  СМО как процессы СМО  $\{Q_i\}$ .

Предположим, что

$$\{Q_i\} \in \{Q\}, \quad (2)$$

$$\{CR\} \in \{Q\}. \quad (3)$$

Тогда в общем случае требования в управляемых системах могут быть представлены в двух ипостасях (ролях): требования реализации  $\{REQ_{real}\}$  и требования реструктуризации  $\{REQ_{rest}\}$ . Потоки этих требований обслуживаются в собственных, но логически взаимосвязанных СМО:

$$\{REQ_{real}\} \in \{Q_{real}\}, \quad (4)$$

$$\{REQ_{rest}\} \in \{Q_{rest}\}, \quad (5)$$

$$\{Q_{real}\} \cup \{Q_{rest}\} \in \{Q\}. \quad (6)$$

Кроме того, процесс создания требований реструктуризации на основе требований реализации может быть представлен как отдельный процесс СМО. Если множество  $\{REQ_{rem}\}$  представляет множества требований измерений, то

$$\{Q_{rest}\} : \{REQ_{real}\} \rightarrow \{REQ_{rem}\}. \quad (7)$$

Для реализации реструктуризации необходима промежуточная плоскость особого типа, называемая шаблоном реструктуризации  $\{Q_{pattern}\}$ . Сформированный шаблон реструктуризации отображается в плоскости реализации. Тогда управляемая СМО может быть представлена как четыре взаимосвязанных СМО, расположенных последовательно и создающих замкнутую структуру, характерную для систем управления:

- 1) плоскость реализации  $\{Q_{real}\} \sim \{Q_1\}$ ;
- 2) плоскость измерений  $\{Q_{rem}\} \sim \{Q_2\}$ ;
- 3) плоскость реструктуризации  $\{Q_{rest}\} \sim \{Q_3\}$ ;
- 4) плоскость шаблона реструктуризации  $\{Q_{pattern}\} \sim \{Q_4\}$  и опять исходная плоскость реализации

$$\{Q_1\} \rightarrow \{Q_2\} \rightarrow \{Q_3\} \rightarrow \{Q_4\} \rightarrow \{Q_1\}. \quad (8)$$

При этом управляемая СМО расположена в плоскости реализации. В плоскости измерений отображаются источники требований и все требования плоскости реализации, собранные в очереди к обслуживающим измерительным приборам в соответствии с измерительной схемой. Для предотвращения неполноты представления СМО плоскости реализации на плоскости измерений обслуживающий прибор плоскости реализации отображается на плоскости измерений в качестве требования с показателем, представляющим набор функционалов реализации данного обслуживающего прибора, а также указателем на осуществляемый в данный момент функционал реализации. Обслуживающий прибор плоскости измерений реализует процессы измерения и анализа показателей требований СМО плоскости измерений. При этом скорость процесса реализации требований в этой плоскости необходима многократно выше скорости реализации требований в плоскости

реализации. В плоскости реструктуризации источник требований может основываться как на потоке реализованных требований с единичного обслуживающего прибора, так и на множестве независимых потоков с разных обслуживающих приборов плоскости измерений. В последнем случае очевидно, что аргумент функционала трансформации может быть представлен комплексным числом. Обслуживающий прибор плоскости реструктуризации на основе реализации требований реструктуризации осуществляет оценку требующих реструктуризации объектов и подготавливает создание шаблона реструктуризации. На плоскости шаблона реструктуризации требования представляют собой шаблоны, в которых имеются схемы требуемых структур на плоскости реализации. Обслуживающий прибор этой плоскости сравнивает структуры плоскости реализации и шаблона реструктуризации, создает и выполняет план реструктуризации на плоскости реализации.

**Уровень очереди.** Решение задачи управления очередью связано с анализом связи требования с целями системы. Для этого предлагается ввести матрицу функционала актуальности реализации требования  $\Phi_{act}(L, M)$  на обслуживающий прибор. Исходя из показателя требования, функционал может выполнять функции контроля состояния очереди по формальным признакам, например по времени пребывания в очереди, или получать два результата:

- 1) предсказание функционала реализации требования на этом обслуживающем приборе;
- 2) предсказание оценки реализации требования на этом обслуживающем приборе.

При этом получение первого результата необходимо для систем с множественностью реализации. Получение второго результата необходимо для принятия управляющих решений в открытых системах массового обслуживания, результат работы которых существенно зависит от внешних факторов.

Если получение вычисляемых результатов не требуется, то функционал актуальности реализации описывает регламент управления очередью. При принятии решений реструктуризации очереди могут выполняться расчеты многофункциональной актуальности реализации, включающей в себя функционал актуальности синоминутной реализации, функционалы реализации требований на смежных обслуживающих приборах и др.

**Уровень источника требований.** Основным показателем источника требований в СМО является  $\lambda$  – интенсивность входного потока. Попробуем представить  $\lambda$  в качестве комплексного числа, тогда исходя из предыдущих рассуждений, это может означать издание нескольких потоков из одного источника или формирование потоков требований из нескольких источников.

В последнем случае возникают новые возможности управления очередями в СМО как управление очередью у источника. Таким образом, применение комплексной формы представления данного показателя целесообразно.

**Уровень требования.** В классических СМО требование характеризуется вещественными величинами  $T(t)$  и  $\xi(t)$ . Каждая из величин рассматривается отдельно и имеет свой закон распределения и совместное распределение, одинаковое во взаимосвязанном процессе [4]. Замена вещественной формы представления на комплексную

$$Z(t) = T(t) + i \xi(t) \quad (9)$$

дала возможность более точно предсказывать катастрофы при расчете вероятности обработки требований [2]. Показатель требования состоит из безразмерных компонентов типа  $\xi(x - x_0)$ , где  $\xi$  – функция размерности  $1 / [x]$ ;  $x$  – одна из размерных компонент показателя требования;  $x_0$  – смещение;  $\xi$  и  $x_0$  создают возможность актуализации компонентов показателя требования, а именно создавая предпосылки для ускорения расчета функционала актуальности реализации требования и ускорения процессов управления реструктуризацией СМО.

Что касается закона распределения, наиболее значимой характеристикой которого является функция распределения (ФР), то при комплексном представлении вид его может существенно измениться. Если  $F(Z, t)$  – ФР реального процесса, а  $Z$  описывается по формуле (9), то при комплексном представлении ФР можно описать с помощью формулы

$$F(Z, t) \approx F(T(t)) + i \sum_{n \in k}^{n(t)} C_n F_n(\dots) \quad (10)$$

Кроме того, при расчете вероятности реализации требования  $P_k$  на основе наименьшего показателя требования также появляется новая комплексная форма представления  $P_k$ . Однако в этом случае возникает конфликт природы комплексности этого показателя, вытекающий из многовариантности и многозначности процесса реализации, и природы комплексности, связанной с комплексностью показателя требования. В последнем случае имеет место разрыв с существующей практикой расчета экономической эффективности работы СМО. В первом же случае оценка реализации конкретизируется и дополняется. Очевидно, что существует необходимость устранения комплексности показателя  $P_k$ , связанной с непосредственным учетом комплексного показателя требования в общепринятых методиках расчета, посредством использования альтернативной методики учета потерь.

**Уровень задач системы.** На уровне задач системы может быть поставлен комплекс об-

ратных задач СМО, расширяющий область ее применения, а именно:

- прогнозирование параметров источника требований, например интенсивности поступления требований;

- прогнозирование показателей требования в разные моменты его нахождения в очереди.

Может быть предложен универсальный подход к задачам СМО, исключающий сами понятия прямых и обратных задач. При этом подходе в задачах СМО прямо или косвенно могут измеряться и прогнозироваться любые показатели СМО. При универсальном подходе могут использоваться различные алгоритмы реализации различных связанных задач в рамках одной СМО.

**Уровень функциональности системы.** На уровне функциональности системы ставится задача совершенствования работы СМО без изменения ее структуры. По разным показателям функционирования СМО мы будем иметь множества предсказанных значений и одно фактическое значение на каждое из этих множеств. В результате может быть проведена трассировка каждого элемента множества с соответствующим фактическим значением с целью оптимизации алгоритма прогноза. Кроме того, может быть проведена трассировка тенденций в множествах прогнозных значений, структурированных по времени или по другому признаку, и определение влияния этих тенденций на точность прогноза. Тогда трассировка может быть представлена как процесс СМО, в котором требования содержат прогнозные значения того или иного комплексного показателя, а первым обслуживается требование, содержащее фактическое измеренное значение этого показателя.

Из рассмотренных выше уровней, опираясь на теорию комплексных пространств, можно утверждать о существовании еще одного уровня СМО – уровня комплексных пространств [3].

#### **Уровень комплексных пространств СМО.**

1. Эффективность процессов управления, например, источником требований, управление реструктуризацией СМО, очередь у источника во многих случаях не могут рассматриваться вне учета динамических характеристик следующих компонентов системы управления: объекта управления, управляющего устройства, передаточного звена, обратной связи. Это обуславливает необходимость использования в качестве компонентов того или иного комплексного показателя выражений.

2. Во многих случаях при управлении комплексом систем может потребоваться синхронизация процессов СМО. Кроме того, введение в компоненты комплексного показателя синхронизирующих функций позволит описывать структуры, ранее не включаемые в модель СМО,

в частности структуру кольцевого стека, где в одном устройстве синхронизированы две роли: источника требований и обслуживающего прибора.

3. Учет динамических характеристик и синхронизирующих функций требует сложного согласования комплексных пространств различных показателей разных СМО. Поскольку большинство потоков требований связано отношениями материального баланса, и в них можно выделить источники, передающие звенья (очереди), трансформирующие элементы, с этой целью в качестве структур анализа могут использоваться цепи.

4. При управлении на уровне системы может меняться структура СМО. В случае управления на уровне комплекса систем, например при управлении источником требований, может меняться тип системы СМО. Таким образом, можно констатировать, что все характеристики СМО, кроме показателей требований, могут меняться в ходе управления ею на разных уровнях, при этом эти характеристики являются независимыми по отношению друг к другу. Тогда, поскольку может существовать управляющий метапроцесс несколькими связанными СМО, этот метапроцесс также может быть представлен как процесс СМО, в котором в качестве требований выступают отображения соответствующих СМО комплекса систем. Показатели данных требований формируются из управляемых характеристик соответствующих СМО. С другой стороны, процесс измерения комплексного показателя требования в обслуживающем приборе на плоскости измерений может быть в свою очередь представлен как процесс СМО, в котором в качестве требования выступают требования измерения соответствующего компонента показателя исходного требования. В показатель требования измерения компонента показателя могут быть включены характеристики и ограничения требуемого процесса измерений компоненты показателя исходного требования. Таким образом, процес-

сы управления в комплексном пространстве СМО порождают основания для СМО – обобщений и для СМО – конкретизации управляющих процессов.

**Заключение.** Исходя из описанного, можно сделать следующие выводы.

1. На уровне комплекса систем повышение адаптивности модели СМО заключается не только в возможности отображения практически неограниченного простого расширения или сужения системы за счет подключения или отключения дополнительных СМО, но и за счет моделирования многовариантной реализации требований на обслуживающем приборе, а также моделирования системы управления источником требований.

2. Все процессы, связанные с вычислением в СМО, могут быть представлены как процессы СМО. Это позволяет сократить количество вычислительных алгоритмов, используемых в процессах анализа и управления.

3. Все показатели СМО могут иметь комплексную форму представления, что в каждом таком случае повышает адаптивность СМО.

#### Литература

1. Зирко, О. Ф. Требования с комплексными показателями в системах массового обслуживания / О. Ф. Зирко // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информ. – 2007. – Вып. XV. – С. 130–133.

2. Кудрявцев, В. И. Теория массового обслуживания в циклических процессах автоматического управления / В. И. Кудрявцев, О. Ф. Зирко // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информ. – 2007. – Вып. XV. – С. 134–137.

3. Свешников, А. Г. Теория функций комплексной переменной / А. Г. Свешников, А. Н. Тихонов. – М.: Наука, 1970. – 304 с.

4. Тихоненко, О. М. Модели массового обслуживания в информационных системах: учеб. пособие / О. М. Тихоненко. – Минск: Технопринт, 2003. – 327 с.