

**ОПИСАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ  
НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ ЦЕНТРА СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ**

**© 2017 И.М. Пашуева, С.М. Пасмурнов, А.В. Бондарев**

В статье предложена подсистема поддержки принятия оперативных управленческих решений в условиях неопределенности, основанная на оценке рисков возникновения критического состояния системы. На примере центра скорой медицинской помощи это критическое состояние характеризуется переходом службы из нормального в чрезвычайный режим работы. Математическая модель позволяет с помощью многокритериальной оценки оперативно проанализировать загруженность районных центров, спрогнозировать загруженность в ближайшее время и предложить оптимальный вариант решения. В процессе решения поставленной задачи были предложены модель и принципы оценки и анализа рисков при оптимизации схем перераспределения ресурса между районными центрами. Для определения количественных характеристик оценки риска возможно применить метод, основанный на построении обобщенных оценок вариантов решений. Для сравнения вариантов решений используется несколько функций агрегирования. В качестве оптимального варианта выбирается тот, на котором достигнут максимум функции агрегирования.

Описание подсистемы поддержки принятия оперативных управленческих решений в городском центре скорой медицинской помощи приводится с помощью сетей Петри. В качестве позиций выбираются состояния системы от момента приема вызова до момента возвращения бригады скорой медицинской помощи на станцию. Механизмы функционирования подсистемы скорой медицинской помощи в так называемом чрезвычайном режиме работы, который характеризуется существенным увеличением количества вызовов в одном из районов центра скорой медицинской помощи, описываются в качестве отдельных позиций.

В статье приводятся результаты имитационного моделирования рассматриваемой подсистемы поддержки принятия оперативных управленческих решений на примере функционирования городского центра скорой медицинской помощи г. Воронежа в разных режимах работы

Ключевые слова: подсистема поддержки принятия управленческих решений, сети Петри, моделирование, оценка рисков

**Введение**

Актуальной на сегодняшний день задачей, стоящей перед организациями и службами различного уровня, является задача оперативности в обслуживании поступающих заявок, повышение качества оказываемых услуг, эффективность использования, распределения имеющегося транспортного и человеческого ресурса в условиях неопределенности. В рамках возрастающих возможностей современных информационных технологий возникает необходимость разработки новых моделей и алгоритмов работы подсистем управления и помощи в принятии управленческих решений, разработка программных комплексов поддержки принятия оперативных управленческих решений в условиях неопределенности и риска [1, 2]. В

процессе функционирования сложной системы периодически возникают такие состояния системы, которые требуют изменения состава или элементов системы для эффективной работы и предотвращения возникновения критического состояния [3]. Разработка алгоритмов, помогающих предотвратить возникновение критических состояний системы и выявить приближение показателей системы к критическому значению, а также разработать варианты стабилизации состояния системы – является одной из актуальных задач современных информационных технологий.

**Модель подсистемы**

Работа центра скорой медицинской помощи характеризуется двумя основными режимами: нормальным и экстренным [4, 5]. Для экстренного режима работы характерно резкое увеличение количества поступающих в районный центр вызовов. При таком режиме работы возникает необходимость перераспределения бригад между районными центрами.

---

Пашуева Ирина Михайловна – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: vapushka@yandex.ru  
Пасмурнов Сергей Михайлович - ВГТУ, канд. техн. наук, профессор, e-mail: vapushka@yandex.ru  
Бондарев Алексей Владимирович - ВГТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент, e-mail: bondarev@mail.ru

Для помощи в принятии оперативных управленческих решений предлагается математическая модель, позволяющая с помощью многокритериальной модели оперативно проанализировать загруженность районных центров и предложить оптимальные варианты решения. В процессе решения поставленной задачи были предложены модель и принципы оценки и анализа рисков при оптимизации схем перераспределения ресурса между районными центрами. Определение факторов риска и первоначальная качественная их оценка обуславливают те параметры модели, изменения которых должны быть оценены в имитационной модели. Принципы работы схемы оценки и анализа рисков при оптимизации распределённого ресурса центра скорой медицинской помощи можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 1.

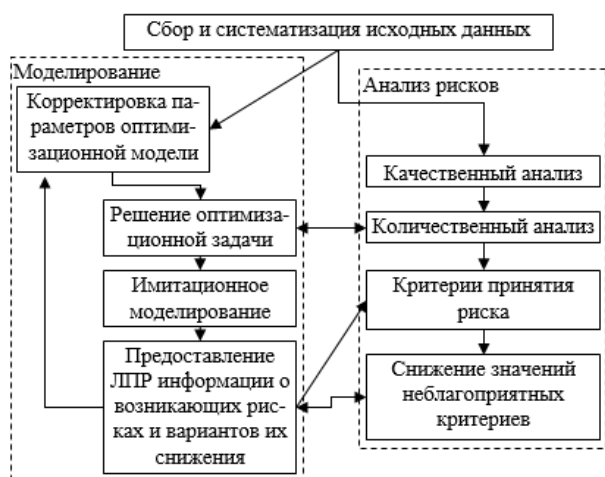


Рис. 1. Взаимодействие модели поддержки принятия управленческих решений и методов анализа рисков

В виде качественных показателей анализа рисков возникновения перехода в чрезвычайный режим работы можно выделить как внутренние риски системы, такие как перебои в поставке медикаментов на станцию скорой медицинской помощи, поломки оборудования оказания медицинской помощи, нехватка персонала и неполное оснащение бригад, возможная поломка машины скорой помощи, так и внешние риски системы, такие как отсутствие мест в ближайших медицинских учреждениях, вероятность попадания машины скорой медицинской помощи в ДТП с пациентом или без него, возникновение крупных заторов на дорогах и т.д.

Количественный анализ рисков представляет собой оценку времени обслуживания каждого вызова, соотношения

количества поступающих вызовов и количества машин скорой медицинской помощи для каждой районной подстанции, среднее время обслуживания вызова за период. После определения количественных показателей риска анализируются возможности устранения неблагоприятных показателей работы центра скорой медицинской помощи, приводящие к переходу центра скорой медицинской помощи в экстренный режим работы. Анализируется ситуация во всех районных центрах скорой медицинской помощи и выбирается набор районных подстанций и предлагается для перераспределения количество бригад скорой медицинской помощи. После перераспределения ресурса бригад ситуация снова анализируется.

Для определения количественных характеристик оценки риска возможно применить метод, основанный на построении обобщенных оценок вариантов решений. Каждое решение оценивается по каждому из критериев  $S_j$ . Для сравнения вариантов решений используется несколько функций агрегирования. В качестве оптимального варианта выбирается тот, на котором достигнут максимум функции агрегирования следующего вида:

$$\alpha_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (d_i \cdot v(A_i, S_j)), \quad (1)$$

$$\beta_i = \varphi \cdot \min(d_i \cdot v(A_i, S_j)) + (1 - \varphi) \cdot \max(d_i \cdot v(A_i, S_j)), \quad (2)$$

где  $d_i$  - вес критерия,  $v(A_i, S_j)$  - оценка

критерия  $S_j$  для района  $A_i$ ,  $m$  - количество критериев,  $\varphi$  - изменяемый параметр,  $i$  - индекс района.

### Моделирование подсистемы

Наглядным аппаратом описания сложных систем является аппарат сетей Петри. Существует большое разнообразие разновидностей и расширений сетей Петри. В частности, теорию сетей Петри можно применять при моделировании системы управления центром скорой медицинской помощи. В качестве позиций будем выбирать состояния системы от момента приема вызова до завершения работы бригады и отправления отчета об обслуживании пациента.

Выберем маркеры двух типов: вызовы и бригады. В моделируемой системе имеет

большое значение время. Поэтому следует выбрать временные сети Петри.

На рис. 2 построена модель работы станции скорой помощи, состоящей из двух районов. Поступающие на диспетчерский пункт вызовы принимаются и классифицируются по определенным алгоритмам. Прием вызовов на диспетчерских пунктах моделируется позициями  $a_1, a_2, a_3$  и  $a_4$ . Каждому вызову по результатам проведенного телефонного опроса (переход  $t_1, t_2, t_3$  и  $t_4$ ) присваивается ряд параметров: степень неотложности, количество бригад, которым необходимо отреагировать на вызов, и тип оборудования бригады, соответствующий жалобам пациента ( $a_5$ ). Входная функция сети Петри для этих переходов будет иметь вид:  $I(t_1) = a_1; I(t_2) = a_2; I(t_3) = a_3; I(t_4) = a_4$ , а выходная -  $O(t_1, t_2, t_3, t_4) = a_5$ . Затем, в переходе  $t_5$  к позиции  $a_6$  каждый вызов дублируется столько раз, сколько необходимо бригад на его реагирование и направляется в тот районный пункт скорой медицинской помощи, к которому относится территориально:  $I(t_5) = a_5, O(t_5) = a_6$ .

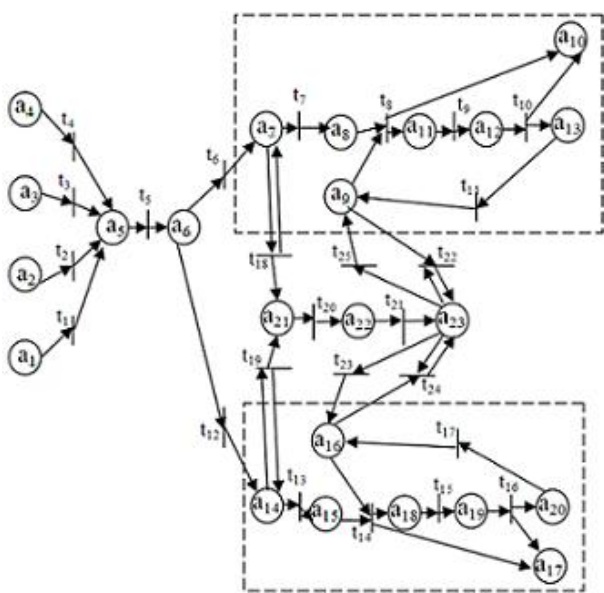


Рис. 2. Сеть Петри, иллюстрирующая работу центра скорой медицинской помощи

В следующем переходе  $t_6$  к позиции  $a_7$  вызовы, относящиеся к данному району города:  $I(t_6) = a_6, O(t_6) = a_7$ . Переход  $t_7$  выстраивает вызовы по мере неотложности: экстренные, неотложные, линейные:  $I(t_7) = a_7, O(t_7) = a_8$ . Этот переход является переходом с условием: пропускается заявка с наивысшим

приоритетом. Если заявки имеют равную степень приоритета, то пропускается та заявка, которая поступила в очередь позиции  $a_7$  раньше. Позиция  $a_9$  содержит маркеры, которые соответствуют количеству бригад в центре скорой помощи данного района города, которые готовы обслужить новый вызов. Каждая бригада имеет свои параметры: местоположение, тип оборудования автомобиля, состояние (на выезде или свободен).

В переходе  $t_8$  по определенному алгоритму выбирается бригада:  $I(t_8) = \{a_8, a_9\}$ ,  $O(t_8) = \{a_{10}, a_{11}\}$ . При этом учитывается удаленность бригады от места нахождения пациента, оснащение машины. В этом переходе меняются параметры фишек. Вызов закрепляется за бригадой, и эта информация записывается в специальный файл статистики (позиция  $a_{10}$ ). Позиция  $a_{11}$  показывает, что бригада выехала на вызов. Переход  $t_9$  имеет временную задержку фишки до тех пор, пока бригада не прибудет к больному. При этом переход является сложным процессом. Система помогает бригаде городского центра скорой медицинской помощи максимально быстро добраться до пункта назначения: с помощью портативных компьютеров и системы спутникового слежения прокладывается кратчайший маршрут, указывается информация о возможных пробках и заторах на дороге. Входная и выходная функции для перехода будут иметь вид:  $I(t_9) = a_{11}, O(t_9) = a_{12}$ .

Позиция  $a_{12}$  – бригада приехала и начинает осмотр больного. Переход  $t_{10}$  также является сложным процессом и имеет временную задержку. В этом переходе пациента осматривают, возможно, обращаются к базе данных за дополнительной медицинской информацией о пострадавшем, о возможных аллергических реакциях и хронических заболеваниях и при необходимости доставляют в ближайшую больницу. Система отслеживает завершение перехода по результату – отправления отчета о работе в позицию  $a_{10}$ . Позиция  $a_{13}$  – бригада освободилась и готова принять новый вызов. Если вызова нет, она направляется (переход  $t_{11}$ ) в свой диспетчерский пункт  $a_9$ , соответственно  $O(t_{11}) = a_9, I(t_{11}) = a_{13}$ .

Переход  $t_{12}$  характеризует принятие вызова на диспетчерский пункт скорой медицинской помощи другого района города. Все районы работают аналогичным образом, поэтому и сеть

Петри для них будет аналогичной. Количество районов, как и количество диспетчеров, принимающих вызов, может быть различным.

Таким образом, воспользовавшись аппаратом сети Петри, можно определить конечное множество позиций  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{23}\}$ , множество переходов  $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_{25}\}$ , а также входную и выходную функции. Маркеры приняты двух типов: бригады, количество которых заранее известно и не меняется, и вызовы, которые генерируются в позициях  $a_1, a_2, a_3$  и  $a_4$  по вероятностной функции, зависящей от времени  $M_0(a_1, a_2, a_3, a_4) = f(\tau)$ . Начальная маркировка сети содержит только маркеры бригад в позициях  $a_9$  и  $a_{16}$  для соответствующего района:  $M_0(a_9) = n_1$ ,  $M_0(a_{16}) = n_2$ .

Большинство переходов построенной сети Петри требуют время на выполнение, которое колеблется в определенных пределах, описываемых функцией временных задержек  $v(\tau)$ . Время, затрачиваемое на выполнение каждого перехода, формирует временную базу  $\Theta = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i\}$ . В сети вводится пассивное состояние метки в позициях: если в позицию поступает метка, то она не может участвовать в возбуждении перехода в течение определенного времени. Поскольку каждой дуге соответствует вероятность блуждания метки в сети, то составленная сеть Петри является стохастической.

Позиции  $a_{21}$ ,  $a_{22}$  и  $a_{23}$  моделируют ситуацию, при которой необходимо перебросить бригады скорой помощи из одного района города в другой, в котором чрезвычайно большое количество вызовов. Переходы  $t_{18}$ ,  $t_{19}$ ,  $t_{20}$ ,  $t_{21}$ ,  $t_{22}$ ,  $t_{23}$ ,  $t_{24}$  и  $t_{25}$  являются переходами с условиями: если количество вызовов превосходит определенное значение, на пункт главного врача скорой медицинской помощи отправляется сообщение. С разрешения главного врача некоторые бригады из других районов могут быть переброшены для обслуживания вызовов. После того, как количество вызовов опустится до среднестатистического значения, бригады возвращаются в свои районы и продолжают работу.

Проанализируем полученную сеть Петри, моделирующую подсистему поддержки принятия оперативных управленческих решений на основе математической модели оценки риска. Построенная сеть не является безопасной, поскольку в каждый момент времени в различных позициях,

характеризующих состояние системы, может находиться различное количество фишек или маркеров (больше одного). Моделируемая сеть является сохраняющей относительно вектора взвешиваний  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , где  $n=23$  – количество состояний сети, элементы  $w_9, w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{16}, w_{18}, w_{19}, w_{20}, w_{23}$  равны 1, остальные элементы 0. При этом общее количество фишек в соответствующих позициях будет соответствовать суммарному количеству бригад во всех районах города. В данной сети Петри существуют конфликтующие переходы, такие как  $t_6, t_{12}$ . Поэтому необходимо использование переходов-ключей, каждый из которых имеет свою вероятность срабатывания. Соответственно суммарная вероятность конфликтующих ключей равна 1. Сеть не является тупиковой, т.е. при любой разметке не возникнет ситуация, при которой все переходы будут пассивными.

Удобно выделить в отдельную сеть Петри ситуацию переброски бригады из одного района города в другой, нуждающийся в большем количестве медицинских машин. Для каждого района существуют два главных параметра, определяющие необходимость и возможность осуществления переброски: это количество ожидающих обслуживания вызовов и количество свободных бригад.

Предположим ситуацию, в которой в некотором районе количество бригад значительно меньше необходимого для нормальной работы районной станции медицинской помощи. Тогда необходимо проанализировать загруженность вызовами другие районные станции города и из всех имеющихся станций выбрать ближайшую с наибольшим количеством свободных машин. Переброска бригад должна осуществляться с одобрения главного врача городского центра скорой медицинской помощи, поэтому сообщение о возникшей ситуации появляется на экране автоматизированного рабочего места главного врача. Варианты по переброске бригады предоставляются ему для выбора и утверждения.

Анализ такой многопозиционной сети Петри является не простой задачей. Для моделирования данной сети Петри был выбран пакет GPSS.

Используя стандартные блоки и операторы программы были построены две модели работы служб скорой медицинской помощи: с применением автоматизированной подсистемы поддержки принятия оперативных

управленческих решений на основе математической модели оценки рисков и вторая модель, иллюстрирующая работу центра скорой медицинской помощи без применения подсистемы помощи в принятии оперативных управленческих решений. Две модели рассматривались в равных условиях по поступающим вызовам: их количеству и классу, а также по ресурсам бригад. За время моделирования каждой моделью было обслужено 300 вызовов. В результате неоднократных экспериментов были получены графики скорости обслуживания поступающих вызовов (рис. 3).

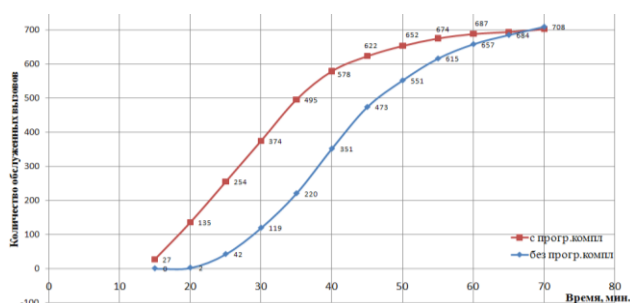


Рис. 3. Сравнение скорости обслуживания вызовов до и после применения подсистемы поддержки принятия решения

### Выводы

Система поддержки принятия оперативных управленческих решений на основе математической модели оценки рисков в работе городского центра скорой медицинской помощи заметно ускоряет и оптимизирует работу службы. В подсистеме учитываются вызовы, поступившие относительно давно и до сих пор не обслуженные, им отдается приоритет. Это

позволяет рационально организовать работу станций скорого медицинского обслуживания.

По результатам имитационного моделирования можно сделать вывод о том, что использование подсистемы поддержки принятия оперативных управленческих решений на основе математической модели оценки рисков повышает эффективность, упрощает и оптимизирует работу центра скорой медицинской помощи, сокращает время реагирования на вызов.

### Литература

1. Кравец О.Я. Экономика и менеджмент в научных исследованиях систем управления и информационных технологиях. / О.Я. Кравец // Экономика и менеджмент. - 2013. - Т. 8. - № 2. - С. 23-29.
2. Подвальный С.Л. Сопряженные системы и градиент при оптимизации динамических систем / С.Л. Подвальный // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2012. - Т. 8. - № 12-1. - С. 57-62.
3. Kravets O.Ja. Probabilistic approach to management rationalization in quality management system/ O.Ja. Kravets // Modern innovative approaches to development of economic relations in conditions of globalization: Proceedings of the International scientific and practical conference (Yelm, WA, USA, May 2014)/ Editor in Chief Dr. Sci., Prof. O.Ja. Kravets. - 2014. - С. 66-78.
4. Пашуева И.М. Моделирование и анализ подсистемы управления центрами быстрого реагирования с помощью сетей Петри / И.М. Пашуева, С.М. Пасмурнов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 9. - С. 106-109.
5. Пашуева И.М. Применение сетей Петри в моделировании подсистемы управления центрами быстрого реагирования / И.М. Пашуева, С.М. Пасмурнов // Системы управления и информационные технологии: научно-технический журнал. - 2011. - № 4.1 (46). - С. 162-166.

Воронежский государственный технический университет

## DESCRIPTION AND ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE SUBSYSTEM OF SUPPORTING MAKING MANAGERIAL DECISIONS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY WITH THE APPLICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL BASED ON RISK ASSESSMENT ON THE EXAMPLE OF WORK OF AN AMBULANCE CENTER

I.M. Pashueva<sup>1</sup>, S.M. Pasmurnov<sup>2</sup>, A.V. Bondarev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: vapushka@yandex.ru

<sup>2</sup>PhD, Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: vapushka@yandex.ru

<sup>3</sup>PhD, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: bondarev@mail.ru

The article proposes a subsystem supporting the adoption of operational management decisions in conditions of uncertainty, based on an assessment of the risks in a critical state of emergency. On the example of an ambulance center, this critical condition is characterized by the transition of the service from normal to emergency operation. The mathematical model allows us to analyze quickly the workload of the district centers, predict the workload in the near future and propose the optimal solution. In the process of solving this problem, a model and principles of risk assessment and analysis were proposed for optimizing the schemes of resource redistribution between district centers. To determine the quantitative characteristics of a risk assessment, it is possible to apply a method based on the construction of generalized estimates of decision options. To compare the solution options, several aggregation functions are used. As an optimal option, the one on which the aggregation function is maximum is selected.

The description of the subsystem supporting the adoption of operational management decisions in the city ambulance center using Petri nets is given. The positions of the system are selected from the moment of receiving a call until the ambulance crew returns to the station. The mechanisms of functioning of the subsystem of ambulance in so-called emergency mode of operation, which is characterized by a significant increase in the number of calls in one of the areas of the ambulance center, are described as separate items.

The article presents the results of simulation modeling of the subsystem of support for making operational management decisions based on the example of the functioning of the city ambulance center in Voronezh in different modes of operation

**Key words:** subsystem of support of making management decisions, Petri nets, modeling, risk assessment

### **References**

1. Pashueva I.M., Pasmurnov S.M. "Modeling and analysis of control subsystem of fast response centres by using Petri nets", The Bulletin of Voronezh State Technical University, 2011, vol. 7, no. 9, pp. 106-109.
2. Pashueva I.M., Pasmurov S. M. "Application of Petri nets in the modeling of a control subsystem of fast response centres", Control systems and information technology, 2011, no. 4.1(46), pp. 162-166.
3. Pashueva I.M. "The simulation of a distributed network of emergency services with the use of aggregation functions", Proc. of the XIII Intern. Seminar "Physic-mathematical modeling of systems" (Fiziko-matematicheskoe modelirovanie sistem: materialy XIII mezhdunar. seminara), Voronezh, 2015, part 2, pp. 65-68.
4. Pashueva I.M. "Simulation of the control system centres of ambulance services using multi-criteria evaluations", Proc. of the XIII Intern. Seminar "Physic-mathematical modeling of systems" (Fiziko-matematicheskoe modelirovanie sistem: materialy XIII mezhdunar. seminara), Voronezh, 2015, part 2, pp. 74-78.
5. Pashueva I.M. "Modeling the process of redistribution of the transport resources of a distributed ambulance centres network", Proc. of the XIII Intern. Seminar "Physic-mathematical modeling of systems" (Fiziko-matematicheskoe modelirovanie sistem: materialy XIII mezhdunar. seminara), Voronezh, 2015, part 2, pp. 79-83.
6. Pashueva I.M. "Modeling of functioning a distributed ambulance centres network using medical air transport", Proc. of the XIV Intern. Seminar "Physic-mathematical modeling of systems" (Fiziko-matematicheskoe modelirovanie sistem: materialy XIV mezhdunar. seminara), Voronezh, 2016, part 2, pp. 124-130.