УДК 004.8:(351/354)

Л. Р. Черняховская, д-р техн. наук, проф., e-mail: lrchern@yandex.ru,
А. Ф. Галиуллина, аспирант, e-mail: GAF1205@yandex.ru,
И. И. Сабитов, аспирант, e-mail: iskra1990@gmail.com,
ФГБОУ ВПО "Уфимский государственный авиационный технический университет" (УГАТУ)

Оценка эффективности предоставления государственных услуг с использованием системы нечеткого логического вывода

Представлена модель оценки эффективности системы предоставления государственных услуг, рассматриваемой как система массового обслуживания, разработанная в программном комплексе MATLAB/Simulink. Данная модель использует систему нечеткого логического вывода и при низкой эффективности системы позволяет оценить влияние управляющего воздействия в обратной связи на эффективность системы массового обслуживания посредством изменения времени обслуживания и затрат ресурсов на обслуживание.

Ключевые слова: *система предоставления государственных услуг, система массового обслуживания, оценка эффективности, система нечеткого логического вывода*

Введение

Ряд задач повышения эффективности предоставления государственных услуг связан с совершенствованием систем массового обслуживания (СМО), т. е. таких систем, в которых, с одной стороны, возникают массовые запросы на выполнение каких-либо услуг, а с другой — происходит удовлетворение этих запросов [1—3].

Модель СМО включает в себя такие элементы, как источник требований, генерирующий входящий поток требований, очередь, обслуживающие устройства (каналы обслуживания), выходящий поток требований. Исследованием таких систем занимается теория массового обслуживания.

Методами теории массового обслуживания могут быть решены многие задачи исследования процессов, происходящих в системе государственного управления. Так, в организации системы предоставления государственных услуг эти методы позволяют определить оптимальное число многофункциональных центров, численность специалистов, непосредственно предоставляющих гражданам государственные услуги, и другие параметры. При этом необходимо добиваться того, чтобы суммарные расходы на обслуживание и убытки от простоя были минимальными, а эффективность массового обслуживания — максимальной.

Обеспечение качества государственных услуг требует от системы предоставления государственных услуг повышенной надежности, эффективности функционирования, а также гибкости в ответ на динамичные изменения внешней среды, снижения рисков и потерь от запоздалых и некомпетентных управленческих решений.

Необходимо оперативно отслеживать изменения в показателях эффективности СМО и принимать компетентные управленческие решения в зависимости от складывающихся проблемных ситуаций, связанных главным образом со снижением эффективности массового обслуживания.

Согласно ГОСТ Р ИСО 9000—2008 "Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь", ***эффективность*** — это связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами [4].

Эффективность функционирования СМО определяется различными показателями: абсолютной пропускной способностью, относительной пропускной способностью, временем обслуживания заявок, временем ожидания, средним числом занятых каналов и др. Некоторые из этих показателей могут использоваться в качестве критериев оценки эффективности СМО. Более подробно показатели эффективности одноканальной СМО с отказами, многофазной многоканальной СМО с ожиданием исследованы в работах [5—8], где также проведена их оценка.

При решении задач, связанных с массовым обслуживанием, большое значение имеет правильный выбор критериев, определяющих изучаемый процесс. Одна и та же система обслуживания может характеризоваться с различных точек зрения различными критериями эффективности. Выбор того или иного критерия должен проводиться в каждом

конкретном случае исходя из тех задач, которые ставятся перед системой.

На практике в системе предоставления государственных услуг используются многоканальные СМО с ожиданием, для оценки эффективности которых будем рассматривать три наиболее важных, с нашей точки зрения, критерия: время обслуживания, качество обслуживания и затраты ресурсов на обслуживание.

Для обеспечения требуемой эффективности системы предоставления государственных услуг необходимо установление зависимостей эффективности СМО от ее организации, которая обусловлена установкой упомянутых выше параметров СМО.

Разработка системы нечеткого логического вывода для определения эффективности системы массового обслуживания

На деятельность системы предоставления государственных услуг влияют неопределенные факторы. К ним можно отнести факторы внешней и внутренней среды, значения которых неизвестны или известны не полностью. Несмотря на дефицит информации необходимо учитывать возможное влияние неопределенных факторов на систему предоставления государственных услуг.

Учет фактора неопределенности при решении задач, связанных с массовым обслуживанием, во многом изменяет методы принятия решения: меняется принцип представления исходных данных и параметров модели, становятся неоднозначными понятия решения задачи и оптимальности решения. Поэтому предлагается разработать систему нечеткого логического вывода с применением теории нечетких множеств.

В практике управления сложными динамическими системами, к которым также можно отнести и систему предоставления государственных услуг, обычно не придерживаются границ области допустимых значений контролируемых параметров, и многие ограничения чаще всего являются "мягкими", допускающими их незначительное нарушение. Границы области критических режимов также могут быть нечеткими. Применение нечетких ("мягких") ограничений значительно расширяет возможность контроля и управления и делает их адекватными реальной обстановке в системе [9], а также предоставляет возможность применения экспертных знаний, выраженных с использованием лингвистических переменных.

Система нечеткого логического вывода позволяет получать заключения о требованиях, предъявляемых к управлению какой-либо системой на основе нечетких условий или предпосылок, представляющих собой информацию о допустимых характеристиках состояний этой системы.

Для проведения нечеткого моделирования существуют различные инструментальные средства, например, *FuzzyTECH*, *CubiCalc*, *MATLAB*. В рассматриваемых исследованиях нечеткое моделирование проведено в среде *MATLAB* с помощью пакета расширения *Fuzzy Logic Toolbox*, в котором реализовано множество функций нечеткой логики и нечеткого вывода. *Fuzzy Logic Toolbox* обладает простым и хорошо продуманным интерфейсом, позволяющим легко проектировать и диагностировать нечеткие модели. Графические средства *Fuzzy Logic Toolbox* позволяют интерактивно отслеживать особенности поведения системы.

Для определения эффективности СМО нами в редакторе *FIS* определены три входных лингвистических переменных: *ServiceTime* (время обслуживания), *ServiseQuality* (качество обслуживания), *ResourceCost* (затраты ресурсов на обслуживание) и одна выходная переменная — *Effeciency* (эффективность СМО).

Описание входных и выходной переменных представлено в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Описание входных переменных

Наименование	Диапазон изменения	Термы	Тип функций принадлежности
ServiceTime	0...1	*VS — very short* (очень короткое) *S — short* (короткое) *M — middle* (среднее) *L — long* (длительное) *VL — very long* (очень длительное)	Гауссова
ServiseQuality	0...1	*VL — very low* (очень низкое) *L — low* (низкое) *M — middle* (среднее) *H — high* (высокое) *VH — very high* (очень высокое)	Гауссова
ResourceCost	0...1	*VS — very small* (очень маленькие) *S — small* (маленькие) *M — middle* (средние) *B — big* (большие) *VB — very big* (очень большие)	Гауссова

Таблица 2

Описание выходной переменной

Наименование	Диапазон изменения	Термы	Значение
Effeciency	0...1	*LowEffeciency* (низкая эффективность) *AverageEffeciency* (средняя эффективность) *HighEffeciency* (высокая эффективность)	0...0,3 0,3...0,6 0,6...1

Таблица 3

Правила построения системы нечеткого логического вывода

№	ЕСЛИ			ТО
	ServiceTime	*ServiseQuality*	*ResourceCost*	*Effeciency*
1	*VS*	*VL*	*VS*	*LowEffeciency*
2	*VS*	*VL*	*S*	*LowEffeciency*
3	*VS*	*VL*	*M*	*LowEffeciency*
4	*VS*	*VL*	*B*	*LowEffeciency*
5	*VS*	*VL*	*VB*	*LowEffeciency*
6	*VS*	*L*	*VS*	*LowEffeciency*
7	*VS*	*L*	*S*	*LowEffeciency*
8	*VS*	*L*	*M*	*LowEffeciency*
9	*VS*	*L*	*B*	*LowEffeciency*
10	*VS*	*L*	*VB*	*LowEffeciency*
11	*VS*	*M*	*VS*	*HighEffeciency*
12	*VS*	*M*	*S*	*HighEffeciency*
13	*VS*	*M*	*M*	*HighEffeciency*
14	*VS*	*M*	*B*	*AverageEffeciency*
15	*VS*	*M*	*VB*	*LowEffeciency*
...		...		...
121	*VL*	*VH*	*VS*	*AverageEffeciency*
122	*VL*	*VH*	*S*	*AverageEffeciency*
123	*VL*	*VH*	*M*	*LowEffeciency*
124	*VL*	*VH*	*B*	*LowEffeciency*
125	*VL*	*VH*	*VB*	*LowEffeciency*

С помощью модуля *fuzzy* в *MATLAB* задаются продукционные правила для разрабатываемой системы нечеткого логического вывода. Продукционные правила — это условные высказывания типа "ЕСЛИ — ТО", которые представляют собой нечеткую импликацию:

ЕСЛИ x_1 есть A_1 **И** x_2 есть A_2 **И** ... x_n есть A_n
ТО y есть B.

Здесь A_i, B — это лингвистические значения, идентифицированные нечетким способом через соответствующие функции принадлежности $\mu A(x_i)$ и $\mu B(y)$ для переменных x и y.

При формировании базы правил необходимо учитывать весовой коэффициент каждого правила, который выражает количественную оценку степени истинности или относительный вес нечеткого правила. Весовой коэффициент принимает свое значение из интервала от 0 до 1 и устанавливается для каждого правила. В табл. 3 представлены правила, сформулированные на основе экспертных знаний.

Выполним анализ построенной системы нечеткого логического вывода для рассматриваемой задачи определения эффективности системы предоставления государственных услуг. Анализ системы выполним с помощью программы просмотра правил, которая предоставляет возможность получить значения выходных переменных в зависимости от значений входных.

Так, для частного случая, когда значения входной переменной "время обслуживания" равно 0,236; "качество обслуживания" — 0,801; "затраты ресурсов на обслуживание" — 0,523, процедура нечеткого вывода, выполненная системой *MATLAB* для разработанной нечеткой модели, выдает в результате значение выходной переменной "Эффективность", равное единице, что соответствует высокой эффективности при коротком времени обслуживания, высоком уровне качества обслуживания и средних затратах ресурсов на обслуживание.

Для общего анализа разработанной нечеткой модели рассмотрим визуализацию соответствующей поверхности нечеткого вывода, которая позволяет проанализировать зависимость выходной переменной от отдельных входных переменных.

По трехмерной поверхности нечеткого вывода для входных переменных "Время обслуживания" и "Затраты ресурсов на обслуживание" (рис. 1) можно сказать, что при минимальных значениях данных переменных значение выходной переменной равно 1, что соответствует высокой эффективности.

По следующей поверхности (рис. 2), отражающей зависимость выходной переменной от качества обслуживания и времени обслуживания, видно,

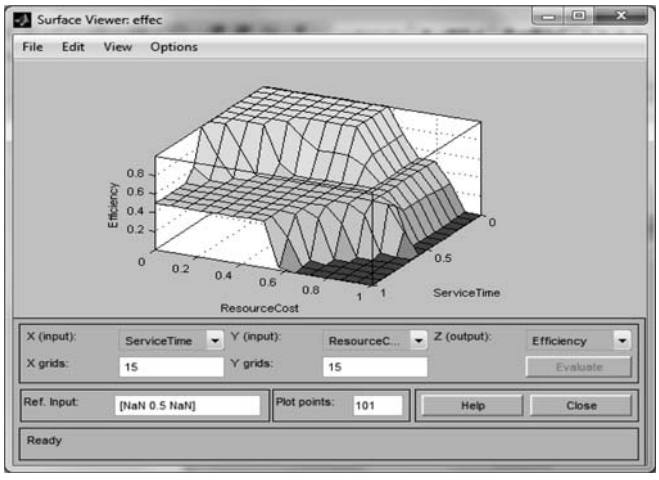

Рис. 1. Визуализация поверхности нечеткого вывода рассматриваемой модели для входных переменных "Время обслуживания" и "Затраты ресурсов на обслуживание"

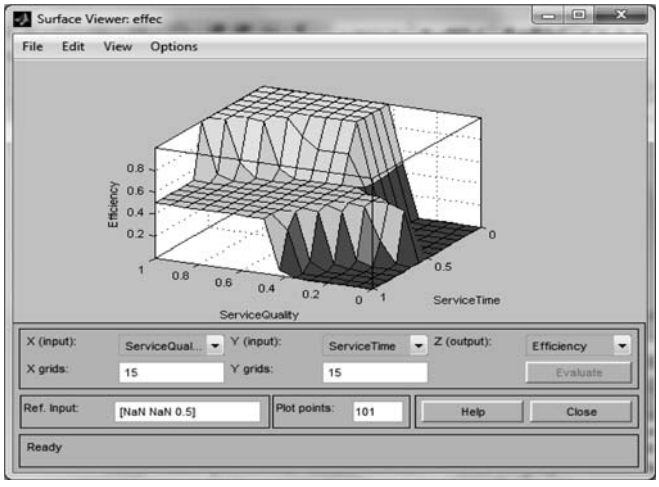

Рис. 2. Визуализация поверхности нечеткого вывода рассматриваемой модели для входных переменных "Качество обслуживания" и "Время обслуживания"

что с увеличением качества обслуживания и уменьшением времени обслуживания эффективность можно отнести к высокой.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная база знаний адекватна и отвечает представлениям экспертов об эффективности системы предоставления государственных услуг.

Оценка эффективности системы массового обслуживания в среде *Simulink/MATLAB*

Нами была разработана модель, позволяющая провести оценку эффективности СМО на основе разработанной выше системы нечеткого логического вывода (рис. 3).

Модель включает в себя следующие компоненты и моделирующие их блоки:

- три источника случайного сигнала (*Random Source*), генерирующие случайным образом значения входных переменных (показателей эффективности) — времени обслуживания (*ServiceTime*), качества обслуживания (*ServiceQuality*) и затрат ресурсов на обслуживание (*ResourceCost*), — в интервале от 0,1 до 1;
- три нечетких контроллера для включения в модель разработанной системы нечеткого логического вывода (*Fuzzy Logic Controller*);
- два блока визуализации процесса моделирования (*Signal Scope*);
- семь мультиплексоров, которые объединяют входные сигналы в вектор (*Mux*);
- два компаратора, необходимых для сравнения эффективности СМО с заданным значением 0,3 (*Compare To Constant*);
- два усилителя, выполняющих умножение входного сигнала на постоянный коэффициент 0,1 (*Gain*);
- два блока умножения, выполняющих вычисление произведения текущих значений сигналов (*Product*);
- два блока передаточной функции (*Transfer Fcn*);
- два блока вычисления суммы (*Sum*);
- два источника постоянного сигнала, задающих постоянный по уровню сигнал (*Constant*).

Разработанная модель содержит две обратные связи, которые предназначены для осуществления управляющего воздействия на время обслуживания и затраты ресурсов на обслуживание. Модель при эффективности ниже 0,3 (ниже 30 %), т.е. при низкой эффективности СМО, поэтапно уменьшает значения двух входных переменных на 10 %: времени обслуживания и затрат ресурсов на обслуживание, — в целях повышения эффективности СМО.

Задав время моделирования — 40 и запустив моделирование, по окончании получаем результаты, представленные на рис. 4 (эксперимент 1) и рис. 5 (эксперимент 2). На данных рисунках слева представлены входные переменные (время обслуживания, качество обслуживания и затраты ресурсов на обслуживание), справа — выходная переменная (эффективность).

Как видно из рис. 4, в интервале времени [0; 5] эффективность СМО была очень низкой, менее 0,3, поэтому время обслуживания уменьшили на 10 % и довели от 0,6 до 0,54. Это помогло повысить эффективность до почти 0,2, однако желаемого результата достичь не удалось (эффективность оставалась меньше 0,3). Затем были уменьшены затраты ресурсов на обслуживание на 10 % (от 0,75 до 0,68),

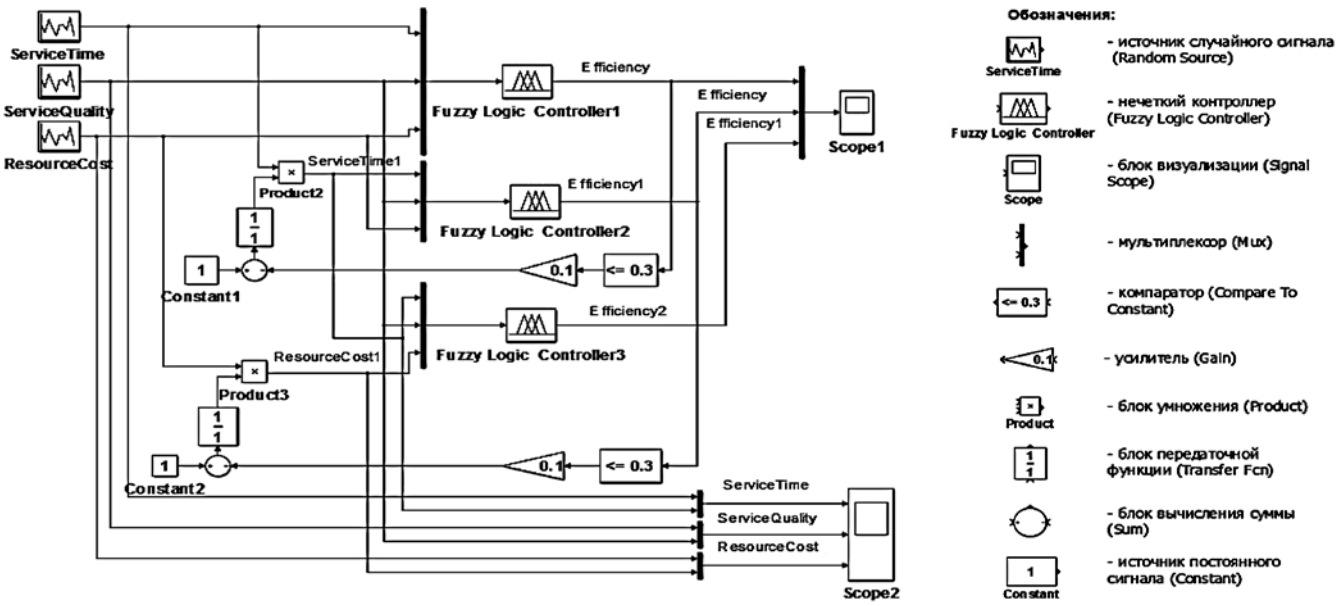

Рис. 3. Схема модели оценки эффективности СМО

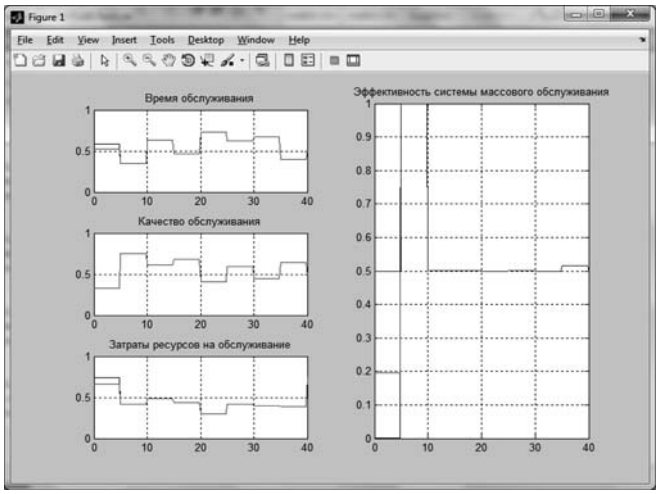

Рис. 4. Результаты моделирования (эксперимент 1)

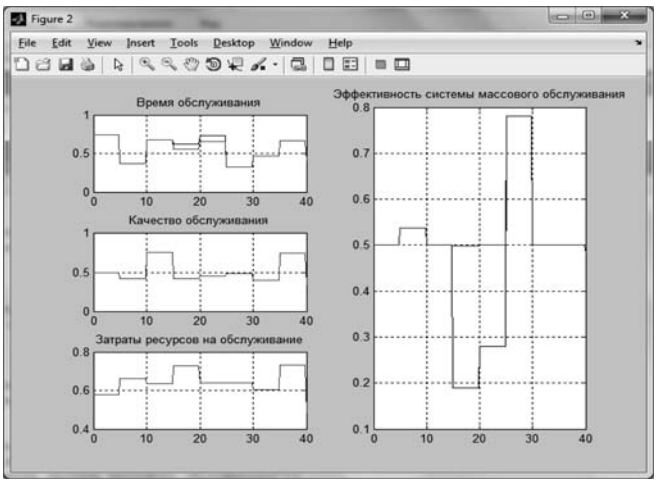

Рис. 5. Результаты моделирования (эксперимент 2)

что позволило повысить эффективность СМО до 0,5, что выше 0,3, т. е. эффективность средняя.

Как видно из рис. 5, в двух случаях, в интервале времени [15; 20] и [20; 25], эффективность СМО была низкой (менее 0,3), поэтому время обслуживания уменьшили на 10 %. В первом случае в интервале времени [15; 20] время обслуживания снизили с 0,62 до 0,56. Это помогло повысить эффективность с 0,25 до 0,5. Во втором случае в интервале времени [20; 25] время обслуживания снизили с 0,74 до 0,67. Это помогло повысить эффективность с 0,3 до 0,5. Так как в обоих случаях после уменьшения времени обслуживания был достигнут желаемый результат, эффективность стала средней (более 0,3), то уменьшение затрат ресурсов на обслуживание не понадобилось.

Таким образом, разработанная модель позволяет оценить влияние управляющего воздействия в обратной связи на эффективность системы массового обслуживания посредством изменения значений таких параметров системы, как время обслуживания и затраты ресурсов на обслуживание. Результаты моделирования показали, что управляющее воздействие оказывает положительное влияние на эффективность системы и позволяет повысить ее до требуемого уровня.

Заключение

В данной статье представлена разработанная нами система нечеткого логического вывода для определения эффективности системы массового обслуживания, которая может быть использована в системе предоставления государственных услуг. На основе продукционных правил данная система позволяет сделать вывод об эффективности СМО. Кроме того, разработана модель оценки эффективности СМО, основанная на системе нечеткого логического вывода и позволяющая при низкой эффективности системы провести оценку влияния управляющего воздействия в обратной связи на эффективность СМО посредством уменьшения времени обслуживания и затрат ресурсов на обслуживание. Результаты моделирования показали положительное влияние управляющего воздействия на эффективность СМО.

Работа выполнена в соответствии с грантом РФФИ 14-08-97023 "Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении инновационными проектами на основе обработки знаний и математического моделирования".

Список литературы

1. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Моделирование систем: учеб. для вузов. 6-е изд. стер. М.: Высш. школа, 2009. 344 с.

2. **Хинчин А. Я.** Работы по математической теории массового обслуживания / Под ред. Б. В. Гнеденко. 3-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2009. 240 с.

3. **Черняховская Л. Р.** Моделирование и анализ характеристик динамических процессов в условиях неопределенности с применением теории массового обслуживания: учеб. пособие. Уфа: УГАТУ, 2014. 159 с.

4. **ГОСТ Р ИСО 9000—2008.** Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2009. 35 с.

5. **Галиуллина А. Ф.** Имитационное моделирование деловых процессов как систем массового обслуживания // Актуальные проблемы науки и техники. Девятая Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых. Том 1. Информационные и инфокоммуникационные технологии. Сб. трудов. Уфа: УГАТУ, 2014. С. 226—230.

6. **Галиуллина А. Ф., Сильнова С. В., Черняховская Л. Р.** Оценка эффективности управления производственным процессом с применением имитационного моделирования на основе систем массового обслуживания // Вестник УГАТУ. Уфа: УГАТУ, 2015. Т. 19, № 1 (67). С. 115—122.

7. **Галиуллина А. Ф.** Аналитическое моделирование деловых процессов как систем массового обслуживания для оценки их показателей эффективности // Наука вчера, сегодня, завтра. Сб. статей по материалам XX междунар. науч.-практ. конф. № 1 (18). Новосибирск: Изд. "СибАК", 2015. С. 11—15.

8. **Галиуллина А. Ф.** Моделирование процесса предоставления государственных услуг // Научное обозрение. 2015. № 22. С. 253—263.

9. **Леоненков А. В.** Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.

L. R. Chernyakhovskaya, Dr. of Tech. Sci., Prof., lrchern@yandex.ru,
A. F. Galiullina, Graduate Student, e-mail: GAF1205@yandex.ru,
I. I. Sabitov, Graduate Student, e-mail: iskra1990@gmail.com,
Ufa State Aviation Technical University (USATU), Ufa

Efficiency Evaluation of Public Services Provision Using Fuzzy Inference System

To determine the efficiency of public services provision system fuzzy inference system application based on fuzzy set theory is considered in this article. The public services provision system is considered as a queuing system. To determine the efficiency of public services provision system to citizens three of the most important indicators or parameters of queuing system are used. These parameters are service time, service quality and service cost. The model of queuing system efficiency evaluation is developed in the software package MATLAB/Simulink. This model uses a fuzzy inference system and when system efficiency is low model allows to evaluate the control action effect in a feedback on the queuing system efficiency by reducing service time and resources cost for the service.

Keywords: *public services provision system, queuing system, queuing system efficiency, fuzzy inference system*

References

1. **Sovetov B. Ya., Yakovlev S. A.** *Modelirovanie system* [System modeling]: ucheb. dlya vuzov. Moscow: Vysh. shkola, 2009. 344 p. (in Russian).
2. **Hinchin A. Ya.** *Raboty po matematicheskoy teorii massovogo obslugivaniya* [Works on the mathematical theory of mass service]. Moscow: Editorial URSS, 2009. 240 p. (in Russian).
3. **Chernyakhovskaya L. R.** *Modelirovanie i analiz kharakteristik dinamicheskih processov v usloviah neopredelennosti s primeneniem teorii massovogo obslugivaniya* [Modeling and analysis of dynamic processes characteristics under uncertainty using the mass service theory]: ucheb. posobie. Ufa: UGATU, 2014. 159 p. (in Russian).
4. **GOST R ISO 9000—2008.** *The quality management system. Basic provisions and dictionary.* National standard of the Russian Federation. Moscow: Standardinform, 2009. 35 p. (in Russian).
5. **Galiullina A. F.** Imitacionnoe modelirovanie delovyh processov kak system massovogo obslugivaniya [Simulation modeling of business processes as queuing systems], *Aktualnye problem nauki i tekhniki: Proceedings of the 9th Russian winter school-seminar of young scientists and postgraduate students.* Ufa: UGATU, 2014, vol. 1, pp. 226—230. (in Russian).
6. **Galiullina A. F.** Ocenka effektivnosti upravleniya proizvodstvennym processom c primeneniem imitacionnogo modelirovaniya na osnove system massovogo obslugivaniya [Effectiveness evaluation of production process control using simulation modeling based on queuing systems], *Vestnik UGATU.* Ufa: UGATU, 2015, vol. 19, no. 1 (67), pp. 115—122 (in Russian).
7. **Galiullina A. F.** Analiticheskoe modelirovanie delovyh processov kak system massovogo obslugivaniya dlya ocenki ikh pokazateley effektivnosti [Analytical modeling of business processes as queuing systems for assessment of their effeciency indicators], *Nauka vchera, segodnya, zavtra* [Science yesterday, today, tomorrow]: Sb. st. po materialam XX megdunar. nauch.-prakt. konf., Novosibirsk: SibAK, 2015, no. 1 (18), pp. 11—15. (in Russian).
8. **Galiullina A. F.** Modelirovanie processa predostavleniya gosudarstvennykh uslug [Modeling of the public services providing process], *Nauchnoe obozrenie*, 2015, no. 22, pp. 253—263. (In Russian).
9. **Leonenkov A. V.** Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTECH [Fuzzy modeling in Matlab and fuzzyTECH]. Saint-Petersburg: BHV — Petersburg, 2003. 736 p. (in Russian).

УДК 519.61

Ю. А. Зак, д-р техн. наук, Dokt.-Ing. Deutschland, науч. консультант, e-mail: yuriy_zack@hotmail.com,
г. Аахен, Германия

Алгоритмы решения транспортной задачи в условиях нечетких данных о стоимости поставки грузов

Рассматривается математическая модель транспортной задачи линейного программирования в условиях, когда удельные транспортные расходы представлены нечеткими множествами, а объемы поставок грузов — суть действительные числа. На основе предложенных методов сравнения и определения эффективности Fuzzy-множеств общего вида разработаны нечеткие аналоги метода потенциалов. Для Fuzzy-множеств с функцией принадлежности треугольного и трапециевидного вида приведены простые формулы и подробные алгоритмы расчета, которые проиллюстрированы числовым примером.

Ключевые слова: *транспортная задача, базовые допустимые решения, метод потенциалов, Fuzzy-множества, сравнение и определение эффективности нечетких множеств*

Введение

Транспортная задача в традиционной постановке формулируется следующим образом [1—4]. Однородный груз, находящийся на складах n поставщиков в объемах A_1, A_2, ..., A_i, ..., A_n, необходимо доставить m потребителям в объемах B_1, B_2, ..., B_j, ..., B_m. Известны транспортные расходы c_{ij}, связанные