

## ГАРАНТИРОВАННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.В. Скатков, И.А. Балакирева

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»  
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
E-mail: [itiks@sevstu.ru](mailto:itiks@sevstu.ru)

Предлагается подход к решению задачи параметрической адаптации модели управления объектами окружающей среды на основе процедуры мажорирования систем массового обслуживания с произвольным потоком входных данных. На основе решения задачи мажорирования предлагается алгоритм построения мажорирующей системы, который позволяет осуществить сбалансированность аппаратной структуры системы мониторинга окружающей среды с ее производительностью, интенсивностью входного потока данных и трудоемкостью их обработки. Обсуждаются результаты эксперимента.

**Ключевые слова:** системы мониторинга, параметрическая адаптация, мажорирующая система, статистическое мажорирование, модель мажорирования, имитационный эксперимент.

**Введение.** Многие системы мониторинга (СМ), особенно связанные с изучением объектов окружающей среды (ОС) [1] используют информационные технологии, направленные на решение крупномасштабных научных задач [2], в основе которых заложена концепция больших данных. Как известно, под большими данными подразумеваются данные, большие по объему, требующие значительных затрат времени на их обработку и имеющие высокую динамику изменения этих данных во времени.

Мониторинг состояния объекта ОС особенно важен еще и с той точки зрения, что на основе полученной информации появляется возможность устранения той или иной неопределенности, связанной с объектом исследования, прогнозирования критических событий [3] и обеспечения процесса подготовки и принятия управленческих решений.

В основе подходов к решению подобных задач лежит система распределенных вычислений, выполняющихся, как правило, в гетерогенных узлах вычислительных сетей. Узлы вычислительных сетей позволяют регистрировать, записывать и обрабатывать данные со всех датчиков СМ. Настройка такой сети в целом является чрезвычайно сложной задачей в связи с распределенностью данных и неоднородностью их структуры.

При исследовании СМ окружающей среды приходится сталкиваться с ситуацией, при которой производительность исследуемого узла распределенной вычислительной сети, как правило, известна, а входной поток данных с первичных датчиков имеет произвольное распределение.

Эффективность решения задачи настройки сети определяется качеством предоставляемых СМ IT-сервисов. Одним из ценных потребительских свойств IT-сервиса является его гарантоспособность [4]. Это понятие включает в себя [5] такие метрики, как доступность и непрерывность IT-сервиса, его надежность и производительность. Гарантоспособность – это еще и гарантированное обеспечение функциональных возможностей сервиса в установленное время, что для пользователя является ценным качеством. В связи с этим представляется актуальным рассмотреть задачу обеспечения условий гарантоспособности IT-сервиса [6] СМ ОС.

Гарантированное обеспечение функциональных возможностей СМ ОС возможно при реализации особых механизмов адаптации производительности узлов к изменению рабочей нагрузки, состоящих в изменении параметров и структуры моделей управления объектами. В связи с этими обстоятельствами, решение задач, связанных со структурной и параметрической адаптацией при-

меняемых моделей мониторинга, приобретает особо важное значение [7].

Предлагаемый подход к решению задачи определения условий обеспечения гарантоспособности ИТ-сервиса, основанный на общих идеях мажорирования системных характеристик, будем иллюстрировать для конкретизации моделями систем и сетей массового обслуживания (СМО). В наиболее общем виде модель процесса обработки данных, полученных с датчиков СМ может быть представлен моделями типа  $G/G/k/m$ , имеющими произвольный поток входных данных и произвольно распределенное время их обслуживания при заданном количестве каналов обслуживания и емкости входного буфера на входе системы [8].

Для таких СМО отсутствуют аналитические методы расчета их характеристик, что не позволяет детально изучить свойства и закономерности, присущие протекающим в них процессам, а, следовательно, построить приемлемые для инженерных целей методы расчета. Особенно это важно для критических систем и систем с высокой нагрузкой. В связи с этим обстоятельством стоит задача найти методы расчета характеристик СМО с произвольным входным потоком данных.

В данной статье предлагается подход к решению задачи параметрической адаптации, в котором разрабатываются процедуры мажорирования СМО типа  $G/G/k/m$  системой, удовлетворяющей двум условиям: во-первых, они должны быть наиболее простыми в функционально-структурном плане, во-вторых, для них должны быть известны аналитические оценки операционных характеристик как функций внутренних параметров. В качестве таких систем будем использовать системы типа  $M/M/k/m$  с простейшим входным потоком.

Задача выбора производительности СМО типа  $M/M/k/m$ , мажорирующей характеристики системы с произвольным входным потоком, является основной целью предлагаемой статьи. Само понятие мажорирования одной системы другой подлежит уточнению, в частности, мажорирование должно быть определено в окрестности некоторой рабочей

точки системы с указанием приемлемой разности выходных характеристик обеих рассматриваемых систем. С этой целью дадим ряд определений.

**Основные определения.** Рассматриваются две системы  $S_1$  и  $S_2$ . На вход каждой из них поступает входной поток данных известной интенсивности  $X$ , в общем случае – произвольный. Функционирование каждой из систем определяется совокупностью их внутренних параметров, задаваемых множествами  $G_1$  и  $G_2$ . При необходимости элементы таких множеств можно упорядочить и пользоваться соответствующим векторным представлением. В качестве внутренних переменных систем обработки данных можно рассматривать их производительности, объем буферных входных накопителей, число обслуживающих каналов. Функционирование каждой из систем характеризуется критериальными функциями  $Y^1$  и  $Y^2$ . Такие критериальные функции определены на множествах  $X$  и  $G$ . Для дискретного случая задания  $X$  и  $G$  следует использовать их декартово произведение. В общем случае  $Y^1$  и  $Y^2$  – величины векторные, т.е.  $Y^1(X,G)=\{y^1_i\}$  и  $Y^2(X,G)=\{y^2_i\}$ ,  $i=1,m$ . Как правило, при исследовании функционирования систем обработки данных интерес представляют такие системные характеристики как среднее время пребывания требований в системах, средние длины очередей на обслуживание, вероятности отказа требованиям в обслуживании и другие [8,9]. Будем использовать множество  $M$  как область с множеством точек с координатами  $X$  и  $G$ .

В предположении, что существуют такие значения внутренних параметров  $G$ , что для каждого соответствующих компонентов векторов  $Y^1$  и  $Y^2$  выполняется неравенство

$$y_i^2 \geq y_i^1, \quad i=1,m, \quad (1)$$

минимально мажорирующее хотя бы одно равенство, то будем говорить, что система  $S_2$  мажорирует систему  $S_1$  по векторному параметру  $Y$ . Операция отношения в неравенстве (1) предполагает и возможное точное совпадение значе-

ний соответствующих компонентов вектора  $Y$ . Неравенство (1) может быть справедливо при единственных значениях внутренних параметров системы и на множестве этих значений, как счетного, так и бесконечного.

Как правило, выходные показатели систем описываются с помощью случайных величин, и в этом случае целесообразно использовать статистические характеристики, например, функции распределений. В этом случае речь может идти о статистическом мажорировании векторных показателей качества функционирования СМО.

**Постановка задачи. Построение модели мажорирования.** На основании вышеизложенного можно заключить, что решение задачи мажорирования сводится к определению таких значений внутренних параметров  $g_j^{\text{maj}}$ ,  $j = 1, n$ , при которых значения выходных характеристик системы  $S_2$  делают справедливым неравенство (1). В этом случае неравенство (1) будет иметь вид

$$y_i^2(G) \geq y_i^1(G), \quad i = 1, m \quad (2)$$

и выполняться на некотором множестве

$$\Gamma = \bigcap_{j=1}^n (g_j \geq g_j^{\text{maj}}). \quad (3)$$

С точки зрения мажорирования системы  $S_1$  системой  $S_2$  важно, чтобы при выполнении неравенства (2) разность значений соответствующих компонентов выходных характеристик  $y_i^2(G)$  и  $y_i^1(G)$ ,  $i = 1, m$  рассматриваемых систем не превышала бы заданной величины, то есть

$$y_i^2(G) - y_i^1(G) \leq \delta_i, \quad i = 1, m, \quad (4)$$

где  $\delta_i \geq 0$  – константа рассогласования  $i$ -й компоненты вектора выходных характеристик рассматриваемых систем. Константы рассогласования выходных характеристик представляются вектором рассогласования  $\Delta = \{\delta_i\}$ ,  $i = 1, m$ . Значения компонентов вектора рассогласования могут быть различными и опреде-

ляться сутью компонента. Поскольку в выражении (4) речь идет всегда об обязательном превышении значений выходных характеристик системы  $S_2$  над значениями соответствующих характеристик системы  $S_1$ , то знак модуля в левой части выражения можно опустить.

С учетом значений констант рассогласования выходных характеристик систем, область изменения внутренних параметров системы  $S_2$ , в которой достигается мажорирование системы  $S_1$  системой  $S_2$  выражение (8) примет вид

$$\Gamma = \bigcap_{j=1}^n (g_j^{\text{maj}} \leq g \leq g_j^{\text{maj}}(\Delta)), \quad (5)$$

где  $g_j^{\text{maj}}(\Delta)$  – значение  $j$ -го внутреннего параметра системы, при котором выполняется выражение (4). Таким образом, выражения (4), (5) представляют собой необходимые системные условия, при выполнении которых достигается мажорирование системы  $S_1$  системой  $S_2$ .

**Процедура мажорирования** системы  $S_1$  системой  $S_2$  изображена на рис. 1. В области выходных характеристик рассматриваемые системы имеют рабочие точки  $S_1$  и  $S_2$  соответственно (рис. 1a). Рабочим точкам систем соответствуют определенные значения соответствующих внутренних параметров систем  $G_1$  и  $G_2$  (рис. 1б).

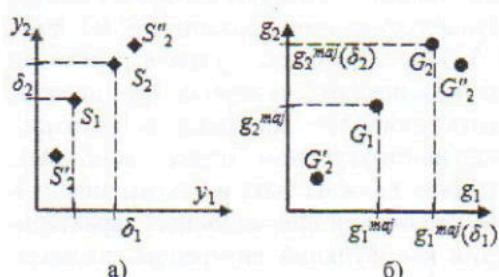


Рис. 1. Области изменения параметров систем: а) выходные характеристики систем; б) внутренние параметры систем

Система  $S_2$  в указанной рабочей точке мажорирует систему  $S_1$  (рис. 1) по выходным характеристикам  $y_1$  и  $y_2$ , поскольку для соответствующих выходных характеристик систем выполняется неравенство (4) в области изменения внутренних параметров систем, удовле-

творяющей выражению (5). В рабочей точке системы  $S_2$  с координатами  $S'_2$  мажорирование системы  $S_1$  не достигается, а в точке с координатами  $S''_2$ , хоть и наблюдается превышение значений выходных переменных относительно соответствующих системы  $S_1$ , но в этом случае разность значений выходных характеристик систем будет большей, чем значение констант рассогласования по каждой из характеристик. Иными словами, хоть мажорирование и имеет место, но в этом случае характеристики системы  $S_2$  будут очень грубым приближением соответствующих характеристик системы  $S_1$ .

Наиболее конструктивно в качестве мажорирующих систем использовать СМО с простейшим входным потоком данных и экспоненциальным распределением времени обслуживания их – СМО типа M/M/k/m, для которых известны аналитические соотношения для вычисления значений выходных характеристик. Логическая схема процедуры мажорирования представлена на рис. 2. Кроме того, системы типа M/M/k/m выбраны в качестве мажорирующих поскольку они обладают свойством параметрической монотонности. Это свойство предполагает, что выходные характеристики СМО монотонно зависят от исследуемого параметра.

Здесь можно выделить внутреннюю и внешнюю монотонность системы. Если выходные характеристики СМО монотонно зависят от внутреннего параметра системы, то речь идет о внутренней монотонности. Например, при увеличении производительности системы среднее время пребывания заявки в СМО монотонно убывает. Внешняя монотонность предполагает монотонное изменение выходных характеристик при изменении интенсивности входного потока.

Кроме того, при использовании в качестве мажорирующих систем СМО типа M/M/k/m, заметно облегчается процесс оптимизации параметров СМО с произвольным входным потоком заявок. Это достигается за счет того, что оцениваемая система с произвольным вход-

ным потоком приобретает свойство параметрической монотонности мажорирующей системы. В таком случае частные критерии достигают экстремума на границе области изменения этого параметра, и для анализа и синтеза СМО становится возможным применение аппарата выпуклого анализа.

**Статистическое мажорирование.** Поскольку указанные выше выходные характеристики систем суть случайные величины интерес представляет задача статистического мажорирования. В данном случае интересно рассмотреть такую выходную характеристику как время пребывания пакета данных в системе, представленное функцией распределения (ФР). Для чтобы система M/M/k/m статистически мажорировала бы систему G/G/k/m по ФР времени пребывания пакета данных в системе должно выполняться соотношение  $F(t_s^G) \geq F(t_s^M)$ , где  $F(t_s^G)$  и  $F(t_s^M)$  – соответственно ФР времен пребывания пакета данных в системах G/G/k/m и M/M/k/m. В этом случае неравенство (4) примет вид

$$F(t_s^G) - F(t_s^M) < \delta_F, \quad (6)$$

а соотношение (5), описывающее область изменения времени обслуживания пакета данных в системе M/M/k/m будет представлено следующим образом

$$\Gamma = t_{\text{обс}}^{\text{maj}}(\delta_F) \leq t_{\text{обс}}^M \leq t_{\text{обс}}^{\text{maj}}. \quad (7)$$

**Методы имитационного моделирования** в заданной рабочей точке области изменения параметров СМО легли в основу решения задачи мажорирования. Применение имитационного моделирования для исследования систем целесообразно [10, 11], поскольку аналитические решения для СМО типа M/M/k/m получены при целом ряде существенных ограничений, трудно проверяемых на практике. Особенно это оправдано для режимов со средней высокой нагрузкой, которая имеет место на границах области определения выходных характеристик.

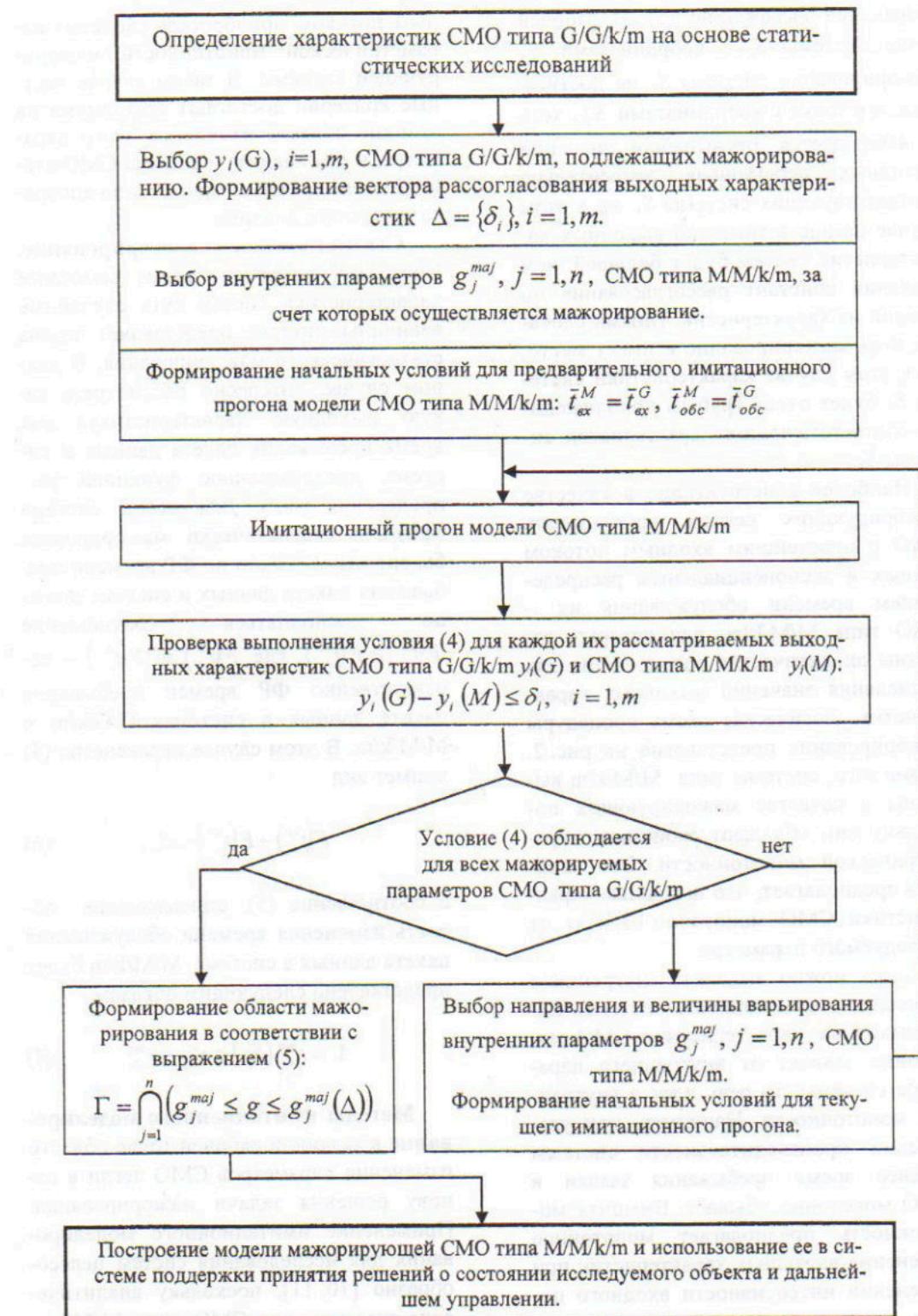


Рис. 2. Логическая схема процесса мажорирования

**Вычислительный пример мажорирования для СМ ОС.** Для примера рассмотрим СМ ОС с двухуровневой архитектурой. Первый уровень образует система измерителей-датчиков, которые

предназначены для первичного съема и регистрации данных о состоянии измеряемых параметров ОС [12]. Второй уровень представляет собой ИС, центром которой является многоядерный

процессор. Поскольку в некоторых случаях предусматривается процедура временного хранения поступающих первичных данных от датчиков, на входе процессора имеется буферная память ограниченной емкости.

Организация эксплуатации таких двухуровневых СМ ОС требует принятия решений по балансировке нагрузки систем. Целью балансировки является гармонизация аппаратной структуры элементов системы с одной стороны, и, с другой стороны – производительностью процессора, интенсивностью входного потока данных и трудоемкостью их обработки.

Нарушение балансировки приводит либо к потере данных при мониторинге, либо к неоправданным затратам на структурную избыточность аппаратных средств.

Решение задачи балансировки требует тщательного моделирования. Как правило, СМ ОС функционирует в режимах, которые не являются стационарными. В таком случае необходимость решения задачи балансировки возникает регулярно. Целью этой задачи является рациональное обеспечение минимальной структурной избыточности, которая гарантирует минимизацию потерь данных СМ ОС.

Для решения задачи балансировки предлагается применить вышеописанный подход. В качестве иллюстрации числового примера рассмотрим СМ ОС со следующими характеристиками. Исследовалась система  $S_1$ , включающая в себя датчики первичных данных и однопроцессорный узел компьютерной сети (УКС), в котором данные подвергаются первичной обработке. На входе УКС предусмотрена предварительная буферизация данных. В ходе эксперимента принято, что объем буферной памяти на входе УКС неограничен. Время поступления пакетов данных с датчиков в УКС имеет произвольное распределение со средним значением  $\bar{t}_{ax}^G$ . Время обслуживания пакетов данных в системе также имеет произвольное распределение со средним значением  $\bar{t}_{obs}^G = 1$ . Временные характеристики исследуемой системы

представлены в относительных единицах.

Адекватной моделью исследуемой СМ ОС является система  $S_1$ , которую можно представить одноканальной СМО типа G/G/1 с бесконечной очередью и произвольным распределением потоков входных данных и интервалов времени обработки этих данных в системе. Для СМО типа G/G/1 аналитического описания не существует, поэтому целесообразно применить предлагаемый подход, и, в качестве мажорирующей, выбрать СМО типа M/M/k/m, для которых аналитическое описание известно.

Итак, для мажорирования выберем систему  $S_2$ , имеющую ту же структуру, что и исследуемая, то есть СМО типа M/M/1. Средние времена между поступлениями пакетов данных в системы  $S_1$  и  $S_2$  в ходе эксперимента будем считать равными  $\bar{t}_{ax}^M = \bar{t}_{ax}^G$ . В качестве начального условия проведения имитационного эксперимента значение среднего времени обслуживания пакетов данных в системе M/M/1 установим  $\bar{t}_{obs}^M = \bar{t}_{obs}^G = 1$ .

Цель эксперимента – установить возможность и условия мажорирования системы в соответствии с моделью (4) и (5), определить область изменения параметров системы M/M/1, в которой это мажорирование достигается.

Таким образом, для решения задачи (4), (5) необходимо определить значение среднего времени обслуживания пакетов данных в системе M/M/1 –  $\bar{t}_{obs}^M$ , при котором система M/M/1 параметрически мажорирует СМО типа G/G/1 по следующим выходным характеристикам: среднее время пребывания данных в системе –  $t_s$ ; средняя и максимальная длины очереди, соответственно  $l_{av}$  и  $l_{av\max}$ . Таким образом, для каждой из указанных выходных характеристик должно выполняться неравенство (4), и должна быть определена область изменения среднего времени обслуживания пакетов данных в мажорирующей системе в соответствии с выражением (5).

В ходе вычислительного эксперимента исследовалась также возможность

статического мажорирования системы  $S_1$  системой  $S_2$  по ФР времени пребывания пакетов данных в системе. Процедура мажорирования выполнялась в соответствии с логической схемой, представленной на рис. 2. Процесс построения мажорирующей ФР времени пребывания пакета данных в СМО типа M/M/1 представлен на рис. 3.

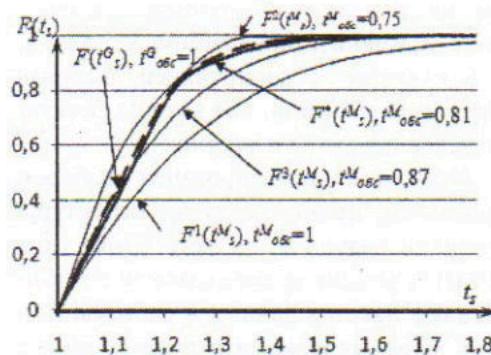


Рис. 3. Аппроксимация ФР времени пребывания пакета данных в СМО с произвольным входным потоком

**Анализ результатов эксперимента.** ФР времени пребывания пакета данных в системе GM/1  $F(t_s^G)$  обозначена на рис. 3 штриховой линией. Линия, соответствующая  $F^1(t_s^M)$ , представляет ФР времени пребывания пакета данных в системе M/M/1 при среднем времени его обслуживания, равного  $\bar{t}_{обс}^M = \bar{t}_{обс}^G = 1$ . Как видно, необходимо уменьшить время обслуживания пакета данных в системе M/M/1, чтобы выполнялось неравенство (6) при заданном значении константы рассогласования  $\delta_F$ . ФР  $F^3(t_s^M)$  мажорирующей не может считаться, поскольку для нее значение рассогласования  $\delta_F$  превышает заданный уровень.

Мажорирование обеспечивается при времени обслуживания пакета данных в системе  $0,81 \leq \bar{t}_{обс}^M \leq 0,83$  относительно  $t_{обс}^G = 1$  системы с произвольным входным потоком данных. Таким образом, учитывая, что средние значения производительности и времени обслуживания связаны соотношением  $\mu_{обс} = 1/t_{обс}$  установлено, что мажорирующая систе-

ма M/M/1 должна иметь более высокую производительность, чем СМО типа G/M/1, область изменения которой  $1,2 \leq \mu_{обс}^M \leq 1,25$  требований в единицу времени относительно  $\mu_{обс}^G = 1$ .

В ходе имитационного эксперимента установлена возможность параметрического мажорирования рассматриваемой СМО с произвольным входным потоком по следующим выходным характеристикам: среднее время пребывания пакета данных в системе —  $t_s$  и средняя длина очереди на входе системы —  $l_{оч}$ . Для этого на основании имитационных прогнозов установлены средние значения указанных характеристик для системы G/G/1 (на рис. 4 их значения представлены штриховой линией).

Характер изменения соответствующих параметров в зависимости от времени обслуживания пакета данных для системы M/M/1 на этом же рисунке обозначен сплошной линией. Для каждого из параметров определены средние времена обслуживания данных  $t_{обс}^{maj}$  и  $t_{обс}^{maj}(\delta_i)$ ,  $i=1,2$  в СМО типа M/M/1, при которых обеспечивается мажорирование соответствующих параметров СМО с произвольным входным потоком с учетом значения констант рассогласования для каждой характеристики. На рисунке координаты этих точек обозначены как  $t_{11}$  и  $t_{12}$  соответственно.

Интервалы длительности времен обслуживания пакета данных, при которых достигается мажорирование для каждой из характеристик, могут быть различны, поэтому необходимо решить задачу определения такой области изменения среднего времени обслуживания пакета данных системы M/M/1, в которой СМО типа M/M/1 мажорирует систему G/M/1 на всем множестве рассматриваемых выходных характеристик  $Y^M = \{t_s, l_{оч}\}$ . Для того, чтобы СМО M/M/1 мажорировала бы рассматриваемую систему G/M/1 по среднему времени пребывания данных в системе, время обслуживания данных в системе M/M/1 должно принадлежать отрезку  $t_{обс}^M \in [0,81; 0,88]$ .

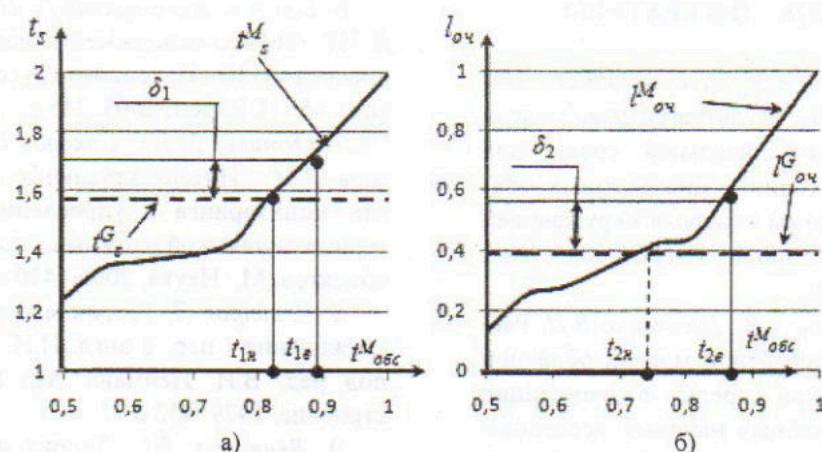


Рис. 4. Изменение показателей СМО типа М/М/1 в зависимости от времени обслуживания пакета данных: а) среднее время пребывания пакета данных в системе; б) средняя длина очереди на обслуживание

На рис. 5 этот интервал обозначен как  $[b,e]$ . При мажорировании по средней длине очереди на входе системы время обслуживания пакета данных в СМО М/М/1 изменяется в области  $t_{\text{обс}}^M \in [0,73; 0,86]$ , что соответствует отрезку  $[a,d]$  на том же рисунке. Область изменения времени обслуживания в мажорирующей системе для ФР времени пребывания данных в системе представлена на рис. 5 отрезком  $[b,c]=[0,81; 0,83]$ .

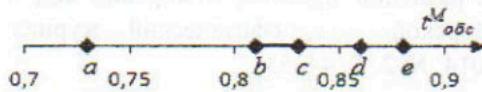


Рис. 5. Область изменения времени обслуживания пакета требований СМО типа М/М/1

В соответствии с условием (5) существует область, в которой выполняется условие мажорирования для всех рассматриваемых характеристик системы G/M/1, и она представлена отрезком  $\Gamma=[b, c]=[0,81; 0,83]$ . Итак, установлено, что мажорирования СМО типа G/M/1 необходимо выбрать систему M/M/1 с более высокой производительностью  $1,2 \leq \mu_{\text{обс}}^M \leq 1,25$  пакета требований в единицу времени относительно  $\mu_{\text{обс}}^G = 1$ .

**Выводы.** В ходе имитационных экспериментов подтверждена возможность мажорирования систем с произвольным входным потоком данных архитектуры G/G/1 системами типа M/M/1 на основе моделей (4), (5) для параметрического

мажорирования и моделей (6), (7) – для статистического мажорирования.

Совершенно аналогично выполняется операция мажорирования и для случая систем с архитектурой G/G/k/m. В этом случае используется СМО типа M/M/k<sub>0</sub>/m<sub>0</sub>. Разработана процедура определения области изменения внутренних параметров системы, в которой достигается мажорирование по выходным характеристикам системы с произвольным потоком входных данных, которые представляют интерес для исследователя. Необходимо отметить, что условия (4), (5) не позволяют аналитически определить области мажорирования. Конструктивным средством решения таких задач является имитационное моделирование, на основе которого возможно путем конструктивного экспериментирования решить задачу мажорирования.

На основе этого подхода может быть решена задача балансировки нагрузки СМО, что позволит снизить затраты на структурную избыточность аппаратных средств системы и, с другой стороны, минимизирует потерю данных при мониторинге ОС.

Такой подход может быть использован при проектировании СМО для оптимизации ее структуры, при параметрической адаптации более сложных систем, а также в процессе эксплуатации при оперативном управлении с целью минимизации потерь данных и, в конечном итоге, позволяет повысить ее гарантированность СМО.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скатков А.В., Шевченко В.И., Николаева Ю.П. Мультиагентная модель облачной вычислительной среды для систем мониторинга многомерных объектов // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2015. № 1 (21). С. 45–51.
2. Скатков А.В., Шевченко В.И. Расширение референтной модели облачной вычислительной среды в концепции крупномасштабных научных исследований // Труды ИСП РАН. 2015. № 6. С. 285–306.
3. Доронина Ю.В. Рейнжиниринг информационных систем: монография. М.: Изд-во «Спутник +», 2015. 170 с.
4. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2013. № 5 (17). С. 7–19.
5. Шевченко В.И., Скатков А.В. Модель управления процессом поддержки гарантированного уровня ИТ-сервисов в бизнес-критических системах // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2014. Вып. 15. С. 97–102.
6. Бон Я.В., Кеммерлинг Г., Пондаман Д. ИТ Сервис-менеджмент, введение / под ред. М.Ю. Потоцкого (русская версия). М.: IT Expert, 2003. 215 с.
7. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
8. Клейнер Л. Теория массового обслуживания / пер. с англ. И.И. Грушко; под ред. В.И. Неймана. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 2007. 491 с.
10. Лоу А., Кельтон Д. Имитационное моделирование. СПб.: Питер, БХВ-Петербург, 2004. 348 с.
11. Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. СПб.: Вузовский учебник, 2013. 448 с.
12. Гайский П.В., Трусович В.В., Забурдаев В.И. Автоматический биоэлектронный комплекс, предназначенный для раннего обнаружения отравляющих загрязнений пресных и морских вод // Морской гидрофизический журнал. 2014. № 2. С. 44–53.

## GUARANTEED EVALUATION OF OPERATING CHARACTERISTICS OF QUALITY ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS

A.V. Skatkov, I.A. Balakireva

Federal State Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University»  
Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

This paper proposes an approach for solving management model environment objects parametric adaptation based on the queuing systems domination procedures with random input data stream problem. A constructing majorizing system algorithm based on the majorization problem solution is proposed. The system provides environment monitoring system structure with its performance, input data stream intensity and processing labor-intensive balancing. The detailed experiment findings are discussed.

**Keywords:** monitoring system, parametric adaptation, majorization system, statistical majorization, majorization model, simulation.