

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



В.В. Меньших,
*доктор физико-математических наук,
профессор*



Е.Н. Серeda

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИНФОРМАЦИИ

THE ELABORATION OF THE MODEL FOR THE EMERGENCY DETECTION UNDER CONDITIONS OF PARTIAL INFORMATION UNCERTAINTY

Проведена формализация задачи распознавания чрезвычайной ситуации, построена математическая модель распознавания класса чрезвычайной ситуации с использованием методов нечеткого математического программирования, предложен численный метод решения данной задачи.

A formalisation of the emergency elaboration problem is conducted, a mathematical model for the detection of the class of emergency using fuzzy programming is constructed, a numerical method for solving this problem is introduced.

Введение.

Деятельность сотрудников органов внутренних дел (ОВД) при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) обусловлена комплексным характером явлений, вызвавших ЧС, масштабом возможных негативных последствий ЧС и осложняется неоднозначностью оценки вариантов развития событий в сложившихся условиях [1, 2]. В нормативной базе содержатся инструкции, которые определяют порядок действий в ЧС, однако, как правило, этого недостаточно, т. к. невозможно строго регламентировать

действия сотрудников, поскольку каждая ЧС уникальна. В связи с этим возникает необходимость обучения руководителей принятию управленческих решений в процессе ликвидации ЧС. Организация командно-штабных учений с привлечением личного состава и имитацией ЧС требует значительных материальных затрат и не позволяет охватить большое количество возможных вариантов развития ЧС.

Таким образом, актуальной является задача разработки автоматизированных обучающих систем, позволяющих формировать навыки принятия управленческих решений руководителями подразделений ОВД, привлекаемых к выполнению оперативно-служебных задач в ЧС. Решению этой задачи посвящён целый ряд работ [2—4], однако ни в одной из них не рассматривались математические методы распознавания ЧС. Вместе с тем ошибки в определении типа, к которому относится ЧС, могут в реальных условиях приводить к существенным материальным потерям и даже гибели населения и личного состава ОВД. Специфика задачи распознавания класса ЧС обусловлена тем, что она должна решаться в условиях неполноты и недостоверности информации. Для использования существующих подходов к решению данной задачи [5] необходимо разработать предметноориентированную модель и численный метод распознавания ЧС, что и являлось целью настоящей работы.

Формализация задачи распознавания ЧС.

Обозначим $P_1, P_2, \dots, P_n$ — признаки, характеризующие ЧС данного типа. Признаки могут принимать значения из различных множеств допустимых значений, например:

- $\{0, 1, \Delta\}$ — признак не выполнен, выполнен или информация о признаке отсутствует (например, наличие пострадавших);

- $\{q_1, \dots, q_d\}$ — признак может иметь конечное число значений из множества допустимых значений Q , а также различные градации (например, класс опасности при пожаре);

- $[p_{imin}, p_{imax}]$ — признак может быть задан интервалом значений (например, площадь возгорания);

- $a_1^s, a_2^s, \dots, a_m^s$ — признак может быть задан набором лингвистических значений (например, масштаб ЧС может быть крупный, мелкий, средний) и др. [5].

В зависимости от значений признаков ЧС относится к тому или другому классу [1]. Обозначим $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ — множества возможных значений признаков $P_1, P_2, \dots, P_n$. В таком случае множество всех теоретически возможных ЧС данного типа описывается как $D \subseteq Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_n$. Во множестве D выделены подмножества $K_1, K_2, \dots, K_l$, каждое из которых соответствует определённому типу ЧС:

$K_j \subseteq Z_1^j \times Z_2^j \times \dots \times Z_n^j \subseteq D$, где $Z_i^j \subseteq Z_i$ — множество возможных значений признака P_i для j -го типа, $j=1, 2, \dots, l$; $\bigcup_{j=1}^l K_j = D$.

Обозначим $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где $x_i \in Z_i$ — произвольную чрезвычайную ситуацию. Тогда множества K_j можно задать векторной функцией принадлежности $\mu_{K_j}(x) = (\mu_{P_1}(x_1), \mu_{P_2}(x_2), \dots, \mu_{P_n}(x_n))$:

$$\mu_{K_j}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in K_j \\ 0, & \text{если } x \notin K_j \end{cases}.$$

Как отмечено выше, в реальных условиях параметры ЧС $x_i \in Z_i$ могут быть определены неточно или отсутствовать. Поэтому не всегда можно однозначно определить значения функции $\mu_{K_j}(x)$, т. е. определить класс, к которому относится данная ЧС. Обратимся к разработке математического метода распознавания класса ЧС в условиях неопределённости и неполноты исходной информации.

Модель распознавания класса чрезвычайной ситуации.

В связи с тем что каждая конкретная ситуация $S \subseteq D$ при ее возникновении идентифицируется неоднозначно, её можно с различной степенью уверенности отнести сразу к нескольким классам. Поэтому можно считать, что ситуация описывается нечётким множеством с функцией принадлежности

$$\mu_S(x) = (\mu_{P_1}^s(x_1), \mu_{P_2}^s(x_2), \dots, \mu_{P_n}^s(x_n)).$$

Для определения наиболее вероятного класса, к которому относится ЧС, могут быть использованы методы нечеткого математического программирования [6].

Принадлежность ситуации S классу K_j описывается нормированным нечётким множеством [7] $\frac{S \cap K_j}{|S|}$ с функцией принадлежности (при максиминной операции пересечения)

$$\mu'_{S \cap K_j}(x) = \frac{(\min(\mu_{P_1}(x), \mu_{P_1}^s(x)), \dots, \min(\mu_{P_n}(x), \mu_{P_n}^s(x)))}{|S|},$$

где $|S| = \int \dots \int \mu_{P_1} \dots \mu_{P_n} dx_1 \dots dx_n$ — нормирующий множитель; $\int$ — интеграл Стильеса. Тогда задача выбора типа ЧС может быть сформулирована следующим образом:

$$\text{найти } K_j = \text{Arg max } \mu'_{S \cap K_j}(x). \quad (1)$$

Сложность этой задачи заключается в том, что $\mu'_{S \cap K_j}$ представляет собой многомерный вектор нечётких множеств. Признаки в различной степени влияют на результаты классификации. Учет влияния признаков достигается за счёт ранжирования признаков ЧС по их важности для распознавания ситуации.

Будем считать, что признаки ЧС ранжированы, например методом Саати [8], т.е. каждому признаку P_i поставлен в соответствие его вес γ_i . Тогда принадлежность ситуации S классу K_j может быть оценена одномерной функцией принадлежности

$$\mu_{S \cap K_j}^{1'}(x) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \min(\mu_{P_i}(x), \mu_{P_i}^s(x)).$$

Для корректности математического аппарата выбора оптимальных вариантов необходимо, чтобы $\sup \mu_{P_i}(x) = \sup \mu_{P_i}^s(x) = 1$. Обозначим:

- F — нечеткое отношение предпочтения на множестве значений признаков U : $F(u, v)$ — степень предпочтения u перед v ;
- G — индуцированное F нечеткое отношение на множестве типов K : $G(K_i, K_j)$ — степень предпочтения класса K_i перед классом K_j .

Отношение G находится по формуле

$$G(K_i, K_j) = \sup_{u, v \in U} \min\{\mu_{S \cap K_i}^{1'}(u), \mu_{S \cap K_j}^{1'}(v), F(u, v)\}.$$

В таком случае функция принадлежности нечёткому множеству недоминируемых альтернатив, т.е. классов ЧС, определяется как $H(K_i) = \min \tilde{H}(K_i), G(K_i, K_j)$, где $\tilde{H}(K_i) = 1 - \sup_{i=1, \dots, J} (G(K_j, K_i) - G(K_i, K_j))$.

Класс ЧС, наилучшим образом соответствующий данной ситуации, находится как вариант, имеющий максимальное значение функции принадлежности:

$$K^* = \underset{i=1, \dots, J}{\operatorname{Arg\,max}} (H(K_i)).$$

В случае, если в качестве U используется строго упорядоченное множество, например отрезок $[0, 1]$, задача значительно упрощается. Действительно, в этом случае:

$$G(v_p, v_q) = \sup_{u, v \in U; u \geq v} \min\{\mu_{S \cap K_i}^1(u), \mu_{S \cap K_i}^1(v)\}.$$

Обратимся к рассмотрению численного решения задачи распознавания класса ЧС.

Численный метод определения принадлежности ЧС к классу.

Рассмотрим признак P_i и тип K_j , заданные функциями принадлежности соответствующих нечётких множеств. Часто при использовании методов теории нечётких множеств, оценки объектов различной природы задают в виде нечётких L-R чисел, функции принадлежности, как правило, имеют трапецеидальный или треугольный вид. Действительно, данные значения функции принадлежности нечёткого множества A , как правило, получают от экспертов, которые могут дать качественную оценку параметра, то есть уверенно сказать, что параметр может принимать значения, например, в интервале $[a_2, a_3]$ и не может быть меньше a_1 и больше a_4 . Данное обстоятельство позволяет обосновать численный метод решения задачи (1), который дает возможность получить вместо нечётких множеств чёткие подмножества их оценок.

Обозначим возможные значения признака для типа K_j $[a_2, a_3], [a_1, a_4]$ и для конкретной ЧС $[b_2, b_3], [b_1, b_4]$ (рис.1).

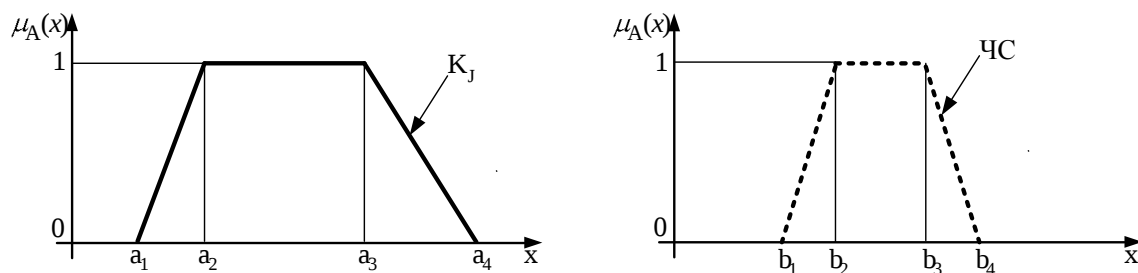


Рис.1

Как видно из рис. 1, $|S| = \frac{(b_4 - b_1) + (b_3 - b_2)}{2}$.

Рассмотрим варианты пересечения нечёткого множества, описывающего ЧС с нечётким множеством, описывающим тип K_j . На рис. 2 приведены все допустимые комбинации верхних оснований функций принадлежности данных нечётких множеств.

Для примера рассмотрим подробнее вариант 1. Он соответствует четырём различным ситуациям пересечения нечёткого множества, описывающего ЧС, с нечётким множеством, описывающим класс K_j . Геометрическое изображение данных ситуаций и формулы для вычисления оценки принадлежности ЧС классу K_j приведены в таблице.

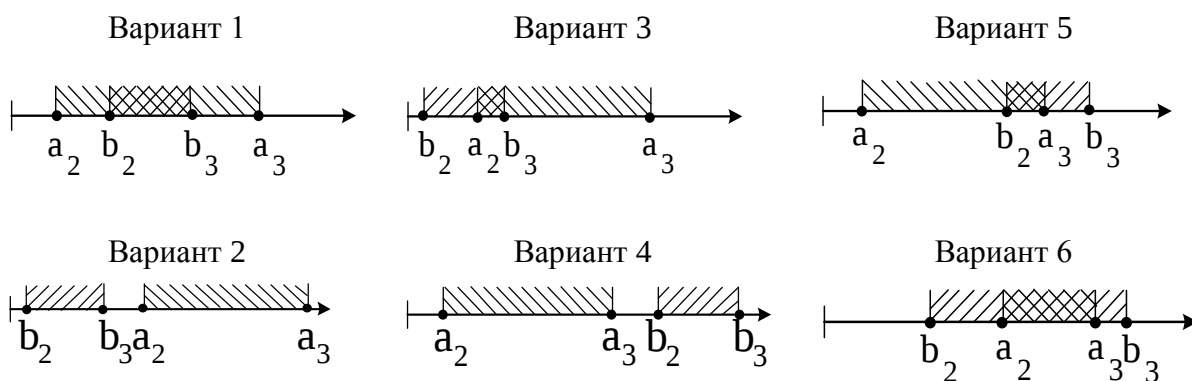


Рис. 2

ЧС	Оценка принадлежности ЧС классу K_j
	$\frac{b_4 - b_1 + b_3 - b_2}{2} / S = 1$
	$\left(\frac{x_2 - x_1 + b_3 - b_2}{2} \cdot h + \frac{b_4 - a_1 + x_2 - x_1}{2} \cdot h \right) / S $
	$\left(\frac{x_2 - x_1 + b_3 - b_2}{2} \cdot h + \frac{b_4 - b_1 + x_2 - x_1}{2} \cdot h \right) / S $
	$\left(\frac{b_4 - a_1 + x_4 - x_1}{2} \cdot h_1 + \frac{x_4 - x_1 + x_3 - x_2}{2} \cdot h_2 + \frac{x_3 - x_2 + b_3 - b_2}{2} \cdot h_3 \right) / S $

Остальные варианты рассмотрены аналогично.

Решение задачи выбора класса чрезвычайной ситуации.

На практике часто возникают случаи, когда ЧС может быть отнесена сразу к нескольким классам ЧС. Сравнив вычисленные оценки принадлежности ЧС к нескольким классам $K_1, K_2, \dots, K_l$, можно определить соответствие данной ЧС классу K_j . Например, на рис. 3 представлены четыре класса ЧС, разделенных по степени неблагоприятия экологических последствий (класс 1 — относительно удовлетворительная обстановка ЧС, класс 2 — напряженная, класс 3 — критическая, класс 4 — кризисная). В качестве классификационного признака взят индекс предельной концентрации вредных веществ.

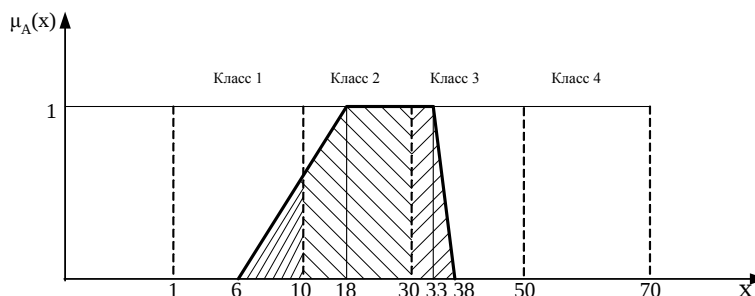


Рис. 3

С использованием рассмотренного выше метода получены следующие оценки принадлежности данной ЧС к определенному классу: 0,06 — к классу 1; 0,26 — к классу 2; 0,23 — к классу 3; 0 — к классу 4. Таким образом, при решении задачи (1) ЧС относится к классу 2.

Заключение.

Сложность решения задачи обучения сотрудников ОВД действиям в ЧС обусловлена тем, что требуется имитация процессов принятия решений при неполных или недостоверных исходных данных, что характерно при возникновении и развитии реальных ЧС. Рассмотренный математический аппарат может быть использован при создании автоматизированной обучающей системы, осуществляющей компьютерное моделирование ситуаций принятия решений при выполнении оперативно-служебных задач в ЧС.

Таким образом, с помощью автоматизированной обучающей системы можно генерировать достаточно большое количество вариантов ЧС, обучать сотрудников ОВД правильно определять тип ЧС, выбирать альтернативные варианты действий в предложенных условиях и формировать навыки принятия управленческих решений, оптимальных в соответствующей ЧС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. — М.: Лаборатория базовых знаний, 2013. — 288 с.
2. Меньших В.В., Пьянков О.В., Самороковский А.Ф. Использование ситуационных центров для обучения действиям в кризисных ситуациях // Информационная безопасность регионов. — 2011. — Вып. 2(9). — С. 104—107.
3. Меньших В.В., Самороковский А.Ф., Меренков А.С. Методика обучения принятию управленческих решений с использованием современных информационных технологий // Вестник ВИ МВД России. — 2013. — №1. — С. 204—208.
4. Веселов В.В. Организация управления подготовкой сотрудников органов внутренних дел для действий в условиях чрезвычайных ситуаций: дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2002. — 212 с.
5. Искусственный интеллект: в 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: справочник / под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Радио и связь, 1990. — 304 с.

6. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. — 208 с.
7. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Пospelova. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 312 с.
8. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.

REFERENCES

1. Yamalov I.U. Modelirovanie protsessov upravleniya i prinyatiya resheniy v usloviyah chrezvychaynykh situatsiy. — M.: Laboratoriya bazovykh znaniy, 2013. — 288 s.
2. Menshih V.V., Pyankov O.V., Samorokovskiy A.F. Ispolzovanie situatsionnykh tsentrov dlya obucheniya deystviyam v krizisnykh situatsiyah // Informatsionnaya bezopasnost regionov. — 2011. — Vyip. 2(9). — S. 104—107.
3. Menshih V.V., Samorokovskiy A.F., Merenkov A.S. Metodika obucheniya prinyatiyu upravlencheskikh resheniy s ispolzovaniem sovremennykh informatsionnykh tehnologiy // Vestnik VI MVD Rossii. — 2013. — № 1. — S. 204—208.
4. Veselov V.V. Organizatsiya upravleniya podgotovkoy sotrudnikov organov vnutrennih del dlya deystviy v usloviyah chrezvychaynykh situatsiy: dis. ... kand. tehn. nauk. — SPb., 2002. — 212 s.
5. Iskusstvennyiye intellekt: v 3 kn. Kn. 2. Modeli i metody: spravochnik / pod red. D.A. Pospelova. — M.: Radio i svyaz, 1990. — 304 s.
6. Orlovskiy S.A. Problemy prinyatiya resheniy pri nechetkoy ishodnoy informatsii. — M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1981. — 208 s.
7. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta / pod red. D.A. Pospelova. — M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. — 312 s.
8. Saati T.L. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy. — M.: Radio i svyaz, 1989. — 316 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Меньших Валерий Владимирович. Начальник кафедры высшей математики. Доктор физико-математических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: menshikh@mail.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, пр-т Патриотов, 53. Тел. 8(473)200-52-10.

Серёда Елена Николаевна. Старший преподаватель кафедры высшей математики.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: sereda-en@mail.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, пр-т Патриотов, 53. Тел. 8(473)200-52-14.

Menshikh Valery Vladimirovich. Chief of the chair of high mathematics. Doctor of physical and mathematical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 8(473)200-52-10.

Sereda Elena Nikolayevna. Senior lecturer of the chair of high mathematics.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 8(473)200-52-14.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; нечёткие множества; распознавание.

Key words: emergency; fuzzy sets; recognition.

УДК 004.827



А.Н. Голубинский,
доктор технических наук



А.А. Гущина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА РЕЧЕВОГО СИГНАЛА, ОСНОВАННАЯ НА ПОЛИГАУССОВСКОЙ МОДЕЛИ

MATHEMATICAL MODEL OF A PULSED SOURCE OF SPEECH SIGNAL FOR THE DISCRIPTION OF PLOSIVE SOUNDS

Разработана математическая модель импульсного источника речевого сигнала, основанная на полигауссовской модели. Полученная модель адекватно описывает процесс речеобразования взрывных сегментов речи в виде суммы гауссовских функций, зависящих от времени.

Mathematical model of pulsed source of speech signal, based on poligauss model is developed. The resulting model adequately describes the process of speech production plosive segments of speech as a sum of the gaussian functions which depend on time.

Современный этап развития речевых технологий непосредственно связан с ЭВМ. Например, при решении ряда практических задач появилась возможность управлять компьютером с помощью голоса, диктовать текст, слушать, а не читать книги, а в перспективе общаться с компьютером на интеллектуальном уровне.

Разработка речевого интерфейса включает в себя три составляющие: распознавание речи, понимание речи и синтез речи. При этом для понимания речи необходимо изучение не только фонетики и грамматики языка, но и правил семантической интерпретации. Системы анализа и синтеза речи основываются на изучении основных характеристик фонем и звуков, поведении звуковой волны и разработке на основе их моделей, адекватно описывающих речевой сигнал.

Источниками звука в процессе речеобразования являются различные участки речевого тракта. Как правило, выделяют три вида источника звука, участвующих в речеобразовании — голосовой источник и два шумовых: турбулентный и импульсный. Участие импульсного источника приводит к образованию взрывных согласных. Взрыв-

ные согласные по артикулярной классификации разделяются на губные («б», «п»), альвеолярные («д», «т»), твердо-мягконебные («г», «к»); по способу образования на губные звонкие мгновенные («б», «г», «д») и губные шумные мгновенные («п», «к», «т») [1]. Следует отметить, что структура взрывных звуков изменчива и зачастую зависит от положения согласного в фонеме или слове.

На современном этапе существует несколько подходов к описанию согласных звуков. В сотовой связи используется кодирование речи на основе метода линейного предсказания. Речевой сигнал представляется в виде сигнала на выходе линейной системы с переменными во времени параметрами, возбуждаемой квазипериодическими импульсами (в пределах вокализованного сегмента) или случайным шумом (на невокализованном сегменте).

Другие подходы к представлению согласных звуков [2—4 и др.], как правило, используют еще более избыточный набор характеристик для параметризации. В работе [4] для определения мгновенных параметров сигнала необходимо осуществить фильтрацию гармонических составляющих, т.е. представить выходной сигнал фильтра в виде периодической функции с мгновенной частотой и амплитудой. Однако заметим, что для согласных звуков гармоническая составляющая не является столь ярко выраженной, как для вокализованного речевого сегмента.

Таким образом, актуальным научным направлением в области математического моделирования речевых сигналов является разработка математических моделей, компактно и адекватно описывающих невокализованные сегменты речи, учитывающих особенности речеобразования.

Цель работы — разработка математической модели взрывных согласных звуков при использовании полигауссовской модели, и оценка параметров модели реального речевого сигнала.

Предлагается использовать для анализа и синтеза речи следующую математическую модель импульсного голосового источника в виде суммы гауссовских функций, зависящих от времени (полигауссовская модель):

$$p(t) = \sum_{q=1}^Q P_q \cdot e^{\frac{-(t-m_q)^2}{2\sigma_q^2}}, \quad (1)$$

где Q — количество составляющих; P_q , m_q и σ_q — соответственно значения амплитуд, центральных составляющих и параметров, характеризующих ширину q -й гауссовской компоненты.

В работе [5] представлено решение экспоненциальной аппроксимации функций Гаусса при следующих ограничениях:

1) сдвиги функции Гаусса (квадратичная экспонента с параметрами) являются целочисленными;

2) искомая функция совпадает с исходной во всех целых точках.

Однако для моделирования взрывных звуков целесообразно исследовать более общий случай, так как для реальных речевых сигналов параметры сдвигов квадратичной экспоненты могут быть произвольными, при этом жёсткое требование точного совпадения модели с реальным речевым сигналом в целых точках можно ослабить, например потребовав минимизацию среднеквадратичной ошибки модели.

Спектральная плотность модели (1), полученная на основе преобразования Фурье и его свойств, выглядит следующим образом:

$$\dot{P}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t)e^{-j\omega t} dt = \sqrt{2\pi} \sum_{q=1}^Q P_q \sigma_q e^{-\frac{\sigma_q^2 \omega^2}{2}} e^{-j\omega m_q}, \quad (2)$$

где $\omega = 2\pi \cdot f$ — круговая частота; f — линейная частота.

Амплитудный спектр на основе выражения (2) имеет вид

$$|\dot{P}(\omega)| = \sqrt{2\pi} \sqrt{\left(\sum_{q=1}^Q P_q \sigma_q^2 e^{-\frac{\sigma_q^2 \omega_q^2}{2}} \cos(\omega m_q) \right)^2 + \left(\sum_{q=1}^Q P_q \sigma_q^2 e^{-\frac{\sigma_q^2 \omega_q^2}{2}} \sin(\omega m_q) \right)^2}. \quad (3)$$

На рис. 1 в качестве примера представлен временной вид реального речевого сигнала и математической модели для согласного звука /б/ — тонкой сплошной и пунктирной линиями соответственно. При расчетах использовано $p_i = p(i \cdot \Delta)$, где $\Delta = 1/f_d$ (здесь f_d — частота дискретизации, которая выбиралась равной 8 кГц).

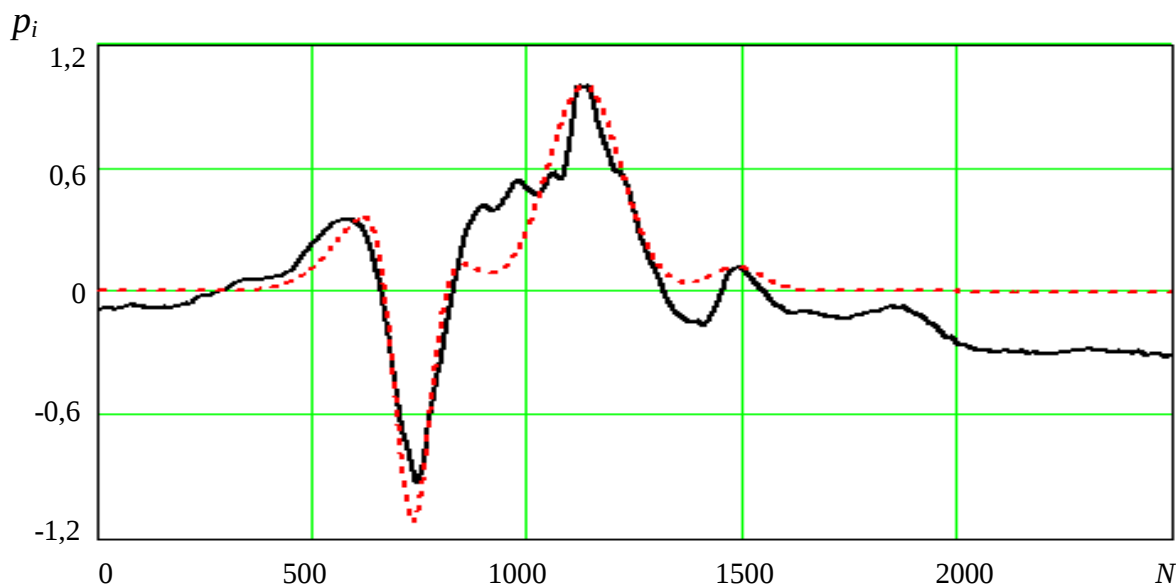


Рис.1. Временной вид речевого сигнала и математической модели

Для того чтобы оценить ошибки математической модели относительно реального речевого сигнала, предлагается использовать следующий подход. В качестве критерия близости характеристик математической модели и речевого сигнала будем использовать нормированные автокорреляционные функции (НАКФ) соответственно.

При этом НАКФ центрированного речевого сигнала b_j^3 :

$$b_j^{\text{э.п.}} = \frac{By_j}{By_0} = \frac{By_j}{Ey}; \quad (4)$$

АКФ для центрированного речевого сигнала:

$$B_y(j) \equiv By_j = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})(x_{i-j} - \bar{x}) = \sum_{i=0}^{N-1} y_i y_{i-j}, \quad j = \overline{0, J}, \quad (5)$$

здесь отсчеты центрированного речевого сигнала: $y_i = x_i - \bar{x}$, $i = \overline{0, N-1}$; x_i — начальные отсчеты; N — число отсчетов; $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i$ — среднее значение.

Для математической модели НАКФ модели $b^m(\tau)$:

$$b_j^m = \frac{B_p(\tau)}{B_p(0)} \Big|_{\tau=j\cdot\Delta} = \frac{B_p(\tau)}{E_p} \Big|_{\tau=j\cdot\Delta}, \quad (6)$$

где E_p — энергия модели;

АКФ модели:

$$B_p(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t)p(t-\tau)dt = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sum_{q=1}^Q P_q^2 \sigma_q e^{-\frac{\tau^2}{4\sigma_q^2}} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{m_q - \frac{\tau}{2}}{\sigma_q} \right) \right], \quad (7)$$

здесь $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ — функция ошибки. Выражение (7) получено для приближения при разрешении гауссовских составляющих (малые перекрестные значения q -х слагаемых автокорреляционной функции).

В качестве критерия близости примем нижнюю границу среднеквадратичной ошибки:

$$\varepsilon_b = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J (b_j^m - b_j^s)^2 \rightarrow \inf. \quad (8)$$

При расчете ошибки ограничим верхний индекс суммирования в (8) существенным значением отсчета АКФ равным $N/4$. Это обусловлено тем, что, как правило, значения АКФ, начиная с отсчета $N/4$, заходят в доверительные границы существенных значений [6]. Данный интервал, используемых отсчетов АКФ можно сопоставить со значением времени корреляции (характерным временным спаданием до «практического нуля» коэффициента корреляции). Заметим, что время корреляции (интервал корреляции) дает ориентировочное представление о том, на каком интервале времени заметная коррелированность между значениями случайного процесса существенна для решаемой задачи.

На рис. 2 в качестве примера для звука /б/ показаны графики АКФ реального речевого сигнала (сплошная линия) и модели (пунктирная).

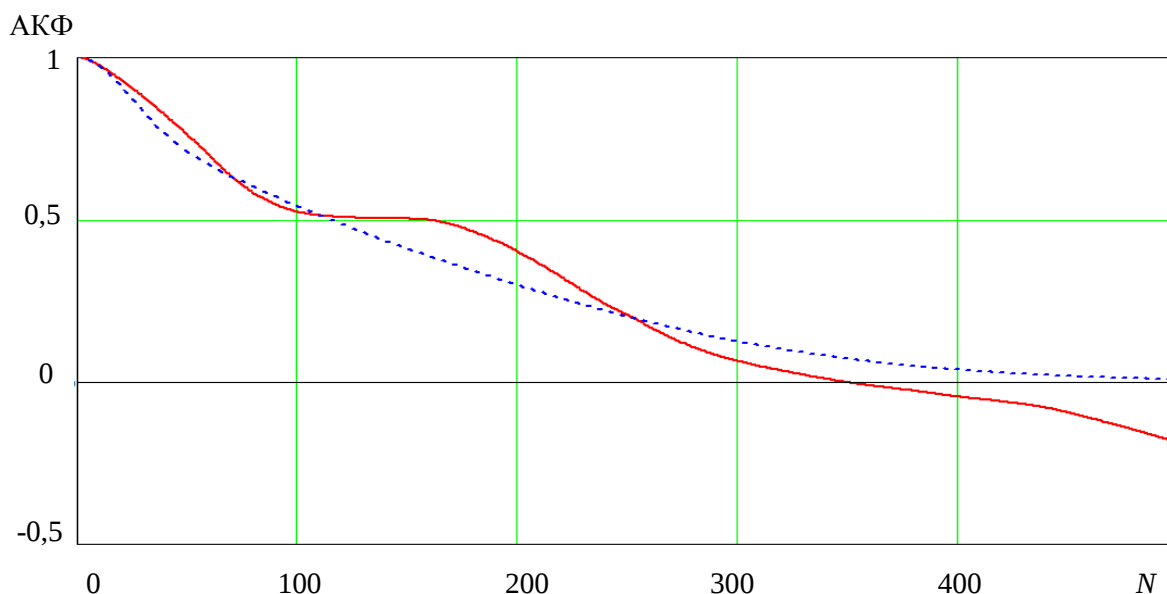


Рис. 2. АКФ математической модели и реального речевого сигнала

На основе выражения для НАКФ $b^*(\tau)$ можно вычислить коэффициенты P_q по методу наименьших квадратов, минимизировав ошибку ε_b (приравняв к нулю первые производные ε_b по каждому из коэффициентов) для $E_p = \text{const}$. Расчет амплитудных коэффициентов P_q можно осуществить на основе метода последовательных приближений, при этом следует наложить дополнительное ограничение в виде действительных значений P_q .

В качестве примера в табл. 1 представлены значения ошибок математической модели для взрывных согласных звуков, полученные на основе анализа реализации одного голоса диктора.

Таблица 1

Звуки	/п/	/к/	/т/	/б/	/г/	/д/
ε_b	6,2	3,7	4,2	4,2	6,0	6,3

Так как по теореме Винера — Хинчина АКФ связана со спектральной плотностью сигнала энергии обратным преобразованием Фурье, то данный критерий адекватно описывает как корреляционные связи, так и структурные свойства энергетического спектра сигнала. Анализ математической модели (1) посредством вычисления критерия близости и эмпирической верификации на слух позволяет сделать вывод о том, что модель адекватна конечному временному ряду (речевому сигналу).

На основе проведенного в работе анализа можно выделить соответствующие каждому звуку параметры математической модели, характеризующие соответствующие спектральные составляющие. Стоит отметить, что для правильного произнесения взрывного звука целесообразно использовать такие слова русской речи, в которых исследуемый согласный звук не будет подвержен вокализации из-за предыдущей или последующей гласной. Примером таких звуков могут послужить следующие слова: «герБ», «йодД», «круГ», «канТ», «стоП», «пиК» и т.п.

В табл. 2 показан набор типовых значений параметров модели, полученных для каждого звука по реализациям одного диктора.

Разработанная математическая модель позволяет описать взрывной согласный звук малым количеством параметров при удовлетворительном качестве синтезированных звуков. Предлагаемая параметризация согласного звука требует, как правило, четыре гауссовские компоненты, т.е. количество существенных параметров необходимых для описания каждого отрезка длиной 20 мс, равно двенадцати, причем восемь из которых (m_q , σ_q) являются константами. При этом стоит отметить, что набор значений параметров m_q и σ_q для каждого звука, произнесенного одним диктором, является практически неизменным. Таким образом, представляет научный интерес исследование значений m_q и σ_q для каждого звука в зависимости от диктора, с указанием доверительных интервалов их изменения, и определение их усредненных значений для соответствующих звуков.

Заметим, что соответствующие ошибки (табл. 1), полученные на основе экспериментальных исследований, могут быть использованы для того, чтобы задать пороги критических значений соответствующей меры близости в рамках используемого критерия проверки на адекватность математической модели. Также при необходимости могут быть применены объективно-статистические критерии проверки гипотез (например, критерий Стьюдента, критерий на основе коэффициента множественной корреляции и др.).

Таблица 2

Звуки (глухие шумные мгновенные)	/п/				/к/				/т/			
	Номер составляющей, q											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	P_q	0,02	-0,075	-0,04	0,04	0	0,2	-0,6	0,11	0,01	0,55	-0,89
m_q	$30 \cdot 10^{-3}$	$52 \cdot 10^{-3}$	$63 \cdot 10^{-3}$	$70 \cdot 10^{-3}_3$	$14 \cdot 10^{-3}$	$61 \cdot 10^{-3}$	$64 \cdot 10^{-3}$	$120 \cdot 10^{-3}_3$	$19 \cdot 10^{-3}$	$60 \cdot 10^{-3}$	$79 \cdot 10^{-3}$	$102 \cdot 10^{-3}_3$
σ_q	$62 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	$77 \cdot 10^{-4}_4$	$100 \cdot 10^{-4}$	$61 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-4}$	$120 \cdot 10^{-4}_4$	$100 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-4}$	$51 \cdot 10^{-4}$	$70 \cdot 10^{-4}$
Звуки (звонкие шумные мгновенные)	/б/				/г/				/д/			
	Номер составляющей, q											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	P_q	0,2	-0,65	0,42	0,05	0,005	-0,12	0,01	-0,01	0,01	-0,08	0,01
m_q	$43 \cdot 10^{-3}$	$46 \cdot 10^{-3}$	$71 \cdot 10^{-3}$	$93 \cdot 10^{-3}_3$	$17 \cdot 10^{-3}$	$67 \cdot 10^{-3}$	$90 \cdot 10^{-3}$	$102 \cdot 10^{-3}_3$	$20 \cdot 10^{-3}$	$57 \cdot 10^{-3}$	$72 \cdot 10^{-3}$	$104 \cdot 10^{-3}_3$
σ_q	$69 \cdot 10^{-4}$	$26 \cdot 10^{-4}$	$53 \cdot 10^{-4}$	$39 \cdot 10^{-4}_4$	$71 \cdot 10^{-4}$	$42 \cdot 10^{-4}$	$100 \cdot 10^{-4}_4$	$120 \cdot 10^{-4}_4$	$90 \cdot 10^{-4}$	$26 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$	$120 \cdot 10^{-4}_4$

Таким образом, определив отличительные особенности для каждого взрывного согласного звука, выраженные компактным набором существенных параметров, совместно с критерием близости можно успешно реализовать разработанную математическую модель для ряда практических задач — применительно к системам синтеза и распознавания речи, идентификации и верификации по голосу и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев М.Н., Дегтярев В.М. Расчет и измерение качества речевых сигналов. — СПб.: ГеликонПлюс, 2008. — 275 с.
2. Фант Г. Акустическая теория речеобразования. — Новосибирск: Наука, 1964. — 284 с.
3. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. — М.: Радио и связь, 1981. — 496 с.
4. Азаров И.С., Петровский А.А. Вычисление мгновенных гармонических параметров речевого сигнала // Речевые технологии. — 2008. — №1. — С. 67—77.
5. Ситник С.М., Тимашов А.С. Приложения экспоненциальной аппроксимации по целочисленным сдвигам функций Гаусса // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2013. — №1. — С. 67—77.
6. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление: пер. с англ. — М.: Букинист, 1974. — Вып.2. — 198 с.

REFERENCES

1. Gusev M.N., Degtyarev V.M. Raschet i izmerenie kachestva rechevyyih signalov. — SPb.: GelikonPlyus, 2008. — 275 s.
2. Fant G. Akusticheskaya teoriya recheobrazovaniya. — Novosibirsk: Nauka, 1964. — 284 s.
3. Rabiner L.R., Shafer R.V. Tsifrovaya obrabotka rechevyyih signalov. — M.: Radio i svyaz, 1981. — 496 s.
4. Azarov I.S., Petrovskiy A.A. Vyichislenie mgnovennyih garmonicheskikh parametrov rechevogo signala // Rechevyye tehnologii. — 2008. — № 1. — S. 67—77.
5. Sitnik S.M., Timashov A.S. Prilozheniya eksponentsialnoy approksimatsii po tselochislennym sdvigam funktsiy Gaussa // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyih tehnologiy. — 2013. — № 1. — S. 67—77.
6. Boks Dzh., Dzhenkins G. Analiz vremennyih ryadov. Prognoz i upravlenie: per. s angl. — M.: Bukinist, 1974. — Vyip.2. — 198 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Голубинский Андрей Николаевич. Профессор кафедры радиотехники и электроники. Доктор технических наук.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: annikgol@mail.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 200-52-54.

Гушина Анастасия Александровна. Адъюнкт кафедры радиотехники и электроники.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: a.gushchina@rambler.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. 8 9056538799.

Golubinskiy Andrey Nikolaevich. Professor of the chair of Radio engineering and electronics. Doctor of technical sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 247-64-72.

Gushchina Anastasia Alexandrovna. Post-graduate cadet of the chair of radio engineering and electronics.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. 8 9056538799.

Ключевые слова: математическая модель; речевой сигнал; импульсный источник; полигаус-совская модель.

Key words: mathematical model; speech signal; pulsed source; poligauss model.

УДК 621.39



П.Б. Абрамов,
кандидат технических наук, доцент,
Военно-воздушная академия имени проф.
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина



А.В. Леньшин,
доктор технических наук, доцент,
Военно-воздушная академия имени проф.
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

СУЩЕСТВОВАНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАЗОМКНУТЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

EXISTENCE AND STABILITY OF THE DECISION OF SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR THE OPENED MODELS OF QUEUING SYSTEMS

Рассматриваются разомкнутые модели систем массового обслуживания. Показана устойчивость решения дифференциального уравнения для одноканальной разомкнутой СМО с отказами. Для многоканальных разомкнутых СМО на основе условия Липшица и леммы Ляпунова показано существование и устойчивость решения системы дифференциальных уравнений модели. Предложены пути дальнейшего совершенствования модели.

The opened models of queuing systems are considered. Stability of the differential equation solution is shown for the one-channel queuing system with refusals. Existence and stability of the decision of the differential equations system, describing the model, is shown for multi-channel queuing systems on the basis of Lipshits's condition and Lyapunov's lemma. Ways of further improvement of model are offered.

Стремительное развитие систем и сетей передачи информации существенно усложняет анализ подобных систем, при этом в целом ряде случаев классические модели исследования операций не в полной мере отвечают постановке задачи исследования и не обеспечивают требуемой детализации предмета исследования. В частности, общеизвестные модели систем массового обслуживания (СМО) основаны на марковских моделях «гибели и размножения», что ограничивает область их применения простейшими потоками заявок. Вместе с тем, как показано в [1—3], учет фактора последовательности в потоках заявок в ряде случаев играет существенную роль.

Кроме того, модели «гибели и размножения» предопределяют некоторую изолированность рассматриваемой системы от внешней среды. Поэтому на основе классических моделей СМО не представляется возможным выполнить, например, анализ потоков обслуженных заявок на выходах отдельных каналов СМО, сравнить загруженность каналов и показатели их функционирования. Стыковка различных систем массового обслуживания в рамках классической теории также представляет собой серьезную проблему.

Альтернативным подходом к моделированию систем массового обслуживания является применение открытых марковских форм, или марковских форм с незамкнутыми (внешними) потоками событий.

Основой наглядного представления модели является структурный граф системы. Для СМО с отказами граф имеет вид, приведенный на рис. 1.

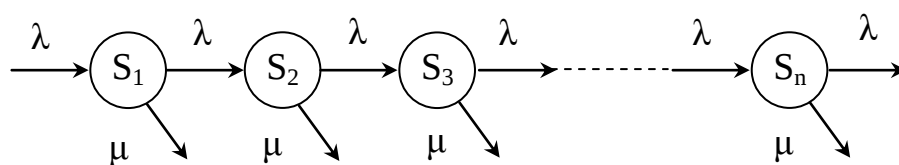


Рис.1. Структурный граф СМО с отказами

Следует особо отметить, что основной модели, в отличие от классической, являются не вероятности состояний, а потоки событий (заявок). Каждое состояние S_i соответствует не состоянию системы в целом, а одному из каналов СМО. Вероятность P_i для некоторого состояния S_i равна вероятности такого события, что i -й канал занят. Несмотря на то что интенсивности потоков между состояниями λ равны между собой, действующая интенсивность входящего потока для состояния S_i определится как $\Lambda_{i-1,i} = \lambda \cdot P_{i-1}$ и будет уменьшаться от одного канала к другому.

На вероятности состояний не налагается условие равенства их суммы единице. Напротив, для равновесного (стационарного) режима системы справедливо условие равенства входящего и суммы выходящих потоков. Выходящий поток заявок, получивших отказ в обслуживании, имеет действующую интенсивность $\Lambda_{отк} = \lambda \cdot P_n$, а обслуженных — действующую интенсивность

$$\Lambda_{обсл} = \mu \cdot \sum_{i=1}^n P_i. \quad (1)$$

Следовательно, условие равенства интенсивностей потоков имеет вид

$$\lambda = \Lambda_{отк} + \Lambda_{обсл} = \lambda \cdot P_n + \mu \cdot \sum_{i=1}^n P_i. \quad (2)$$

Вместе с тем, сам факт наличия равновесного режима требует отдельного обоснования. Для этого необходимо выполнить анализ системы дифференциальных уравнений, описывающих представленную на рис. 1 модель, и доказать существование, единственность и асимптотическую устойчивость ее решения.

В качестве описания динамики системы применяются хорошо известные уравнения Колмогорова — Чепмена. Для учета входящего потока событий достаточно добавить в правой части первого из уравнений положительную постоянную λ . Выходящие из модели вовне потоки учитываются так же, как и прочие выходящие из некоторого состояния потоки — увеличением суммарной исходящей интенсивности.

Рассмотрим модель одноканальной СМО с отказами. Структурный граф системы приведен на рис. 2.

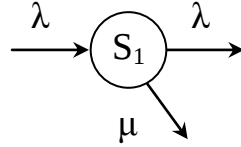


Рис. 2. Структурный граф одноканальной СМО с отказами

Динамика этой системы описывается линейным дифференциальным уравнением

$$\frac{dP_1}{dt} = -(\lambda + \mu) \cdot P_1 + \lambda. \quad (3)$$

Известно аналитическое решение линейного дифференциального уравнения, к классу которых относится (3), приведенное в литературе [4]. В случае постоянных коэффициентов в правой части оно имеет вид

$$P_1(t) = C \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu}, \quad (4)$$

где C — произвольная постоянная интегрирования, определяемая из условия $P_1(0) = a$, для рассматриваемой модели $|a| \leq 1$.

Данное решение асимптотически устойчиво для любых начальных условий, и все решения (4) стремятся к величине

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}, \quad (5)$$

что также достаточно просто получить из выражения (3), положив левую часть равной нулю для равновесного состояния.

В выражении (5) мы получили вероятность отказа в обслуживании заявки для одноканальной СМО, с учетом того факта, что отказ происходит в случае, когда канал занят. Отсюда можно получить прочие параметры СМО:

$$P_{отк} = P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}; \quad q = P_{обсл} = 1 - P_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}; \quad Q = q \cdot \lambda = \frac{\lambda \mu}{\lambda + \mu}. \quad (6)$$

Итак, параметры разомкнутой одноканальной СМО с отказами полностью совпадают с результатами классической теории для систем массового обслуживания. Перейдем к рассмотрению многоканальных СМО.

Для многоканальной разомкнутой СМО с отказами (рис. 1) аналитическое описание представляется в виде системы линейных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dP}{dt} = f(t, P) + g(t), \quad (7)$$

где $g(t) = (\lambda \ 0 \ 0 \ \dots \ 0)^T$, а вектор-функция $f(t, P)$ имеет вид

$$f(t, P) = \begin{bmatrix} -(\lambda + \mu)P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \lambda P_1 & -(\lambda + \mu)P_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda P_2 & -(\lambda + \mu)P_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -(\lambda + \mu)P_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda P_{n-1} & -(\lambda + \mu)P_n \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Из общей теории систем дифференциальных уравнений известно, что если функция $f(t, x)$ непрерывна на некотором открытом множестве G пространства переменных (t, x) и удовлетворяет условию Липшица по x на любом замкнутом ограниченном множестве, содержащемся в множестве G , то, какова бы ни была точка $(x_0, y_0) \in G$, существует решение $x = \varphi(t)$ системы уравнений (7), определенное в некоторой окрестности точки t_0 и удовлетворяющее условию $\varphi(t_0) = x_0$.

Покажем, что для вектор-функции (8) это условие выполняется. Рассмотрим модули частных производных

$$\left| \frac{\partial f_i}{\partial P_k} \right|, \text{ где } i, k = 1, 2, \dots, n.$$

Легко установить, что

$$\left| \frac{\partial f_i}{\partial P_k} \right| \leq \lambda + \mu = L. \quad (9)$$

Тогда, как показано в [5], для случая ограниченных сверху частных производных, имеют место соотношения:

$$|f_i(t, P') - f_i(t, P'')| \leq n \cdot L \cdot |P' - P''| \quad \text{и} \quad (10)$$

$$|f(t, P') - f(t, P'')| \leq n^{3/2} \cdot L \cdot |P' - P''|. \quad (11)$$

С учетом (9) получим:

$$|f(t, P') - f(t, P'')| \leq n^{3/2} \cdot (\lambda + \mu) \cdot |P' - P''|. \quad (12)$$

Полагая постоянную Липшица $K = n^{3/2} \cdot (\lambda + \mu)$, приходим к неравенству

$$\frac{|f(t, P') - f(t, P'')|}{|P' - P''|} \leq K. \quad (13)$$

Следовательно, условие Липшица выполнено, и решение рассматриваемой системы уравнений существует. Более того, при условии непрерывности функции $f(t, P)$ на некотором открытом множестве G пространства переменных (t, P) и выполненном условии Липшица на любом замкнутом ограниченном множестве, содержащемся в множестве G , как известно, решение системы (7) не только существует, но и является единственным. Таким образом, мы пришли к выводу о том, что для предложенной модели СМО всегда существует единственное решение задачи Коши, и факт его существования не зависит от начальных условий и количества каналов n в рассматриваемой модели системы массового обслуживания.

Теперь покажем, что решение $f(t, P)$ системы уравнений (7) обладает свойством устойчивости.

Устойчивость решения системы линейных дифференциальных уравнений по Ляпунову (асимптотическая) достигается тогда и только тогда [6], когда является устойчивым по Ляпунову (асимптотически) тривиальное решение $\mathbf{P} \equiv 0$ соответствующей однородной системы

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{f}(t, \mathbf{P}). \quad (14)$$

Для доказательства устойчивости решения воспользуемся леммой Ляпунова для однородных систем. Согласно условиям леммы, правая часть системы (14) должна быть определена и непрерывна, кроме того, модуль вектора переменных $\mathbf{P}$ должен быть ограничен сверху $|\mathbf{P}| \leq r$, где r — некоторая произвольная постоянная. Все эти свойства вектора переменных следуют из физического существа задачи и метода построения модели. Действительно, каждое из состояний, рассматриваемое по отдельности, подчиняется выражениям (3)—(5). Из формулы (4) следует непрерывность и монотонность функций P_i , а выражение (5) определяет, что каждая из переменных P_i асимптотически стремится к величине, строго меньшей единицы. Таким образом, при начальных условиях $P_i = 0$, вполне отвечающих начальному моменту функционирования СМО, условия леммы Ляпунова являются выполненными.

Условия теорем существования и единственности, как показано выше, также выполнены. Тогда, если найдется такая неотрицательная функция $V(\mathbf{P})$ класса C^1 , обращаемая в ноль только при $\mathbf{P} = 0$, что

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial V(\mathbf{P})}{\partial P_i} f_i(\mathbf{P}) \leq 0, \quad (15)$$

то решение $\mathbf{P} \equiv 0$ системы уравнений (14) устойчиво по Ляпунову. Если, кроме того,

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial V(\mathbf{P})}{\partial P_i} f_i(\mathbf{P}) \leq -W(\mathbf{P}), \quad (16)$$

где $W(\mathbf{P}) \geq 0$ — некоторая непрерывная функция, обращаемая в ноль только при $\mathbf{P} = 0$, то решение $\mathbf{P} \equiv 0$ асимптотически устойчиво.

Вновь обращаясь к выражениям (4) и (5), приходим к выводу о том, что при начальных условиях $P_i = 0$ и положительной асимптотике каждая из переменных P_i является положительной величиной на всей области определения. Об этом же свидетельствует анализ динамики поведения этих величин. Действительно, допустим, что в некоторый момент t_1 переменная $P_i(t_1)$ примет значение $P_i(t_1) = 0$. Тогда величина всех входящих из состояния S_i потоков $\lambda \cdot P_i(t_1) = \mu \cdot P_i(t_1) = 0$. Это приведет к тому, что в последующие моменты $t > t_1$ уменьшение величины P_i в сторону отрицательных значений невозможно.

Данные предпосылки позволяют определить функцию $V(\mathbf{P})$ в виде

$$V(\mathbf{P}) = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (17)$$

Функция $V(\mathbf{P})$ является при этом непрерывной, дифференцируемой и неотрицательной на всей области определения.

Тогда, очевидно, $\frac{\partial V(\mathbf{P})}{\partial P_i} = 1$ и

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial V(\mathbf{P})}{\partial P_i} f_i(\mathbf{P}) = \sum_{i=1}^n f_i(\mathbf{P}). \quad (18)$$

Следовательно, для вычисления критериальной функции в левой части выражений (15) и (16) достаточно просуммировать элементы матрицы вектор-функции (8). Легко видеть, что при суммировании каждого из столбцов матрицы члены $\lambda \cdot P_i$ встречаются как с положительным, так и с отрицательным знаком, то есть, взаимно уничтожаются. Окончательно получим:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial V(\mathbf{P})}{\partial P_i} f_i(\mathbf{P}) = -\mu \cdot \sum_{i=1}^n P_i. \quad (19)$$

Теперь в выражении (16) функция $W(\mathbf{P})$ может быть определена как

$$W(\mathbf{P}) = \mu \cdot P_{i_{\max}} - \varepsilon, \quad (20)$$

где $P_{i_{\max}} = \max_{\forall i \in I, n} P_i$, для любого t ;

ε — сколь угодно малая величина, $0 \leq \varepsilon \leq P_{i_{\max}}$, которая в общем случае может зависеть от времени и равная нулю в момент времени $t=0$.

Поскольку справедливы утверждения $(P_i(t) \geq 0 \mid \forall P_i \in \mathbf{P})$ и $(P_i(0) = 0 \mid \forall P_i \in \mathbf{P})$, постольку справедливы и утверждения $(W(\mathbf{P})|_{t \neq 0} \geq 0)$ и $(W(\mathbf{P})|_{t=0} = 0)$. Таким образом, введенная согласно (20) функция $W(\mathbf{P})$ вполне отвечает требованиям, предъявляемым к ней условиями леммы Ляпунова.

На основании анализа (19) и (20) можно сделать вывод о том, что выполняются соотношения

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial V(\mathbf{P})}{\partial P_i} f_i(\mathbf{P}) = -\mu \cdot \sum_{i=1}^n P_i \leq -\mu \cdot P_{i_{\max}} + \varepsilon = -W(\mathbf{P}). \quad (21)$$

Более того, сравнение условия (16) и неравенства (21) позволяет утверждать, что величина ε может быть принята даже тождественно равной нулю ($\varepsilon \equiv 0$), что также обеспечит выполнение условия (16), при этом для некоторых интервалов времени — по признаку равенства.

Итак, можно сделать вывод об асимптотической устойчивости решения однородной системы уравнений (14) и, как следствие, об асимптотической устойчивости решения линейной системы дифференциальных уравнений (7) для многоканальной СМО с отказами.

С учетом выражений (4) и (5) для одного из каналов СМО, определяющих асимптотическое стремление процесса к равновесному состоянию, и принимая во внимание отсутствие в графе потоков событий и состояний системы обратных связей, которые могли бы определять влияние последующих каналов системы на предыдущие,

окончательно приходим к выводу об асимптотической сходимости решения системы (7) к некоторому равновесному состоянию, не зависящему от времени. Для нахождения равновесного состояния достаточно решить систему алгебраических уравнений, положив в выражении (7) левую часть равной нулю.

Подводя итог, отметим несколько направлений дальнейшего развития рассмотренной модели.

1. В отличие от классической модели СМО рассмотренная модель позволяет учесть несколько потоков заявок, воздействующих на входы различных каналов. Для этого требуется лишь изменить соответствующим образом вид вектор-функции $\mathbf{g}(t)$, что не влияет на существование и устойчивость решения.

2. В рамках рассмотренного подхода легко учесть различную производительность каналов обслуживания. Достаточно присвоить различные значения величинам μ_i для разных каналов. Более того, в случае дисциплины обслуживания заявок, отличной от марковской, для каждого канала с интенсивностью обслуживания μ_i возможно определение соответствующей интенсивности простейшего потока $\mu_i' \approx K_{\varepsilon i} \cdot \mu_i$ на основе метода расширения пространства состояний с учетом порядка аппроксимирующего потока Эрланга $K_{\varepsilon i}$.

3. Вполне очевидно представление многофазных систем массового обслуживания на основе рассмотренной модели. Для этой цели потоки обслуженных заявок с интенсивностями μ_i необходимо объединить и подать поток суммарной интенсивности $\lambda' = \sum_i \mu_i$ на вход аналогичной модели, отображающей вторую фазу обслуживания СМО. Равновесное состояние для каждой фазы СМО может быть определено по отдельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов П.Б., Леньшин А.В. Оценка параметров систем массового обслуживания при аппроксимации дисциплины обслуживания потоками Эрланга // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — № 2. — С.13 — 18.
2. Абрамов П.Б., Леньшин А.В. Об одном подходе к оценке параметров многоканальных систем массового обслуживания с учетом последствия в потоках обслуженных заявок // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — № 3. — С.156—162.
3. Абрамов П.Б., Леньшин А.В. Оценка параметров многоканальных систем массового обслуживания с учетом последствия в потоках обслуженных заявок // Вестник Воронежского института МВД России.— 2013. — №2. — С.130 — 135.
4. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — М.: Наука, 1971. — 589 с.
5. Адрианова Л.Я. Введение в теорию линейных систем дифференциальных уравнений. — СПб: Изд-во СПбГУ, 1992. — 239 с.
6. Карташев А.П., Рождественский Б.Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. — 288 с.

REFERENCES

1. Abramov P.B., Lenshin A.V. Otsenka parametrov sistem massovogo obsluzhivaniya pri approksimatsii distsipliny obsluzhivaniya potokami Erlanga // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2012. — № 2. — S. 13—18.
2. Abramov P.B., Lenshin A.V. Ob odnom podhode k otsenke parametrov mnogokanalnykh sistem massovogo obsluzhivaniya s uchetom posledeystviya v potokakh obsluzhennykh zayavok // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2012. — № 3. — S.156—162.
3. Abramov P.B., Lenshin A.V. Otsenka parametrov mnogokanalnykh sistem massovogo obsluzhivaniya s uchetom posledeystviya v potokakh obsluzhennykh zayavok // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii.— 2013. — № 2. — S. 130 — 135.
4. Kamke E. Spravochnik po obyknovennym differentsialnyim uravneniyam. —M.: Nauka, 1971. — 589 s.
5. Adrianova L.Ya. Vvedenie v teoriyu lineynykh sistem differentsialnykh uravneniy. — SPb: Izd-vo SPbGU, 1992. — 239 s.
6. Kartashev A.P., Rozhdestvenskiy B.L. Obyknovennyye differentsialnyye uravneniya i osnovyy variatsionnogo ischisleniya. — 2-e izd., pererab. i dop. — M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1979. — 288 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абрамов Петр Борисович. Преподаватель кафедры автоматизированных систем управления. Кандидат технических наук, доцент.

Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина.

E-mail: abpostbox58@mail.ru

Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а. Тел. 8-903-650-16-20.

Леньшин Андрей Валентинович. Профессор кафедры авиационных радиоэлектронных комплексов. Доктор технических наук, доцент.

Военно-Воздушная академия имени проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина.

E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 153. Тел. 8-920-229-09-95.

Abramov Pyotr Borisovich. Lecturer of the chair of automated control systems. Candidate of technical sciences, assistant professor.

Military Aviation Academy named by prof. N.E.Zhukovsky and Y.A.Gagarin.

Work address: Russia, 394064, Voronezh, Starykh Bolshevikov, 54a. Tel. 8-903-650-16-20.

Lenshin Andrey Valentinovich. Professor of chair. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Military Aviation Academy named by prof. N.E. Zhukovsky and Y.A.Gagarin.

Work address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 153. Tel. 8-920-229-09-95.

Ключевые слова: разомкнутая модель СМО; существование решения; устойчивость решения.

Key words: opened model of queuing system; existence of the decision; stability of the decision.

УДК 519.2



О.В. Пьянков,
кандидат технических
наук, доцент



Н.В. Филатов,
Департамент информаци-
онных технологий, связи
и защиты информации
МВД России



Н.Н. Оськин,
кандидат технических
наук, Департамент
информационных техноло-
гий, связи и защиты ин-
формации МВД России

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ КАК СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

MODELLING OF INFOCOMMUNICATION SYSTEMS OF POLICE SITUATION CENTERS AS QUEUING SYSTEMS

Рассматривается возможность применения аппарата теории массового обслуживания к моделированию работы инфокоммуникационных систем. Ставится задача оптимизации построения таких систем в ситуационных центрах органов внутренних дел. Приводятся результаты вычислений сетевых характеристик в среде GPSS World.

The possibility of using queuing theory to the simulation of communication systems is considered. The aim is to optimize the construction of such systems in the situation centers of the Law-Enforcement Bodies. The results of calculations of network characteristics in the environment of GPSS World are given.

Введение.

В настоящее время органы внутренних дел, выполняя свои задачи, постоянно осуществляют масштабный обмен информацией с гражданами, органами исполнительной власти, организациями и другими как физическими, так и юридическими лицами. Поскольку оперативное реагирование является основой снижения напряженности общественных волнений, особенно при накале страстей, вызванных каким-либо инцидентом (примером являются массовые беспорядки в Западном Бирюлево, районе на юге г. Москвы 13—14 октября текущего года), то использование ситуационных центров в

деятельности ОВД является актуальным и необходимым фактором. Современные ситуационные центры представляют собой сложные высокотехнологичные комплексы, включающие в себя развитые системы информационно-аналитической поддержки, средства мультимедийного видеоотображения информации и средства коллективной работы в режиме реального времени.

В то же время создание ситуационного центра, оснащение его телекоммуникациями и информационными системами, достаточными для оперативного решения проблем, представляет собой сложную задачу. Сложность решения заключается в необходимости оснащения центров такими инфокоммуникационными системами (ИКС), которые бы, с одной стороны, обладали характеристиками, достаточными для удовлетворения потребностей по приему и обработке поступающих сообщений, с другой — эффективно использовали имеющиеся возможности для решения оперативных задач. Одним из способов решения этой задачи является моделирование функционирования инфокоммуникаций с точки зрения теории массового обслуживания в целях определения состава технических средств и обслуживающего персонала ситуационного центра. Аргументом в пользу выбора данной теории является типичная работа средств связи и архитектура информационных систем, включающая оперативный прием и передачу данных [1, 2]. Более того, предметом именно теории массового обслуживания является установление зависимости между характером потока принимаемых и передаваемых сообщений, производительностью отдельных каналов, числом каналов и успешностью (эффективностью) обслуживания [3].

Постановка задачи.

Анализ работы ситуационных центров в период возникновения чрезвычайных обстоятельств позволяет сделать вывод о наличии нескольких временных интервалов, в которых происходит обмен информацией с различной интенсивностью.

Первый интервал характеризуется взрывным всплеском поступающих сообщений по телефонной сети общего пользования, ведомственной телефонной сети и радиосети. Особенностью является дублирование одних и тех же сведений, поступающих от различных очевидцев, свидетелей или участников происходящих событий. В этот же период происходит активная передача управляющих команд силам и средствам органов внутренних дел, а также взаимодействие с подразделениями различных министерств (МЧС, Минздрав, Минэнерго, Минтранс, Минобороны и др.) и служб (ФМС, ФСБ, ФСКН и др.).

На втором интервале ситуация стабилизируется, появляются первоначальные данные о происходящем, инфокоммуникационные системы преимущественно используются для управления развернутыми силами ОВД и корректировки имеющейся информации в том числе и при взаимодействии с другими подразделениями. На данном этапе интенсивность использования ИКС ситуационного центра достаточно высока, но не является критичной.

На последнем третьем этапе происходит спад в деятельности ситуационного центра, возникшие обстоятельства либо полностью устранены, либо выполнены все мероприятия для их нейтрализации. В целом можно характеризовать как завершение работы ситуационного центра. Интенсивность использования ИКС ниже, чем на втором этапе, но отдельные взаимодействия носят продолжительный характер. В большей степени задействованы системы передачи информации для обмена итогами работы всех привлеченных сил, анализа их деятельности и разработки плана мероприятий по пре-

дупреждению и пресечению повторного появления чрезвычайных обстоятельств, повышению эффективности функционирования отдельных служб, министерств, ведомств.

С точки зрения принятия правильных и оперативных решений наибольшую важность имеет первый выделенный интервал, а поэтому определение операционных характеристик (количество необслуженных вызовов, вероятность отказа, относительная и абсолютная пропускная способность, среднее время пребывания в системе и др.) инфокоммуникационных систем следует начинать с него. Поскольку современные технические средства связи могут обладать возможностью постановки в очередь поступающих сообщений (заявок — в терминологии теории массового обслуживания), причем очередь ограничивается только возможностями используемых инфокоммуникационных систем, то ИКС можно считать смешанной системой массового обслуживания [3].

На рисунке представлена схема работы операторов связи ситуационного центра, принимающих заявки через три различные системы: телефонную сеть общего пользования (ТфОП), ведомственную телефонную сеть (ВС), систему радиосвязи (РС). Каждый оператор в зависимости от занятости может обслужить заявку независимо от того, через какую систему она поступила. Поскольку все системы имеют разный масштаб и обслуживают разный контингент пользователей, то интенсивность поступления заявок будет различной — $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Примем, что все операторы обладают одинаковыми способностями по обслуживанию поступающих заявок, но заявки из разных систем требуют разного среднего времени обслуживания — t_1, t_2, t_3 . В случае, когда все операторы заняты, заявки могут становиться в очередь, число мест для ТфОП и ВС — по одному месту (т.к. многие современные телефонные аппараты позволяют удерживать на линии звонок), в системе радиосвязи такую возможность рассматривать не будем, как редко встречающуюся на практике.

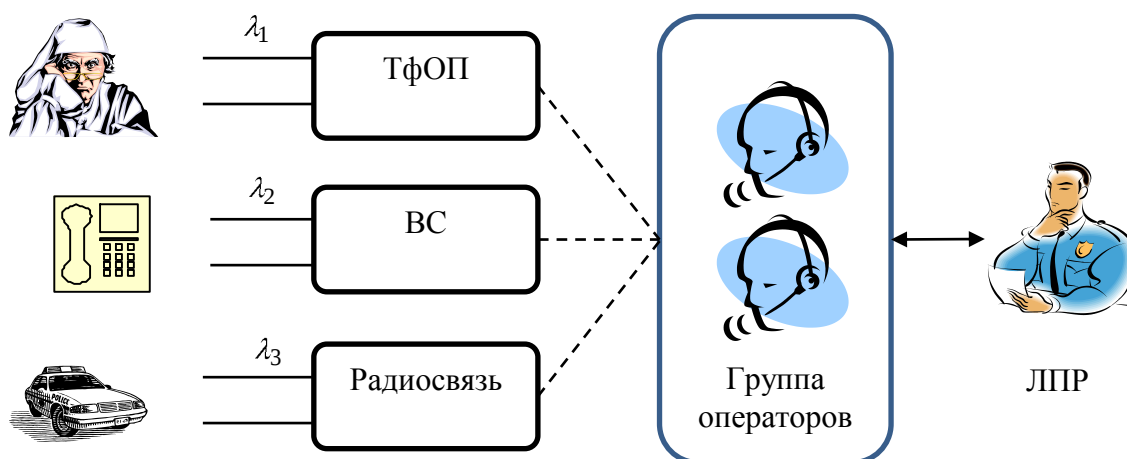


Рис. 1. Схема инфокоммуникаций на первом этапе:
ТфОП — телефонная сеть общего пользования, ВС — ведомственная сеть,
ЛПР — лицо, принимающее решение

Работа оператора будет заключаться в приеме входящих сообщений: если оператор свободен, то он принимает заявку, если занят — то заявку принимает второй оператор и т.д. Соответственно состояния операторов будут соответствовать состояниям рассматриваемой схемы инфокоммуникаций на первом этапе.

В этом случае можно сформулировать две постановки задачи:

1. Сколько необходимо операторов, исходя из значений λ_i и t_i для обслуживания заданного процента заявок от всего числа поступивших в центр.
2. Какими операционными характеристиками будут обладать инфокоммуникационные системы при заданных значениях λ_i , t_i и числе операторов.

Решение обеих задач можно осуществить, составив дифференциальные уравнения Эрланга для смешанной системы массового обслуживания, интегрирование которых позволяет определить вероятность нахождения системы в любой момент времени в определенном состоянии. После чего по рассчитанным вероятностям можно будет определить значения операционных характеристик. Другим возможным способом решения задачи является использование системы имитационного моделирования GPSS World [4]. Достоинством второго способа является достаточно простая адаптация моделей исследуемой системы при внесении изменений в её состав и структуру, в то время как число дифференциальных уравнений Эрланга зависит от числа состояний системы и резко увеличивается при рассмотрении, например, не одного оператора, а нескольких, что, конечно же, сказывается на временных и вычислительных затратах.

Решение.

Рассмотрение первого интервала работы ситуационного центра позволяет предложить следующие параметры поступления и обслуживания поступающих заявок:

- поток поступления равномерный заявок по каждой из рассматриваемых систем связи;
- интервал между прибытиями заявок через ТфОП составляет 60 с с разбросом ± 5 с; через ВС — 90 ± 10 с, через РС — 30 ± 5 с;
- время обслуживания заявок подчиняется равномерному распределению вероятностей;
- время обслуживания (ведения разговора) заявки, пришедшей через ТфОП, составляет 120 с с разбросом ± 20 с, через ВС — 90 ± 10 с, через РС — 15 ± 5 с;
- каждая заявка ожидает в очереди не более 20 с, если за это время она не будет обслужена, то она покидает очередь;
- время моделирования ограничим 1 часом.

Ниже приведена имитационная модель, разработанная в системе GPSS World, с необходимыми пояснениями, соответствующая описанным выше алгоритмам обработки поступающих заявок и параметрам.

* Моделирование инфокоммуникационной системы ситуационного центра ОВД

**Блок генерации заявок

```
generate 60,5           ; генерация заявок, поступающих через ТфОП
assign 1,1              ; присваиваем 1-му параметру заявки метку "1"
assign 2,20             ; присваиваем 2-му параметру значение "20"
transfer ,nachalo       ; поступление заявки к операторам

generate 90,10          ; генерация заявок, поступающих через ВС
assign 1,2              ; присваиваем 1-му параметру заявки метку "2"
assign 2,20             ; присваиваем 2-му параметру значение "20"
transfer ,nachalo       ; поступление заявки к операторам
```

```

generate 30,5          ;генерация заявок, поступающих через РС
assign 1,3             ; присваиваем 1-му параметру заявки метку "3"
transfer ,nachalo      ; поступление заявки к операторам

* установка длин очередей обслуживающих устройств
TFOP storage 1         ; длина очереди ТфОП
VC storage 1           ; длина очереди ВС

**Блок обработки заявок
*проверяем заявки на типы, далее на занятость оператора,
*потом на свободное место в очереди

nachalo test e p1,1,second ; проверка типа заявки (если пришла через
                        ; ТфОП, то переходим к следующему оператору,
                        ; иначе - переход к метке second)
        transfer all,a,b,4 ; переход заявки к оператору op1, если он за-
                        ; нят - то в очередь
a        seize op1         ; заявка обслуживается op1
        advance 120,20     ; время обслуживания заявки
        release op1        ; освобождение op1
        transfer ,ob       ; переход к метке ob
b        gate snf TFOP,neob ; проверка очереди TFOP, если мест нет, то
                        ; переход к метке neob
        enter TFOP         ; заявка становится в очередь ТфОП
nov      transfer all,c,d,5 ; переход заявки к оператору op1, если он за-
                        ; нят, то обращаемся к оператору в течение 20
                        ; секунд через цикл
c        seize op1         ; заявка обслуживается оператором op1
        leave TFOP         ; заявка покидает очередь ТфОП
        advance 120,20     ; время обслуживания заявки
        release op1        ; освобождение op1
        transfer ,ob_loop  ; переход заявки к метке ob_loop
d        advance 1         ; ожидание в очереди
        loop 2,nov         ; уменьшение второго параметра заявки на 1,
                        ; переход к метке nov
        leave TFOP        ; заявка покидает очередь ТфОП
        transfer ,neob_loop ; переход к метке neob_loop

second test e p1,2,third ; проверка типа заявки (если пришла через
                        ; ВС, то переходим к следующему оператору,
                        ; иначе - переход к метке third)
        transfer all,a2,b2,4 ; переход заявки к оператору op1, если он за-
                        ; нят - то в очередь
a2       seize op1         ; заявка обслуживается op1
        advance 90,10      ; время обслуживания заявки
        release op1        ; освобождение op1
        transfer ,ob       ; переход к метке ob
b2       gate snf VC,neob  ; проверка очереди VC, если мест нет, то
                        ; переход к метке neob
        enter VC          ; заявка становится в очередь ВС
nov2     transfer all,c2,d2,5 ; переход заявки к оператору op1, если он за-
                        ; нят, то обращаемся к оператору в течение 20
                        ; секунд через цикл
c2       seize op1         ; заявка обслуживается оператором op1
        leave VC          ; заявка покидает очередь ВС

```

```

        advance 90,10          ; время обслуживания заявки
        release op1            ; освобождение оператора op1
        transfer ,ob_loop      ; переход заявки к метке ob_loop
d2      advance 1              ; ожидание в очереди
        loop 2,nov2            ; уменьшение второго параметра заявки на 1,
                                ; переход к метке nov2
        leave VC               ; заявка покидает очередь VC
        transfer ,neob_loop    ; переход к метке neob_loop

*обслуживание заявок третьего типа
third transfer all,a3,neob,4   ; переход заявки к оператору op1, если он за-
                                ; нят - то переход к метке neob
a3      seize op1              ; заявка обслуживается оператором op1
        advance 15,5           ; время обслуживания заявки
        release op1            ; освобождение op1
        transfer ,ob           ; переход к метке ob
neob terminate                 ; удаление необработанной заявки, оператор
                                ; занят, мест в очереди нет
neob_loop terminate            ; удаление заявки находившейся более 20 сек в
                                ; очереди
ob terminate                   ; удаление обработанной заявки
ob_loop terminate              ; удаление заявки, находившейся в очереди, но
                                ; дождавшейся обработки

**Блок задания времени моделирования
generate 3600                  ; время моделирования 3600 сек
terminate 1                    ; уменьшение счётчика
start 1                         ; начало моделирования

```

Результаты моделирования с вычисленными значениями операционных характеристик указаны в таблице, где коэффициент обслуживания заявок показывает отношение числа обслуженных заявок к общему числу сгенерированных заявок, коэффициент загрузки оператора указывает долю модельного времени, в течение которого оператор был занят.

Добавление в СЦ одного оператора потребует лишь внесения небольших дополнений в блок обработки заявок, ниже указана лишь часть данного блока, касающаяся обработки заявок, пришедших через ТФОП:

```

nachalo test e p1,1,second     ; проверка типа заявки (если пришла через
                                ; ТФОП, то переходим к следующему оператору,
                                ; иначе - переход к метке second)
        transfer all,a,b,4      ; переход заявки к оператору op1, если он за-
                                ; нят - то к оператору op2, если он также за-
                                ; нят, то в очередь
a      seize op1                ; заявка обслуживается op1
        advance 120,20          ; время обслуживания заявки
        release op1             ; освобождение op1
        transfer ,ob            ; переход к метке ob
        seize op2               ; если оператор op1 занят, то заявка переходит
                                ; ко второму оператору op2
        advance 120,20          ; время обслуживания заявки
        release op2             ; освобождение op2
        transfer ,ob            ; переход к метке ob

b      gate snf TFOP,neob       ; проверка очереди TFOP, если мест нет, то
                                ; переход к метке neob

```

```

enter TFOP      ; заявка становится в очередь ТфОП
nov transfer all,c,d,5 ; переход заявки к оператору op1, если он за-
; нят, то обращаемся к оператору op2 , если он
; так же занят то повторяем обращения в тече-
; ние 20 секунд
c seize op1      ; заявка обслуживается оператором op1
leave TFOP      ; заявка покидает очередь ТфОП
advance 120,20   ; время обслуживания заявки
release op1      ; освобождение op1
transfer ,ob_loop ; переход заявки к метке ob_loop
seize op2        ; если оператор op1 занят, то заявка переходит
; ко второму оператору op2
leave TFOP      ; заявка покидает очередь ТфОП
advance 120,20   ; время обработки заявки вторым оператором
release op2      ; освобождение op2
transfer ,ob_loop ; переход к метке ob_loop

d advance 1      ; ожидание в очереди
loop 2,nov       ; уменьшение второго параметра заявки на 1,
; переход к метке nov
leave TFOP      ; заявка покидает очередь ТфОП
transfer ,neob_loop ; переход к метке neob_loop

```

Аналогичным образом дополняются остальные разделы блока обработки заявок, более того, внесение указанного типа дополнений позволяет промоделировать работу для большего числа операторов. Результаты моделирования работы ИКС ситуационного центра с двумя и тремя операторами указаны в таблице.

Результаты моделирования работы ИКС СЦ

Операторы	Коэффициент обслуживания заявок			Коэффициент загрузки оператора	Среднее время обработки одной заявки, с	Количество заявок, поставленных в очередь		Коэффициент загрузки очереди	
	ТфОП	ВС	РС			ТфОП	ВС	ТфОП	ВС
Заявки обслуживаются одним оператором									
ор1	0,44	0,1	0,03	0,968	102,53	52	38	0,227	0,199
Заявки обслуживаются двумя операторами									
ор1 ор2	0,64	0,59	0,13	0,948 0,938	85,29 91,26	43	33	0,169	0,129
Заявки обслуживаются тремя операторами									
ор1 ор2 ор3	0,93	0,92	0,21	0,940 0,933 0,925	80,595 90,733 87,597	42	28	0,107	0,068

Анализ полученных результатов показывает вполне очевидный факт: чем больше операторов задействовать для обработки заявок, тем больше заявок будет обслужи-

но, следовательно, тем большей информацией будет обладать ЛПР для принятия верного и своевременного решения. Однако имеется и не вполне очевидный факт: заявки, поступающие через РС, обладают наименьшим временем обслуживания, но имеют самый низкий коэффициент обслуживания! Объяснение этому можно дать лишь тем, что заявки, требующие длительного обслуживания, занимают операторов и не позволяют обрабатывать другие заявки. Следует отметить, что заявки от ВС и РС, с точки зрения достоверности передаваемой информации, имеют большую важность, по сравнению с заявками ТфОП, поскольку передаваемая сотрудниками ОВД информация заслуживает большего доверия. Следовательно, необходима разработка другого подхода к обслуживанию заявок, например путем назначения приоритета обслуживания [1].

Заключение.

Ситуационные центры органов внутренних дел используют различные инфокоммуникационные системы, позволяющие не только отслеживать состояние оперативной обстановки, но и принимать решения по управлению приданными силами и средствами. Рассмотренный в статье подход к использованию имитационных моделей для определения операционных характеристик ИКС СЦ как систем массового обслуживания позволяет принимать обоснованные решения по определению состава телекоммуникационного оборудования и способа организации обработки поступающей информации. Вариативность способов организации связи и электронного взаимодействия может быть использована для выбора наиболее оптимальных решений. Использование системы GPSS World и имитационное моделирование различных способов позволят объективно решить задачу выбора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пьянков О.В. Определение вероятностных характеристик технических средств связи центров ситуационного управления // Спецтехника и связь. — 2011. — №2. — С. 35—37.
2. Филатов Н.В., Конюхов А.В. Разработка архитектуры информационной системы в рамках аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» // Вестник Воронежского института МВД России. — 2011. — №4. — С. 88—93.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969. — 576 с.
4. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 320 с.

REFERENCES

1. Pyankov O.V. Opredelenie veroyatnostnykh harakteristik tehnikeskikh sredstv svyazi tsentrov situatsionnogo upravleniya // Spetstehnika i svyaz. — 2011. — № 2. — S. 35—37.
2. Filatov N.V., Konyuhov A.V. Razrabotka arhitekturyi informatsionnoy sistemyi v ramkah apparatno-programmnogo kompleksa «Bezopasnyi gorod» // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2011. — № 4. — S. 88—93.
3. Venttsel E.S. Teoriya veroyatnostey. — M.: Nauka, 1969. — 576 s.
4. Kudryavtsev E.M. GPSS World. Osnovyi imitatsionnogo modelirovaniya razlichnykh sistem. — M.: DMK Press, 2004. — 320 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пьянков Олег Викторович. Заместитель начальника кафедры инфокоммуникационных систем и технологий. Кандидат технических наук. Доцент.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: pyankovov@vimvd.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 200-52-33.

Филатов Николай Владимирович. Начальник Управления связи.

Департамент информационных технологий, связи и защиты информации МВД России.

E-mail: filatov.n@mail.ru

Россия, 119049, г. Москва, ул. Житная, 16. Тел. (495) 667-80-33.

Оськин Николай Николаевич. Главный специалист-эксперт Управления связи. Кандидат технических наук.

Департамент информационных технологий, связи и защиты информации МВД России.

E-mail: osn007@mail.ru

Россия, 119049, г. Москва, ул. Житная, 16. Тел. 8(495) 667-00-37.

Pyankov Oleg Victorovich. The deputy chief of chair of Infocommunication Systems and Technologies.

Candidate of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 200-52-33.

Filatov Nikolay Vladimirovich. Head of the Communications Agency.

Department of Information Technologies, Communications and Information Protection of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 119049, Moscow, Zhitnaya Str., 16. Tel. (495) 667-80-33.

Oskin Nikolay Nikolaevich. Chief Expert of the Communications Agency. Candidate of technical sciences.

Department of Information Technologies, Communication and Information Protection of the Ministry of the Interior of Russia .

Work address: Russia, 119049, Moscow, Zhitnaya Str., 16. Tel. 8(495) 667-00-37.

Ключевые слова: система массового обслуживания; имитационное моделирование; ситуационный центр.

Key words: queuing system; imitation modeling; situation center.

УДК 519.6

А.В. Мельников,
кандидат технических наук



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ L-КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОГЛАСОВАННОСТИ ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ

THE USING OF THE L-CRITERION FOR CONSISTENCY OF THE EXPERT GROUP DETERMING

Рассматриваются вопросы адаптации экспертных систем статистическими методами. Сформулирован L-критерий согласованности группы экспертов, получены численные результаты, подтверждающие сделанные предположения.

The issues of adaptation of expert systems using statistical methods are considered. L-criterion consistency of the expert group, obtained numerical results confirming the assumptions made is formulated.

Подбор группы экспертов является очень ответственным этапом технологии экспертизы, обеспечивающим получение надежных оценок характеристик исследуемых объектов. На сегодняшний день не существует регулярных методов подбора экспертов, наверняка обеспечивающих успех экспертизы [2, 4].

Существует опасность вовлечения в группу экспертов специалиста, обладающего «экспертной властью». Это может быть руководитель организации либо другое авторитетное лицо. В этом случае экспертные оценки могут оказаться статистически смещенными. Очевидно, необходимо корректировать результаты на всех этапах исследования, адаптируя комплексную оценку показателя качества к условиям реальной экспертизы.

Адаптация экспертной системы производится в несколько этапов: 1) нормировка векторов оценок экспертов с целью исключения влияния «добрых» или «злых» экспертов; 2) вычисление квазиоптимального вектора оценок усреднением по множеству экспертов; 3) вычисление метрик между квазиоптимальным вектором и векторами оценок экспертов; 4) исключение из состава группы нежелательных экспертов, не удовлетворяющих условию согласованности; 5) ортогонализация векторов оценок с целью выявления наиболее компетентных экспертов; 6) оптимизация системы оценок с применением метода L-проблемы моментов; 7) корректировка комплексного показателя качества. В рамках данной работы остановимся на некоторых из них.

Решение L-проблемы моментов. В работе [5] была выдвинута гипотеза об идеальном наблюдателе, согласно которой реальный вектор оценок i -го эксперта $z_i = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ имеет координаты

$$z_j = x_{IH,j} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_i n_{ij} = x_{IH,j} + n_{IH,j}, \quad (1)$$

где $x_{IH,j}$ — оценка j -го признака идеальным наблюдателем; $n_{IH,j}$ — нормально распределенная ошибка идеального наблюдателя (усредненная ошибка всех экспертов при оценивании j -го признака).

Поясним влияние случайной ошибки экспертизы упрощенно, на примере оценки двух признаков. Заменяем множество векторов оценок экспертов одним вектором z_i (рис.1), включающим вектор идеального наблюдателя и помеху оценивания

$$z_i = x_{IH} + n_{IH,i},$$

где $n_{IH,i}$ — случайная помеха, распределенная по нормальному закону с математическим ожиданием $M n_{IH,i}$, дисперсией $D n_{IH,i}$ и среднеквадратичным отклонением $\sigma_j = \sigma n_{IH,j}$:

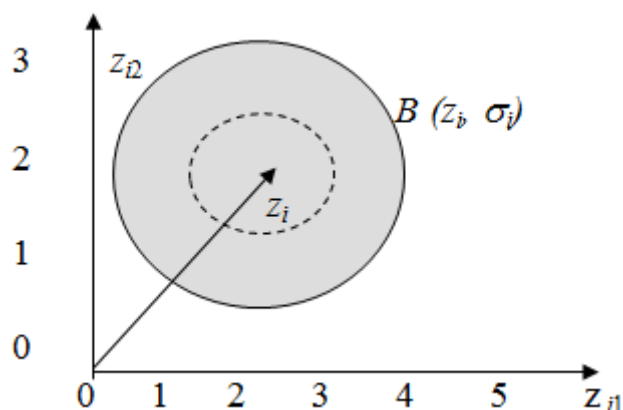


Рис. 1. Вектор z_i и шум наблюдений (оценок)

Для минимизации влияния противоречивых мнений экспертов, входящих в группу, необходимо «сузить» помеху, т.е. рассеяние значений случайного вектора z_i (радиус шара рассеяния на рисунке) должно быть минимально.

Предположение о возможности использования на практике понятия идеального наблюдателя не является призрачным. Действительно, в работах [1, 7] на основе ортогонализации векторов оценок было установлено, что уже при количестве экспертов, большем 7-10, вклад следующих экспертов в суммарную оценку ничтожен. Это объясняется тем, что оценки экспертов в согласованной группе достаточно сильно коррелированы.

Таким образом, при оценке возможности включения в группу нового эксперта нужно вычислять коэффициент корреляции вектора оценок этого эксперта с базовым

вектором, который обозначим $\tilde{Z}$. В качестве $\tilde{Z}$ можно выбрать либо вектор идеального наблюдателя Z_{IH} (при количестве экспертов, большем 7-10), либо вектор экспертизы $Z_{\ominus}$ при меньшем количестве экспертов.

Альтернативным путем избрания базового вектора $\tilde{Z}$ является нахождение вектора с минимальной нормой, удовлетворяющего ограничениям на коэффициенты корреляции с векторами оценок экспертов. Метод L -проблемы моментов позволяет найти этот вектор.

Переформулируем применительно к задаче экспертного оценивания задачу L -проблемы моментов [6, 7]. Пусть Z — нормированное линейное пространство, в котором имеется n линейно независимых векторов реальных оценок экспертов $Z_i = (z_1, z_2, \dots, z_n)$.

В данном случае L -проблема моментов заключается в нахождении на множестве векторов экспертных оценок Z линейного функционала $F(z)$ с минимальной нормой, удовлетворяющего условиям

$$F(z_i) = c_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad \sum_{i=1}^n c_i^2 > 0, \quad (2)$$

где c_i — заданные числа, которые называются моментами.

Определим алгоритм поиска функционала $F \in \widetilde{E_n}$ и упомянутого вектора z , в основных чертах следуя методике [6]. Выберем произвольный элемент пространства Z

$$z = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i, \quad \text{при} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i c_i = 1. \quad (3)$$

На основе результатов работы [7] уточним условия достижимости нормой вектора Z нижней грани. В первую очередь рассмотрим задачу в n -мерном евклидовом пространстве E_n и укажем множества в E_n , которые могут рассматриваться как достижимые множества.

Сопряженное (двойственное) пространство функционалов E_n^* имеет ту же размерность, что E_n [8], и существует единственный линейный функционал $F \in \widetilde{E_n^*}$ такой, что $F \lrcorner z_i = c_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, где c_i — заданные константы, а $z_1, z_2, \dots, z_n$ — базис в E_n .

Далее рассмотрим n -мерное подпространство G элементов Z вида $z = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i$.

В этом подпространстве вводим линейный функционал $\Phi(z) = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i$, имеющий норму

$$\|\Phi\|_G = \sup_{z \in G} \frac{|\Phi(z)|}{\|z\|} = \sup_{\lambda_i} \frac{\left| \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \right|}{\left\| \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \right\|} = \max_{\lambda_i} \frac{\left| \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \right|}{\left\| \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \right\|}.$$

Этот функционал можно продолжить с сохранением нормы на все множество экспертных оценок Z , основываясь на теореме Хана — Банаха [8]. Согласно этой тео-

реме существует такой функционал $F(z)$, что $\|F\|_Z = \|\Phi\|_G$ и $F(z) = \Phi(z)$ для $z \in G$ и, в частности, $F(z_i) = \Phi(z_i) = c_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Необходимо еще проверить, имеет ли построенный таким образом функционал минимальную норму среди всех линейных функционалов, для которых выполняются условия (2).

Доказано, что на множестве экспертных оценок Z существует линейный функционал $F(z)$, для которого выполняются условия (2) и который имеет минимальную норму:

$$\|F\| = \frac{1}{\min_{\sum_{i=1}^n c_i \lambda_i = 1} \left\| \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \right\|} = \max_{\lambda_i} \frac{\left| \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \right|}{\left\| \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \right\|}. \quad (4)$$

Полученная формула (4) предполагает использование для поиска функционала $F(z)$ методов поиска экстремума при ограничениях.

В работе Р. Куликовского [3] рассмотрен очень важный технический пример фильтрации сигналов на фоне белого шума в пространстве L_2 интегрируемых с квадратом сигналов. Как известно, общий вид линейного функционала в линейных пространствах со скалярным произведением записывается в форме

$$F(x) = \int_0^T g(t) x(t) dt \quad (5)$$

и в пространстве L_2 является интегралом, где $g(t)$ — переходная функция системы.

Значения c_i , которые этот функционал принимает для входов $x_i \in L_2$, характеризуют значения выходного сигнала в момент времени $t = T$. Тем самым, если задать входные сигналы x_i и моменты c_i , то из (4) можно определить функционал, который гарантирует минимальное значение выходных шумов при заданных выходных амплитудах c_i полезных сигналов.

Однако в теории экспертных систем в основном используется не пространство L_2 , а пространство векторов оценок экспертов. Поэтому аналогично упомянутой работе получим решение L -проблемы моментов для этого пространства. Условия (2), (3) примут вид

$$\|F\| = \max_{\lambda_i} \frac{\left| \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \right|}{\left\| \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \right\|} = \frac{\left| \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^* \right|}{\left\| \sum_{i=1}^n \lambda_i^* z_i \right\|} = \|g\|, \quad (6)$$

$$z_i = c_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

где λ_i^* — экстремальный элемент.

Чтобы получить функционал F , обеспечивающий минимальное значение ошибок экспертов при заданных откликах c_i векторов оценок экспертов, входящих в со-

гласованную группу, при условии $\sum_{i=1}^N c_i \lambda_i = 1$, можно применить известные методы аппроксимации в пространстве L_2 [7]. Полученный математический результат вполне подтверждает предположения, сделанные ранее при рассмотрении рис. 1.

L-критерий согласованности. Окончательно сформулируем критерий L-согласованности группы экспертов в следующем виде:

1. После вычисления и анализа корреляционной матрицы векторов оценок выявляются подгруппы экспертов, полностью удовлетворяющих условию согласованности ($k_{ij} > 0,6 - 0,7$) и не удовлетворяющих условию согласованности ($k_{ij} < 0,3$).

2. На основе этих оценок выбираются величины (моменты) c_i , для которых должны выполняться условия $\langle x_i \rangle = c_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, определяющие степень влияния i -го эксперта на общий результат экспертизы.

3. Решается L-проблема моментов (2) и находится вектор $\tilde{x}$ с минимальной нормой, удовлетворяющий наложенным ограничениям c_i .

4. При решении вопроса о целесообразности включения в группу нового эксперта определяется скалярное произведение его вектора оценки $x_{нов}$ и найденного на основе решения L-проблемы моментов вектора с минимальной нормой $\tilde{x}$.

5. Проводится сравнение величины $\langle x_{нов} \rangle$ с заданным порогом d , который задается администратором экспертного эксперимента. Если $\langle x_{нов} \rangle < d$ — принимается решение об отказе о включении данного эксперта в группу.

Нормировка векторов оценок экспертов. Пусть на предварительном этапе экспертизы одного из рассматриваемых товаров по 10 выбранным признакам группой из 7 экспертов получены следующие оценки (табл. 1).

Таблица 1

Векторы предварительных оценок признаков товара группой экспертов

Предварительные оценки признаков x_{ij}										
Эксперты	Номера признаков									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	5	4	3	4	5	3	5	4	2
2	1	5	5	4	4	5	3	5	4	2
3	3	5	3	4	4	5	3	5	4	2
4	0	3	2	1	2	3	3	2	3	1
5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	3
6	2	5	4	4	3	4	3	5	4	2
7	5	1	2	1	2	3	5	2	2	5
Вектор усредненных по группе экспертов оценок $\bar{x}_j$										
№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{x}_j$	2,42	4,14	3,57	3,00	3,42	4,28	3,57	4,14	3,57	2,42

Даже из беглого анализа полученных выше оценок видно, что в составе группы имеется «злой» 4-й эксперт и 7-й эксперт, дающий оценки, противоречащие оценкам остальной части группы.

Для устранения влияния «злого» эксперта осуществим нормировку полученных оценок по формуле

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\|x_i\|}. \quad (8)$$

На экранной форме «Нормировка» в левой части (рис. 2) приведены нормы векторов оценок экспертов $\|x_i\|$, а в правой — нормированные экспертные оценки.

Нормированные векторы оценок		Нормированные экспертные оценки										
Эксперт	Норма вектора оценки	№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12,2065556157337	1	0,163	0,409	0,327	0,245	0,327	0,409	0,245	0,409	0,327	0,163
2	12,7279220613579	2	0,078	0,392	0,392	0,314	0,314	0,392	0,235	0,392	0,314	0,157
3	12,4096736459909	3	0,241	0,402	0,241	0,322	0,322	0,402	0,241	0,402	0,322	0,161
4	7,07106781186548	4	0	0,424	0,282	0,141	0,282	0,424	0,424	0,282	0,424	0,141
5	14,3874945699382	5	0,278	0,347	0,347	0,278	0,347	0,347	0,347	0,347	0,278	0,208
6	11,8321595661992	6	0,169	0,422	0,338	0,338	0,253	0,338	0,253	0,422	0,338	0,169
7	10,0995049383621	7	0,495	0,099	0,198	0,099	0,198	0,297	0,495	0,198	0,198	0,495

Рис. 2. Нормированные оценки признаков

Как видим, после такой нормировки значения оценок 4-го эксперта уже имеют тот же порядок, что и оценки других экспертов (за исключением первого признака, по которому 4-й эксперт поставил оценку 0). В итоге сделанного преобразования оценки 4-го эксперта уже могут учитываться в средней суммарной оценке группы.

Как было установлено выше, для обеспечения согласованности группы экспертов целесообразно исключить 7-го эксперта из состава группы. Тогда нормированные оценки признаков для оставшихся 6 экспертов можно свести в следующую таблицу и вычислить квазиоптимальный (эталонный) вектор оценок, усреднив оценки по этой сокращенной группе экспертов (рис. 3).

В евклидовом пространстве вычислим метрику между нормированными векторами оценок i -го и l -го экспертов по формуле

$$\rho(\hat{x}_i, \hat{x}_l) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\hat{x}_{ij} - \hat{x}_{lj})^2}. \quad (9)$$

Например, метрическое расстояние между нормированными векторами оценок первого и второго, первого и пятого экспертов в данной задаче равны $\rho(\hat{x}_1, \hat{x}_2) = 0,132$; $\rho(\hat{x}_1, \hat{x}_5) = 0,203$.

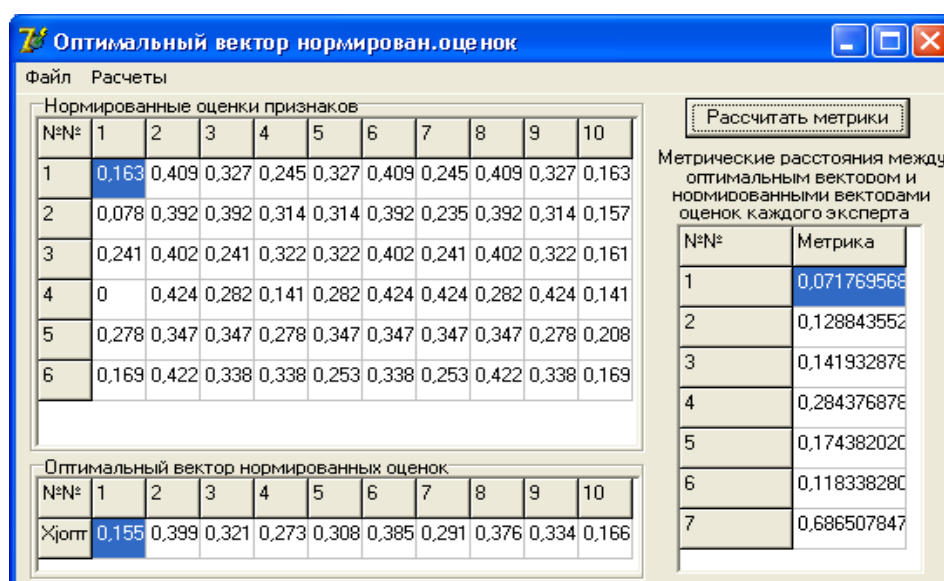


Рис. 3. Метрические расстояния между квазиоптимальным вектором и векторами оценок экспертов

Усреднив оценки каждого признака по всем 6 экспертам, получим квазиоптимальный вектор нормированных оценок с элементами $\bar{x}_j$. Вычислим метрические расстояния между квазиоптимальным вектором и векторами следующих экспертов (рис. 3, правая часть).

Как видим, расстояние нормированного вектора седьмого эксперта от квазиоптимального вектора оказывается существенно больше, чем соответствующие метрики для других экспертов. Очевидно, что даже после нормировки этот вектор никогда не попадет в ε -шар рассеяния с достаточно малым радиусом ε . Поэтому можно сделать вывод о необходимости исключения седьмого эксперта из группы.

Применение L-проблемы моментов. Известно [7 и др.], что одним из наиболее эффективных методов выделения полезного сигнала на выходе линейных систем обработки информации является вычисление скалярного произведения смеси сигнал/шум на некоторый опорный (эталонный) сигнал.

L-проблема моментов заключается [1] в нахождении на множестве векторов экспертных оценок Z линейного функционала $F(z)$ с минимальной нормой, удовлетворяющего условиям (2). Таким образом, первое слагаемое в формуле (2) при использовании адаптации согласно методу L-проблемы моментов может быть выбрано равным заданному числу (моменту) C_i , например 0,8—1,0, а второе слагаемое согласно [8] имеет оценку

$$|F, n_i| \leq \|F\| \cdot \|n_i\| \quad (10)$$

и поэтому зависит от нормы функционала $\|F\|$. Физический смысл этой нормы — среднеквадратичное отклонение помехи наблюдения. Следовательно, поиск функционала с минимальной нормой имеет ясно выраженную цель — минимизацию помех наблюдений отдельных экспертов.

В табл. 2 приведены результаты решения L-проблемы моментов для следующих условий. Учитываются оценки всех семи экспертов, однако для экспертов, входящих в

согласованную часть группы, моменты C_i выбраны в пределах 0,8—1,0, а для нежелательного эксперта момент C_7 выбран равным 0,1.

Таблица 2

Векторы оценок экспертов

Эксперты	Признаки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,164	0,41	0,328	0,246	0,328	0,41	0,246	0,41	0,328	0,164
2	0,079	0,283	0,383	0,314	0,314	0,383	0,236	0,393	0,314	0,157
3	0,242	0,403	0,242	0,322	0,322	0,403	0,242	0,403	0,322	0,161
4	0	0,424	0,283	0,141	0,283	0,424	0,424	0,283	0,424	0,141
5	0,278	0,348	0,348	0,278	0,348	0,348	0,348	0,348	0,278	0,209
6	0,169	0,423	0,338	0,308	0,254	0,308	0,254	0,423	0,308	0,169
7	0,495	0,299	0,198	0,099	0,198	0,297	0,495	0,198	0,196	0,495

Итогом расчетов является определение вектора с минимальной нормой $V = [0,064 \ 0,114 \ 0,074 \ -0,165 \ 0,075 \ -0,029 \ -0,038 \ 0,104 \ 0,014 \ -0,089]$, (11) обеспечивающего заданную величину моментов, т.е. откликов полезных экспертов при подавлении отклика нежелательного эксперта. Полученная минимальная норма равняется 0,277, что обеспечивает значительное снижение помехи наблюдения.

Таблица 3

Зависимость нормы функционала от размерности пространства

Размерность	2	3	4	5	6	7
Норма	0,718	0,396	0,325	0,297	0,289	0,277

Итак, решение задачи оптимизации с помощью метода L -проблемы моментов состоит в поиске вектора с минимальной нормой, для которого выполняются ограничения в виде совокупности моментов C_i . С увеличением количества экспертов n достижимая минимальная норма существенно снижается (табл. 3).

Предложенный L -критерий дает более надежные результаты, чем использование предварительной оценки на основе анализа корреляционной матрицы, поскольку учитывает мнение всех экспертов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин С.А. Экспертно-статистические методы оценки характеристик радиотехнических приборов и устройств: дис. ... канд. техн. наук: специальность 05.13.18 / С.А. Бабкин. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2008. — 148 с.
2. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. — М.: Статистика, 1980. — 325 с.
3. Куликовский Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системах автоматического регулирования: пер. с польск. / под ред. А.Г. Бутковского. — М.: Наука, 1967. — 379 с.
4. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. — М.: Радио и связь, 1982. — 184 с.

5. Навоев В.В. Экспертно-статистический метод оценки характеристик информационно-измерительных систем: дис. ... канд. техн. наук.: специальность 05.13.18 / В.В. Навоев. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2003. — 164 с.
6. Современная теория систем управления: пер. с англ. / под ред. К.Т. Леондеса. — М.: Наука, 1970. — 512 с.
7. Темнышов А.А. Математическое моделирование адаптивных экспертных систем статистической обработки информации: дис. ...канд. техн. наук.: специальность 05.13.01/ А.А. Темнышов. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2010. — 162 с.
8. Треногин В.А. Функциональный анализ: учеб. пособие / В.А. Треногин. — М.: Наука, 1980. — 495 с.

REFERENCES

1. Babkin S.A. Ekspertno-statisticheskie metodyi otsenki harakteristik radiotekhnicheskikh priborov i ustroystv: dis. ... kand. tehn. nauk: spetsialnost 05.13.18 / S.A. Babkin. — Voronezh: Voronezhskiy institut MVD Rossii, 2008. — 148 s.
2. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Matematiko-statisticheskie metodyi ekspertnykh otsenok. — M.: Statistika, 1980. — 325 s.
3. Kulikovskiy R. Optimalnyie i adaptivnyie protsessyi v sistemah avtomaticheskogo regulirovaniya: per. s polsk. / pod red. A.G. Butkovskogo. — M.: Nauka, 1967. — 379 s.
4. Litvak B.G. Ekspertnaya informatsiya: metodyi polucheniya i analiza. — M.: Radio i svyaz, 1982. — 184 s.
5. Navoev V.V. Ekspertno-statisticheskiy metod otsenki harakteristik informatsionno-izmeritelnykh sistem: dis. ... kand. tehn. nauk.: spetsialnost 05.13.18 / V.V. Navoev. — Voronezh: Voronezhskiy institut MVD Rossii, 2003. — 164 s.
6. Sovremennaya teoriya sistem upravleniya: per. s angl. / pod red. K.T. Leondesa. — M.: Nauka, 1970. — 512 s.
7. Temnyishov A.A. Matematicheskoe modelirovanie adaptivnykh ekspertnykh sistem statisticheskoy obrabotki informatsii: dis. ...kand. tehn. nauk.: spetsialnost 05.13.01/ A.A. Temnyishov. — Voronezh: Voronezhskiy institut MVD Rossii, 2010. — 162 s.
8. Trenogin V.A. Funktsionalnyi analiz: ucheb. posobie / V.A. Trenogin. — M.: Nauka, 1980. — 495 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Мельников Александр Владимирович. Старший преподаватель кафедры огневой подготовки. Кандидат технических наук.
Воронежский институт МВД России.
mel78@mail.ru
Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 2623-397.

Melnikov Alexander Vladimirovich. Senior lecturer of the chair of range practice.
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia. Candidate of technical sciences.
Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 2623-397.

Ключевые слова: адаптация экспертной системы; согласованность группы экспертов; L-критерий согласованности группы экспертов.

Key words: adaptation of the expert system; the consistency of the expert group; the L-criterion of consistency of the expert group.

УДК 004.891



А.В. Меньших,
ФГБОУ ВПО Воронежский институт
ГПС МЧС России



С.Н. Тростянский,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО Воронежский институт
ГПС МЧС России

МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

THE MODEL AND NUMERICAL METHOD FOR OPTIMIZING THE SELECTION OF MEASURES ELIMINATING THE THREAT OF SAFETY

Разрабатывается модель оптимизации выбора мер безопасности и численный метод, основанный на использовании общей схемы метода ветвей и границ.

A model of optimizing the choice of actions to minimize the threats of danger and the numerical method based on the use of the general scheme of the branch-and-bound method is developed.

Введение. Принятие управленческих решений при осуществлении аналитической работы в силовых ведомствах, как правило, направлено на противодействие тем или иным угрозам безопасности граждан, охраняемых объектов или государства в целом, угрозам возникновения чрезвычайных ситуаций и заключается в выборе мер устранения этих угроз. Состав и содержание угроз и мер определяется областью ответственности данных ведомств. Применение каждой меры требует определённых материальных затрат, отказ от применения меры или её несвоевременное применение может привести к значительным материальным потерям и даже гибели людей [1, 2].

Поэтому актуальной является задача выбора управленческих решений на применение конкретных мер устранения угроз безопасности в условиях ограничения на ресурс выделяемых для этой цели средств. Однако в процессе решения данной задачи возникает целый ряд проблем.

1) Оценка возможности возникновения угроз безопасности достаточно часто основана на статистической обработке данных, результаты которой могут быть определены только с некоторой погрешностью (примером служат методы обработки данных

пожарной статистики, описанные в [3 — 5]). Поэтому выбор мер осуществляется в условиях различной вероятности возникновения угроз безопасности.

2) Для противодействия одной и той же угрозе безопасности могут быть применены различные меры с различной вероятностью успеха, стоимость реализации которых различается.

3) Одна и та же мера может быть направлена на устранение различных угроз безопасности.

Указанные обстоятельства приводят к значительному увеличению сложности задачи выбора мер устранения угроз безопасности, которая в силу своей природы должна решаться за ограниченное время. В связи с этим возникает необходимость разработки модели оптимизации выбора мер и разработки численного метода, который позволял бы находить либо точное решение, либо приближенное решение за требуемое время. Настоящая работа посвящена решению указанных задач.

1. Формализация и построение модели оптимизации выбора мер устранения угроз безопасности. Рассмотрим множество $U = u^1, u^2, \dots, u^s$ — угроз безопасности. Обозначим

f^i — оценку возможного ущерба при реализации угрозы u^i ,

p^i — оценку возможности (вероятности) реализации угрозы u^i .

Будем считать известным множество $M = m_1, m_2, \dots, m_n$ мер по устранению угроз безопасности. Обозначим

c_j — оценку стоимости реализации меры m_j ,

w_j^i — оценку возможности (вероятности) устранения угрозы u^i в случае реализации меры m_j .

Рассмотрим влияние принятия меры m_j на оценку возможного ущерба от реализации угрозы безопасности u^i . Если мера не принята, то возможный ущерб от реализации угрозы u^i составит величину $f^i p^i$, а если принята, то величину $f^i p^i \prod_{j \in 1, \dots, n} w_j^i$.

Введём переменные

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если мера } m_j \text{ принята,} \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases}$$

Тогда, как подтверждается непосредственной проверкой, оценка возможного ущерба от реализации угрозы u^i описывается выражением $f^i p^i \prod_{j \in 1, \dots, n} w_j^i x_j$.

Одна и та же мера может приводить к устранению нескольких угроз, и одна и та же угроза может устраняться с помощью различных мер. Поэтому оценка возможного ущерба от реализации угрозы u^i в случае реализации всех принятых мер составляет $\min_{j \in 1, \dots, n} f^i p^i \prod_{j \in 1, \dots, n} w_j^i x_j$, а общий возможный ущерб от реализации всех угроз составляет

$$\sum_{i=1}^s \left(\min_{j \in 1, \dots, n} f^i p^i \prod_{j \in 1, \dots, n} w_j^i x_j \right). \quad (1)$$

Суммарные затраты на реализацию всех мер

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j. \quad (2)$$

При осуществлении аналитической работы по принятию управленческих решений, направленных на противодействие угрозам безопасности, требуется выбрать такие меры, которые обеспечили бы минимизацию возможного ущерба от реализации угроз на основе существующего ресурса средств $\mathcal{E}$. Кроме того, может быть задано предельно допустимое значение возможного ущерба $\mathcal{F}$.

Обозначим $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$. Тогда модель оптимизации выбора мер безопасности имеет вид:

$$\text{найти } X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle = \text{Arg min} \left(\sum_{i=1}^s \left(\min_{j \in 1..n} f^i p^i \langle 1 - w_j^i x_j \rangle \right) \right) \quad (3)$$

$$\text{при ограничениях } \sum_{j=1}^n \langle 1 - w_j^i x_j \rangle \leq \mathcal{E}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^s \left(\min_{j \in 1..n} f^i p^i \langle 1 - w_j^i x_j \rangle \right) \leq \mathcal{F}. \quad (5)$$

2. Выбор численного метода решения задачи. Модель (3)—(5) представляет собой задачу нелинейного булева программирования [6]. Все известные точные численные методы решения таких задач содержат явный или неявный ограниченный перебор возможных вариантов и заранее оценить количество оцениваемых вариантов, а, следовательно, время решения всей задачи не представляется возможным. Поэтому при большой размерности задачи нельзя гарантировать, что её решение может быть получено за приемлемое время.

В этом случае для нахождения численного решения задачи целесообразно использовать общую схему метода ветвей и границ [7]. Этот метод в среднем требует большего времени реализации, чем другие методы (например, чем метод динамического программирования), но в отличие от других методов позволяет на первом шаге получить приближённое решение, которое на последующих шагах только улучшается. Поэтому, если лимит времени на решение задачи исчерпан, то всегда можно ограничиться приближённым решением.

Все известные модификации метода ветвей и границ различаются способом построения дерева частичных решений, способами оценок частичных решений и способом обхода вершин дерева частичных решений. Разработаем новую модификацию метода, позволяющего решать рассматриваемую задачу. При этом ограничимся только описанием указанных способов, считая известной общую схему метода ветвей и границ [7].

3. Способ построения дерева частичных решений. В качестве частичных решений будем рассматривать множества возможных решений

$$A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} = \langle \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, \omega_{k+1}, \omega_{k+2}, \dots, \omega_n \rangle,$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ — определённые значения переменных $x_1, x_2, \dots, x_k$,

$\omega_{k+1}, \omega_{k+2}, \dots, \omega_n$ — неопределённые значения переменных $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$.

Дерево решений будем строить следующим образом:

вершиной дерева является $A = \langle \sigma_1, \omega_2, \dots, \omega_n \rangle$ — множество всех возможных вариантов значений переменных $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$;

непосредственными потомками вершины являются множества A_1 и A_0 ;

для произвольной вершины дерева решений $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$ непосредственными потомками являются $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 1}$ и $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 0}$.

Переход от вершины к её непосредственному потомку будем называть спуском по дереву решений, а к непосредственному предку — подъёмом по дереву решений.

При спуске по дереву решений мощность множества решений, соответствующих вершинам дерева, уменьшается и концевые вершины дерева содержат всего одно решение.

Полнота охвата всего множества вариантов и непротиворечивость построения определяются следующим очевидным свойством:

$$A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} = A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 1} \cup A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 0}.$$

4. Способы оценок частичных решений. Для каждого частичного решения необходимо определить их оценки по каждому показателю — ущерб от реализации угроз и стоимости мер безопасности.

Поскольку задача предполагает минимизацию ущерба, то в соответствии с общей схемой метода ветвей и границ соответствующая оценка должна быть нижней оценкой на данном множестве, монотонно возрастающей при спуске по дереву решений оценкой.

Утверждение 1. Выражение

$$F_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} = \sum_{i=1}^s \left(\min \left(\min_{j \in 1, \dots, k} f^i p^i \mathbb{1} - w_j^i \sigma_j, \min_{j \in k+1, \dots, n} f^i p^i \mathbb{1} - w_j^i \right) \right) \quad (6)$$

является нижней достижимой и монотонно возрастающей оценкой возможного ущерба для всех вариантов множества $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$.

Доказательство. Данное выражение соответствует оценке (1) для вектора решений $X = \langle \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 1, 1, \dots, 1 \rangle$. Поскольку каждое значение $x_j = 1$ не увеличивает значения выражения (1) (это соответствует тому, что принятие каждой меры не может увеличить общий ущерб), то оценка (6) является нижней оценкой.

Достижимость оценки определяется тем, что она соответствует множеству $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 1, 1, \dots, 1} \subseteq A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$.

Монотонность следует из того, что $F_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} \leq F_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, \sigma_{k+1}}$. Действительно, т. к. $\sigma_{k+1} \leq 1$, то

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^s \left(\min \left(\min_{j \in 1, \dots, k} f^i p^i \mathbb{1} - w_j^i \sigma_j, f^i p^i \mathbb{1} - w_{k+1}^i \sigma_{k+1}, \min_{j \in k+2, \dots, n} f^i p^i \mathbb{1} - w_j^i \right) \right) \leq \\ & \sum_{i=1}^s \left(\min \left(\min_{j \in 1, \dots, k} f^i p^i \mathbb{1} - w_j^i \sigma_j, f^i p^i \mathbb{1} - w_{k+1}^i, \min_{j \in k+2, \dots, n} f^i p^i \mathbb{1} - w_j^i \right) \right). \end{aligned}$$

Для решения задачи (3)—(5) доопределим классическую схему метода ветвей и границ возможностью проверки ограничений (4) и (5). Так как эти ограничения предполагают, чтобы оценки стоимости мер безопасности и возможного ущерба не превышали порогового значения, то оценки также должны быть нижними и монотонно возрастающими при спуске по дереву решений. Для оценки возможного ущерба такая оценка уже получена выше. Найдём оценку стоимости мер безопасности.

Утверждение 2. Выражение

$$C_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} = \sum_{j=1}^k c_j \sigma_j \quad (7)$$

является нижней достижимой и монотонно возрастающей оценкой стоимости мер безопасности для всех вариантов множества $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$.

Доказательство. Данное выражение соответствует оценке (2) для вектора решений $X = \langle \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 0, 0, \dots, 0 \rangle$. Поскольку каждое значение $x_j = 0$ не увеличивает значения выражения (2) (это соответствует тому, что непринятие новых мер не может увеличить общую стоимость их реализации), то оценка (7) является нижней оценкой.

Достижимость оценки определяется тем, что она соответствует множеству $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, 0, 0, \dots, 0} \subseteq A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$.

Монотонность следует из того, что $C_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} \leq C_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, \sigma_{k+1}}$. Действительно, т. к. $\sigma_{k+1} \geq 0$, то $\sum_{j=1}^k a_j \sigma_j \leq \sum_{j=1}^k a_j \sigma_j + c_{k+1} \sigma_{k+1}$.

5. Способ обхода дерева частичных решений. В процессе обхода для каждой вершины $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$ осуществляется проверка допустимости решения по формулам

$$C_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} \leq \bar{C}, \quad (8)$$

$$F_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} \leq \bar{F}. \quad (9)$$

Если хотя бы одно из условий (8) и (9) не выполняется, то для всех потомков этой вершины оно также не будет выполняться, поскольку эти оценки монотонно возрастают при спуске по дереву решений в силу утверждений 1 и 2. Это означает, что для множества вариантов, соответствующего вершине $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$, стоимость мер безопасности уже превысила выделенный ресурс или потенциальный ущерб от угроз безопасности превысил предельное значение.

На первом шаге находится начальное решение.

Обход начинается с вершины $A = \langle \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n \rangle$. Осуществляется спуск по дереву решений до тех пор, пока выполнены условия (8) и (9). В случае невыполнения хотя бы одного из этих условий осуществляется подъём на один уровень и спуск продолжается, начиная с ещё не пройденной вершины — непосредственного потомка.

Первый шаг заканчивается, когда будет достигнута конечная вершина или если окажется, что ни одна конечная вершина не может быть достигнута. В последнем случае задача (3)—(5) не имеет решения.

Если конечная вершина достигнута, то соответствующее ей решение $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n}$ является начальным приближённым решением задачи. Назовём данную вершину рекордной, а соответствующую этой вершине оценку ущерба от реализации угроз безопасности

$$L = \sum_{i=1}^s \left(\min_{j \in 1..n} f^i p^i \langle 1 - w_j^i \sigma_j \rangle \right) \text{ — временным рекордом.}$$

На втором шаге и последующих шагах осуществляется улучшение начального решения. В целом эти шаги повторяют первый шаг за исключением следующего:

- 1) обход начинается с непосредственного предка последней рекордной вершины;
- 2) после подъёма спуск продолжается только по не пройденным на предыдущих шагах вершинам;

3) кроме условий (8) и (9) для каждой вершины $A_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k}$ дополнительно проверяется условие

$$F_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k} = \sum_{i=1}^s \left(\min_{j \in 1, \dots, k} \left(f^i p^i - w_j^i \sigma_j \right), \min_{j \in k+1, \dots, n} \left(f^i p^i - w_j^i \right) \right) \leq L. \quad (10)$$

Если условие (10) не выполняется, то для всех потомков этой вершины оно также не будет выполняться, поскольку оценка (6) монотонно возрастает при спуске по дереву решений в силу утверждения 1. Это означает, что ущерб от угроз безопасности для всех вариантов решения задачи, соответствующих этим вершинам, будет больше, чем для уже найденного рекордного решения. Поэтому дальнейший спуск по дереву решений является бесперспективным, осуществляется подъём на один уровень.

Выполнение алгоритма решения задачи заканчивается, когда на очередном шаге не удастся достичь конечной вершины. В этом случае последняя рекордная вершина соответствует точному решению задачи.

Если в процессе решения задачи будет исчерпан лимит времени на её решение, то последнюю рекордную вершину следует рассматривать в качестве приближённого решения.

Заключение. Для практического использования разработанных модели и численного метода необходимы оценки параметров модели, т. е. стоимости ущерба от угроз безопасности, вероятности их возникновения и оценок возможности устранения угроз с помощью принимаемых мер. Значения указанных показателей, применительно к задачам, решаемым в государственной противопожарной службе, частично в явном или неявном виде содержатся в данных пожарной статистики и могут быть найдены с помощью существующих методов [3—5, 8].

Если в процессе решения задачи окажется, что задача (3)—(5) не имеет решения, то следует либо увеличить объём финансирования существующих мер безопасности $\bar{C}$, либо использовать другие потенциально допустимые меры. Предложенная модель может использоваться при разработке систем поддержки принятия управленческих решений в силовых ведомствах, осуществляющих противодействие угрозам безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. — М.: Лаборатория базовых знаний, 2013. — 288 с.
2. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. — М.: МИПБ МВД РФ, «Юникс», 1998. — 255 с.
3. Меньших А.В. Моделирование структуры временных рядов пожарной статистики // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — № 4. — С. 97—103.
4. Меньших А.В., Тростянский С.Н. Исследование взаимосвязи показателей пожарной статистики / Вестник Воронежского института МВД России. — 2013. — № 1. — С. 48—53.
5. Меньших А.В., Тростянский С.Н. Оценка параметров систем одновременных уравнений в моделях пожарной статистики // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2013. — № 3(8). С. 37—40.
6. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование / под ред. Д.Б. Юдина. — М.: Наука, 1969. — 368 с.
7. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. — М.: Энергия, 1980. — 424 с.
8. Тростянский С.Н., Шуткин А.Н., Бакаева Г.А. Экономический подход к прогнозированию пожарных рисков на объектах различных форм собственности // Вест-

ник Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2011. — №1. — С.27—29.

REFERENCES

1. Yamalov I.U. Modelirovanie protsessov upravleniya i prinyatiya resheniy v usloviyah chrezvychaynykh situatsiy. — M.: Laboratoriya bazovykh znaniy, 2013. — 288 s.
2. Brushlinskiy N.N. Sistemnyy analiz deyatel'nosti Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby. — M.: MIPB MVD RF, «Yuniks», 1998. — 255 s.
3. Menshih A.V. Modelirovanie strukturyi vremennykh ryadov pozhar'noy statistiki // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2012. — № 4. — S. 97—103.
4. Menshih A.V., Trostyanskiy S.N. Issledovanie vzaimosvyazi pokazateley po-zhar'noy statistiki / Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2013. — № 1. — S. 48—53.
5. Menshih A.V., Trostyanskiy S.N. Otsenka parametrov sistem odnovremennykh uravneniy v modelyakh pozhar'noy statistiki // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. — 2013. — № 3(8). S. 37—40.
6. Korbut A.A., Finkelshteyn Yu.Yu. Diskretnoe programmirovaniye / pod red. D.B. Yudina. — M.: Nauka, 1969. — 368 s.
7. Korshunov Yu.M. Matematicheskie osnovy kibernetiki. — M.: Energiya, 1980. — 424 s.
8. Trostyanskiy S.N., Shutkin A.N., Bakaeva G.A. Ekonomicheskiy podhod k prognozirovaniyu pozhar'nykh riskov na ob'ektakh razlichnykh form sobstvennosti // Vestnik Voronezhskogo instituta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. — 2011. — № 1. — S. 27—29.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Меньших Анастасия Валерьевна. Преподаватель кафедры прикладной математики и инженерной графики.

Воронежский институт ГПС МЧС России.

E-mail: asy90@yandex.ru

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231, Тел. (473) 2363-305.

Тростянский Сергей Николаевич. Профессор кафедры физики. Доктор технических наук, доцент. Воронежский институт ГПС МЧС России.

Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231, Тел. (473) 2363-305.

Menshih Anastasiya Valeryevna. The lecturer of the chair of Applied Mathematics and Descriptive Geometry.

Voronezh Institute of State Firefighting Service at the Ministry of Emergency Situation of Russia.

Work address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 231. Tel. (473) 236-33-05.

Trostyanskiy Sergey Nikolaevich. Professor of the chair of Physics. Doctor of technical sciences, assistant professor.

Voronezh Institute of State Firefighting Service at the Ministry of Emergency Situation of Russia.

Work address: Russia, 394052, Voronezh, Krasnoznamennaya Str., 231. Tel. (473) 236-33-05.

Ключевые слова: меры безопасности; оптимизация выбора мер; метод ветвей и границ.

Key words: threats of danger; measures to eliminate the dangers of fire safety; optimizing the selection of measures; the branch and bound method.

УДК 519.25



М. Аюад,
Тамбовский
государственный
технический университет



Ю.В. Минин,
кандидат технических
наук, доцент, Тамбовский
государственный
технический университет



Ю.Ю. Громов,
доктор технических наук,
профессор, Тамбовский
государственный
технический университет

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ

MODEL OF ALLOCATION OF RESOURCES IN NETWORK INFORMATION STRUCTURES

Предлагается подход к построению математической модели выбора и распределения ресурсов в сетевых информационных структурах, позволяющей повысить их качество функционирования.

The approach to constructing mathematical models of choice and allocation of resources in information structures, enabling them to improve the quality of functioning is proposed.

В настоящее время происходит интенсивное развитие и совершенствование информационных систем и процессов, проводящее к усложнению сетевых информационных структур (СИС) [1]. Массовое использование СИС потребовало решения вопросов повышения качества их функционирования на каждом этапе жизненного цикла [2]. Одной из задач разработки СИС является задача выбора и распределения ресурсов.

При разработке общей математической модели выбора и распределения ресурсов ИС (задача А), в качестве исходной будем использовать модель

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_s\} \rightarrow \text{opt} \\ \text{Ц: } f_k \leq 0; k = \overline{1, k} \\ d = \|d_{ij}\|, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m} \quad (1)$$

где $Q \in \mathbb{R}^n$ — вектор частных критериев качества, $q_m \in \mathbb{R}^m$, $m=1, \dots, s$ — ресурсного распределения, Φ — область допустимых решений.

В этой модели ранее не учитывался тот факт, что ЛПР в рамках реализации общего ресурсного процесса (задача А), помимо процедур синтеза, т.е. непосредственного выбора (задача В) и распределения ресурсов (задача Р), требует осуществлять и анализ функционирования системы. На сегодняшний день такие вопросы полностью выпадают из сферы действия ЛПР.

Все это предопределило при решении общей ресурсной задачи А выделение двух иерархических и взаимосвязанных уровней, обеспечивающих жизненный цикл СИС. На первом уровне необходимо реализовать выбор и распределение ресурсов для синтезируемой системы. Второй же уровень требует анализа ресурсного взаимодействия СИС и используется для того, чтобы ЛПР могло уточнить (оптимизировать) качество предшествующего выбора и распределения ресурсов с позиций динамики функционирования объекта (например, выбор в условиях замещения, ситуационного управления и т.п.). На этом уровне возникают вопросы, связанные с ресурсным конфликтом СИС и их подсистем (задача К). Заметим, что задача К может возникнуть и на первом уровне среди элементов системных категорий, т.е. конфликт целей, критериев, стратегий и т. п.

Указанные выше особенности реализации выбора и распределения ресурсов определяют и круг присущих данной задаче А проблем, которые должны решаться комплексно в рамках единой оптимизационной модели.

Заметим, что, если в решении РЗ на этапе синтеза СИС варьируемыми параметрами являются элементы матрицы ресурсов d , то на этапе функционирования ЛПР на основе анализа ресурсного взаимодействия СИС вводит дополнительные варьируемые параметры $z = \{z_1, \dots, z_n\}$, использование которых позволяет ему получать оценки качества ресурсного распределения. Это связано с тем, что ЛПР на этапе синтеза СИС не может воспользоваться «в чистом виде» динамическими характеристиками СИС, так как для этого ему требуется произвести анализ функционирования объекта.

Учитывая это, далее вместо модели (1) построим две частные модели (проведем соответствующую декомпозицию), которые условно назовем статической и динамической и посредством реализации которых будет формироваться множество допустимых решений общей ресурсной задачи А. При этом, согласно рассматриваемому здесь подходу модель на этапе синтеза СИС будет являться как бы «вложенной» в модель на этапе функционирования СИС, другими словами, динамические состояния системы будут формироваться на основе полученных ранее статических ее состояний. Для реализации этой особенности из всего множества ограничений $F = \{f_1, \dots, f_k\}$, применяемых при выборе и распределении ресурсов СИС, выделим ограничения, которые зависят только от $F^c = \{f^c(d), d \in \Phi\}$; а также ограничения, которые зависят и от d и от z , $F^d = \{f^d(d, z), d, z \in \Phi\}$.

Тогда $F = F^c \cup F^d$, $F^c \cap F^d = \emptyset$. Те же самые действия выполним для всего множества критериев оптимизации общей ресурсной задачи $\{q\} = \{q^c\} \cup \{q^d\} = \{q^c \mid q^c(d), d \in \Phi\}, \{q^d\} = \{q^d \mid q^d(d, z), d, z \in \Phi\}$.

Такая декомпозиция проводится ЛПР условно и определяется субъективным примером реализуемого им процесса формализации задачи. При этом из Φ всегда

можно выделить следующие подобласти Φ^c : $f_{k_1}^c(d) \leq 0$, $k_1=1, K_1$ (где K_1 — количество ограничений из множества F^c); и Φ^d : $f_{k_2}^d(d, z) \leq 0$, $k_2=1, K_2$ (где K_2 — количество ограничений из множества F^d), $\Phi = \Phi^c \cup \Phi^d$ и $\Phi^c \cap \Phi^d = \emptyset$.

Тогда математическая модель общей ресурсной задачи А, состоящая из совокупности двух частных моделей, обеспечивающих жизненный цикл СИС, можно будет представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \bar{q}^c \text{ и } \bar{q}^d \xrightarrow{d, z \in \Pi} \text{Opt}, \\ \Pi &= \Pi^c \cup \Pi^d \text{ и } \Pi^c \cap \Pi^d = \emptyset, \\ \bar{q}^c &= q_1^c, \dots, q_{s_1}^c \xrightarrow{d, z \in \Pi^c} \text{Opt}, \\ \Pi^c &: f_{k_1}^c \leq 0, f_{k_1}^c \in F^c, k_1 = \overline{1, K_1}; \\ \Pi^c &= \bigcup_{k_1=1}^{K_1} \Pi_{k_1}^c; \bigcap_{k_1=1}^{K_1} \Pi_{k_1}^c \neq \emptyset; \\ \bar{q}^d \text{ и } \bar{z} &= q_1^d, z, \dots, q_{s_2}^d, z \xrightarrow{z \in \Pi^d} \text{Opt}, \\ \Pi^d &: f_{k_2}^d(d, z) \leq 0, f_{k_2}^d(d, z) \in F, k_2 = \overline{1, K_2}; \\ d &= \text{const}, d \in \Pi^c; \Pi^d = \bigcup_{k_2=1}^{K_2} \Pi_{k_2}^d; \bigcap_{k_2=1}^{K_2} \Pi_{k_2}^d \neq \emptyset. \end{aligned} \quad (2)$$

Введенные здесь индексы «с» и «д», характеризуют принадлежность того или иного параметра к модели оптимизации соответствующего уровня. Заметим, не конкретизируя, что механизмы реализации основных (задачи В и Р) и дополнительных (задачи З и К) задач общей ресурсной задачи А должны быть отражены при построении области Φ .

В такой постановке модель (2) будет соответствовать выполнению первого этапа (синтезу) общего ресурсного процесса, а модель (3) — второму этапу (анализу). Легко видеть, что при таком уровне детализации частных их формальные постановки мало отличаются друг от друга. При этом основное отличие данных моделей будет заключаться в особенностях формирования соответствующих им множеств решений $\{d\}$ на этапе синтеза и $\{d=\text{const}, z\}$ на этапе анализа. Последовательное решение указанных частных задач должно привести к формированию множества решений $\{d, z\} = \{d\} \cup \{d=\text{const}\}$, каждый элемент которой будут учитывать статические и динамические аспекты выбора и распределения ресурсов СИС на соответствующих этапах. После этого дальнейшая оптимизация будет заключаться, например, в выделении парето-оптимального множества $\{d, z\}' \subset \{d, z\}$.

Следует отметить, что при реализации моделей (2) и (3) часто возникают ситуации, когда вначале, на первых этапах осуществления общего ресурсного процесса, $\Phi^c = \emptyset$ или $\Phi^d = \emptyset$, что не позволяет ЛПР сформировать множество $\{d, z\}$. Обычно это имеет место в тех случаях, когда ограничения на указанных уровнях формируются независимо друг от друга сразу несколькими ЛПР, интересы которых противоречат друг другу. В подобных задачах, как правило, основная проблема состоит в выделении множеств Φ^c и Φ^d , применяемые же при этом решения именуются согласованными решениями [3], учитывающими интересы всех сторон.

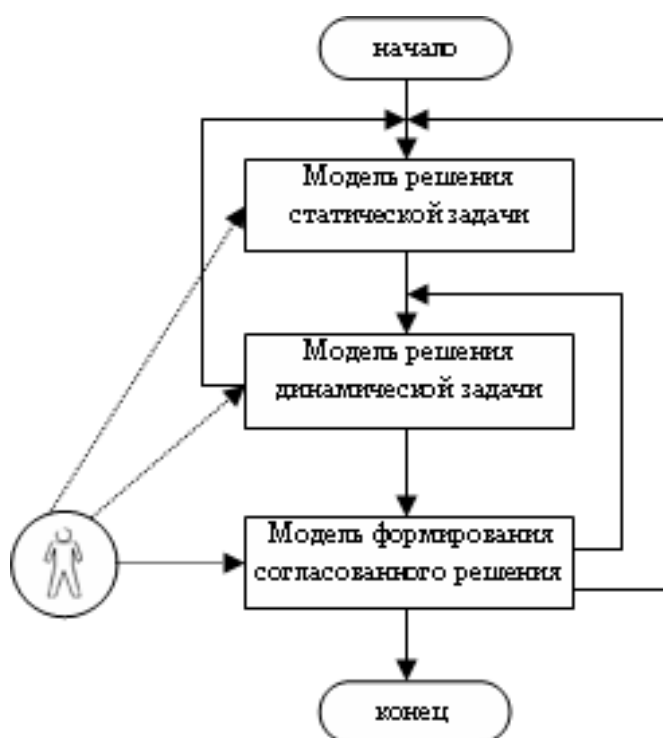
Так как невозможно в общем виде описать процедуры формирования согласованных решений [3, 4], из-за трудностей, связанных с формированием этих процедур, а также из-за существенных отличий в конкретных постановках практических задач (например, выбор ресурса СИС в условиях их замещения на этапе

синтеза, или наличие ресурсного конфликта между СИС на этапе анализа), в данном случае ограничимся лишь записью условий существования таких решений.

$\bigcap_{k1=1}^{K_1} \Pi_{k1} \neq \emptyset$ и $\bigcap_{k2=1}^{K_2} \Pi_{k2} \neq \emptyset$, где Φ_{k1}^c и Φ_{k2}^d — выделенные подобласти. При невыполнении же данных условий задача ЛПР состоит в том, чтобы осуществить определенные процедуры по целенаправленному изменению области Φ , формируемой ограничениями задачи.

Используя предложенный выше подход к формулированию модели выбора и распределению ресурсов СИС, можно укрупненно определить последовательность ее реализации. Она должна включать следующие три основных уровня: решение РЗ на этапе синтеза СИС, решение РЗ на этапе функционирования СИС, а также получение окончательно согласованного решения общей ресурсной задачи А в условиях замещения, векторной оценки и конфликта целей, критериев, стратегий и ресурсов. Третий этап здесь требуется для того, чтобы ЛПР могло накапливать все полученные ранее результаты решения частных задач и тем самым формировать общее множество решений $\{d, z\}$.

В силу того что в общей модели должна быть предусмотрена возможность возврата на более ранний этап общего процесса решения, взаимодействие таких этапов можно отразить в виде схемы (рисунок).



Укрупненная схема решения общей ресурсной задачи А

Взаимодействие статической и динамической моделей (2) и (3) в рамках общего процесса может осуществляться различными способами, что во многом определяется спецификой рассматриваемых задач, степенью их формализованности, размерностью и другими факторами. При этом эффективность использования применяемого способа к

решению задачи во многом зависит от субъективных качеств ЛПР, осуществляющего подобный поиск. Обосновать полученные результаты ЛПР бывает обычно очень сложно [5, 6], поскольку часто трудно определить, в какой мере качество функционирования системы может быть еще улучшено [7, 8].

В работе на основе использования методов системного анализа поставлены оптимизационные задачи, решения которых позволяют обеспечить жизненный цикл функционирования СИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев А.И., Минин Ю.В., Малик Д.О., Аль Балуши М.П.Б. К вопросу оценки живучести сетевых информационных систем с использованием аппарата цепных дробей в условиях неопределённости // Информация и безопасность. — 2013. — Т. 16. — № 1. — С. 93—98.
2. Елисеев А.И., Минин Ю.В., Ягудаев Г.Г. Графовая модель показателей частных характеристик живучести сетевых информационных структур // Вестник Воронежского института МВД России. — 2013. — № 1. — С. 73—78.
3. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. — М.: Наука, 1981. — 383 с.
4. Поспелов Г.С., Ириков В.А., Курилов А.Е. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. — М.: Наука, 1985. — 425 с.
5. Сагынғалиев К.С. Согласованное распределение ресурсов в трехуровневой активной системе // Автоматика и телемеханика. — 1986. — №10. — С. 81—88.
6. Громов Ю.Ю., Денисов А.П., Матвейкин В.Г. Моделирование и управление сложными техническими системами. — Тамбов, ТГТУ, 2000. — 292с.
7. Фролов В.Н., Сербулов Ю.С., Сысоев В.Д. Системное моделирование задач выбора и распределения ресурсов технологических систем // Математическое моделирование технологических систем. Вып. 2: Сб. науч. тр. / Воронеж. гос. технол. акад. — Воронеж, 1997. — С. 40—45.
8. Распределение ресурсов сетевых электротехнических систем / Ю.Ю. Громов [и др.]. — М.: Машиностроение, 2008. — 214 с.

REFERENCES

1. Eliseev A.I., Minin Yu.V., Malik D.O., Al Balushi M.P.B. K voprosu otsenki zhivuchesti setevyih informatsionnyih sistem s ispolzovaniem apparata tsepnyih drobey v usloviyah neopredelyonnosti // Informatsiya i bezopasnost. — 2013. — T. 16. — № 1. — S. 93—98.
2. Eliseev A.I., Minin Yu.V., Yagudaev G.G. Grafovaya model pokazateley chastnyih harakteristik zhivuchesti setevyih informatsionnyih struktur // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2013. — № 1. — S. 73—78.
3. Burkov V.N., Kondratev V.V. Mehanizmy funktsionirovaniya organizatsionnyih sistem. — M.: Nauka, 1981. — 383 s.
4. Pospelov G.S., Irikov V.A., Kurilov A.E. Protsedury i algoritmy formirovaniya kompleksnyih programm. — M.: Nauka, 1985. — 425 s.
5. Sagyngaliev K.S. Soglasovannoe raspredelenie resursov v trehurovnevoy aktivnoy sisteme // Avtomatika i telemehanika. — 1986. — № 10. — S. 81—88.

6. Gromov Yu.Yu., Denisov A.P., Matveykin V.G. Modelirovanie i upravlenie slozhnyimi tehnikami sistemami. — Tambov, TGTU, 2000. — 292 s.

7. Frolov V.N., Serbulov Yu.S., Syisoev V.D. Sistemnoe modelirovanie zadach vybora i raspredeleniya resursov tehnologicheskikh sistem // Matematicheskoe modelirovanie tehnologicheskikh sistem. Vyip. 2: Sb. nauch. tr. / Voronezh. gos. tehnol. akad. — Voronezh, 1997. — S. 40—45.

8. Raspredelenie resursov setevyih elektrotehnicheskikh sistem / Yu.Yu. Gromov [i dr.]. — M.: Mashinostroenie, 2008. — 214 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ауад Максим. Аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации». ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106. Тел. (4752) 63-13-58.

Минин Юрий Викторович. Доцент кафедры информационных систем и защиты информации. Кандидат технических наук. ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». E-mail: yuri.minin@gmail.com Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106. Тел. (4752) 63-13-58.

Громов Юрий Юрьевич. Директор института автоматизации и информационных технологий. Доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106. Тел. (4752) 63-13-58.

Auad Maksim . Post-graduate of the chair "Information Systems and Information Protection". Tambov State Technical University. Work address: Russia, 392000, Tambov, Sovetskaya Str., 106. Tel. (475) 263-13-58.

Minin Yury Viktorovich. Assistant professor of the chair of Information Systems and Protection of Information. Candidate of technical sciences. Tambov State Technical University. Work address: Russia, 392000, Tambov, Sovetskaya Str., 106. Tel. (475) 263-13-58.

Gromov Yury Yuryevich. The director of institute of an automation and information technologies. Doctor of technical sciences, professor. Tambov State Technical University. Work address: Russia, 392000, Tambov, Sovetskaya Str., 106. Tel. (475) 263-13-58.

Ключевые слова: распределение ресурсов; сетевая информационная структура; оптимизация; многокритериальность.

Key words: allocation of resources; network information structure; optimization; multicriteriality.

УДК 004



Д. Лыонг Хак,
ФГБОУ ВПО «Тамбовский
государственный
технический университет»



В.В. Алексеев,
доктор технических наук,
профессор,
ФГБОУ ВПО «Тамбовский
государственный
технический университет»



Ю.Ю. Громов,
доктор технических наук,
профессор,
ФГБОУ ВПО «Тамбовский
государственный
технический университет»

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПОЗНАВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

ANALYTICAL MODEL OF RECOGNITION OF INFORMATIONAL PROCESS IN DECISION MAKING SUPPORT SYSTEM

Представлена разработанная для системы поддержки принятия решений процедура идентификации математической модели информационного процесса, основанная на алгоритмах типовой идентификации. Для представления динамических характеристик информационного процесса использовался аппарат кубических сплайнов.

In operation the procedure of identification of a mathematical model of the informational process developed for decision making support system, based on algorithms of typical identification is presented. For representation of dynamic characteristics of informational process the means of cubic splines are used.

Во многих областях человеческой деятельности исследователи сталкиваются с проблемами построения математических моделей информационных процессов, что влечет большой объем вычислений и значительные затраты времени. Для решения этой проблемы авторами предлагается разработка информационной системы поддержки принятия решений (ИСППР), позволяющей в автоматизированном режиме определять динамические характеристики объектов и строить математические модели, что значительно сократит затраты времени.

В общем случае построение модели для конкретного объекта требует по результатам измерений входного $x(t)$ и выходного $y(t)$ сигналов отнесения данного объекта к определенному классу объектов. Если динамические характеристики объекта описы-

ваются оператором A , то при наличии результатов измерений входной и выходной случайных функций (переменных) задача идентификации сводится к определению некой оценки $\tilde{A}$ оператора A .

Оптимальный оператор объекта в классе всех возможных операторов по критерию минимума среднего квадрата ошибки, называемый также оператором условного математического ожидания или регрессией выходной переменной $y(t)$ относительно входной переменной $x(t)$, определяется следующим образом:

$$\tilde{y}(t) = \tilde{A}x(s) = M\{y(t) | x_s t, s \in T\}. \quad (1)$$

Допущением в работе является то, что авторы ограничились, на данный момент, рассмотрением класса линейных моделей и, следовательно, оптимальный оператор ищется в классе линейных операторов. Для модели линейного объекта оптимальная оценка импульсной характеристики $g(t, s)$ по критерию минимума среднего квадрата ошибки определяется из уравнения

$$r_{yx}(t, \sigma) = \int_{t-T}^t g(t, s) r_{xx}(t, \sigma) ds, \quad (2)$$

где T — интервал времени наблюдения, $r_{xx}(t, \sigma)$ — корреляционная функция случайного сигнала $x(t)$, а $r_{yx}(t, \sigma)$ — взаимная корреляционная функция случайных сигналов $y(t)$ и $x(t)$ [1].

Когда случайные функции $x(t)$ и $y(t)$ являются стационарными и стационарно связанными, оптимальная оценка оператора определяется из уравнения

$$r_{yx}(t) = \tilde{A}r_{xx}(t - \tau), \quad (3)$$

а импульсная характеристика стационарной линейной системы — из интегрального уравнения Фредгольма первого рода

$$r_{yx}(t, \sigma) = \int_0^\infty g(\tau) r_{xx}(t - \tau) d\tau, \quad -\infty < t < \infty. \quad (4)$$

Для решения задачи идентификации при использовании (4) производится классификация априорной информации, встречающейся на практике [2]. Классы определяются качественным поведением $r_{xx}(t)$ и $r_{yx}(t)$.

В ИСППР корреляционные функции $r_{xx}(t)$ и $r_{yx}(t)$ поступают в виде цифрового графического изображения или в виде набора значений $\{t_i, f(t_i)\}$. Для перевода цифрового графического изображения в соответствующий набор $\{t_i, f(t_i)\}$ авторами разработана специальная процедура распознавания, описание которой не приводится из-за ограничений на объем материала.

Представление и хранение функций в ИСППР реализовано с помощью кубических сплайнов. Разработана процедура преобразования набора $\{t_i, f(t_i)\}$ в множество соответствующих кубических сплайнов $\{S_i(t)\}$.

Так, заданы сетка $a = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n = b$ и соответствующие значения $f(t_i)$. Расстояние между смежными узлами: $h_i = x_i - x_{i-1}$, $i = \overline{1, n}$. В соответствии с [3] функция $S(t)$ удовлетворяет следующим условиям:

1. На каждом отрезке $[t_{i-1}, t_i]$ функция $S(t)$ является полиномом третьей степени.
2. Функция $S(t)$, ее первая $S'(t)$ и вторая $S''(t)$ производные непрерывны на сегменте $[a, b]$.
3. $S(t_i) = f(t_i) = f_i, i = \overline{1, n}$.
4. На концах сегмента $[a, b]$ функция $S''(t)$ удовлетворяет условиям $S''(a) = S''(b) = 0$. Однако следует отметить, что на концах сегмента $[a, b]$ могут быть заданы в принципе и другие условия, например: $S''(a) = A, S''(b) = B$.

Таким условиям удовлетворяет только один сплайн [3].

Для построения сплайна необходимо определить коэффициенты полиномов третьей степени на каждом из отрезков $[t_{i-1}, t_i]$. Для этого сопоставим отрезку $[t_{i-1}, t_i]$ полином $S_i(t)$, для удобства записанный в виде

$$S_i(t) = a_i + b_i(t - t_i) + \frac{c_i}{2}(t - t_i)^2 + \frac{d_i}{6}(t - t_i)^3, \\ t \in [t_{i-1}, t_i], i = \overline{1, n}.$$

Непрерывность сплайна в узлах $t_i, i = \overline{1, n-1}$ и выполнение условия 3 при $i=0$ дают

$$b_i h_i - \frac{c_i}{2} h_i^2 + \frac{d_i}{6} h_i^3 = f_i - f_{i-1}, i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Непрерывность первой и второй производной сплайна означает, что

$$c_i h_i - \frac{d_i}{2} h_i^2 = b_i - b_{i-1}, i = \overline{2, n}, \quad (6)$$

$$d_i h_i = c_i - c_{i-1}, i = \overline{2, n}. \quad (7)$$

Граничные условия 4 дают еще два уравнения:

$$\begin{cases} S_1''(t_0) = S_1''(a) = c_1 - d_1 h_1 = 0, \\ S_n''(t_n) = S_n''(b) = c_n = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Решение системы линейных уравнений (5)–(8) позволяет определить значения $b_i, c_i, d_i, i = \overline{2, n}$.

В [2] представлены таблицы откликов линейных систем на возмущения видов $r_{xx}^{T,1}(t) = Ae^{-\alpha|t|}$, $r_{xx}^{T,2}(t) = Ae^{-\alpha|t|} \cos \omega t$, $r_{xx}^{T,3}(t) = (A + A_1 |t|)e^{-\alpha|t|}$, а соответствующие им корреляционные функции входа и выхода $r_{yx}^T(t)$ представлены в ИС в виде

$$S_{r_{yx}}^{T,j,l}(t) = \begin{cases} S_{r_{yx}^+}^{T,j,l}(t) & \text{при } t \geq 0, \\ S_{r_{yx}^-}^{T,j,l}(t) & \text{при } t < 0; \end{cases} \text{ где } j = \overline{1,3}.$$

Процедура идентификации объекта в ИС состоит из следующих этапов.

1. Получение экспериментальных кривых $r_{xx}^\vartheta(t)$, $r_{yx}^\vartheta(t)$ и определение кубических сплайнов $S_{r_{yx}}^\vartheta(t)$, интерполирующих функцию $r_{yx}^\vartheta(t)$.

2. Определение параметров функций $r_{xx}^{\mathcal{E}II,1}(t) = Ae^{-\alpha|t|}$, $r_{xx}^{\mathcal{E}II,2}(t) = Ae^{-\alpha|t|} \cos \omega t$, $r_{xx}^{\mathcal{E}II,3}(t) = (A + A_1 |t|)e^{-\alpha|t|}$, при которых значение функции погрешности $e(t) = \sum_{t=t_0}^T (r_{xx}^{\mathcal{E}}(t) - r_{xx}^{\mathcal{E}II,j}(t))^2$ минимально.

3. Соотнесение вида $r_{xx}^{\mathcal{E}}(t)$ с одним из $r_{xx}^{\mathcal{E}II}(t)$. Выбирается такой j -й вид функции $r_{xx}^{\mathcal{E}II,j}(t)$, при котором достигается минимум функции погрешности $r_{xx}^{\mathcal{E}}(t)$ от $r_{xx}^{\mathcal{E}II,j}(t)$.

4. Определение из $r_{xx}^{\mathcal{E}}(t) = cr_{xx}^{\mathcal{E}II}(kt)$ масштабного коэффициента k и постоянного множителя c .

5. Определение промежуточной взаимной корреляционной функции выходной и входной переменных $r_{yx}^{\mathcal{E}II}(t) = kr_{yx}^{\mathcal{E}}(t/k)$.

6. Определение вида $r_{yx}^T(t)$, близкой по форме к $r_{yx}^{\mathcal{E}II}(t)$ аналогично в п.3, и соответствующих коэффициентов дифференциального уравнения объекта

$$r_{yx}'''(t) + a_1 r_{yx}''(t) + a_2 r_{yx}'(t) + a_3 r_{yx}(t) = b_0 r_{xx}''(t) + b_1 r_{xx}'(t) + b_2 r_{xx}(t).$$

Разработанная процедура позволяет ИСППР провести идентификацию объекта управления, т.е. определить динамические характеристики объекта и построить его математическую модель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы автоматического управления / под. ред. В.С. Пугачева. — М.: Наука, 1974. — 719 с.
2. Типовые линейные модели объектов управления / С.А. Анисимов, И.С. Зайцева, Н.С. Райбман, А.А. Яралов; под ред. Н.С. Райбмана. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 264 с.
3. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. — М.: Наука, 1980. — 355 с.

REFERENCES

1. Osnovy avtomaticheskogo upravleniya / pod. red. V.S. Pugacheva. — M.: Nauka, 1974. — 719 s.
2. Tipovyye lineynyie modeli ob'ektov upravleniya / S.A. Anisimov, I.S. Zaytseva, N.S. Raybman, A.A. Yaralov; pod red. N.S. Raybmana. — M.: Energoatomizdat, 1983. — 264 s.
3. Zavyalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L. Metodyi splayn-funktsiy. — M.: Nauka, 1980. — 355 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лыонг Хак Динь. Аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации». ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106. Тел. (4752) 63-13-58.

Алексеев Владимир Витальевич. Профессор кафедры «Информационные системы и защита информации». Доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106. Тел. (4752) 63-13-58.

Громов Юрий Юрьевич. Директор института автоматизации и информационных технологий. Доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106. Тел. (4752) 63-13-58.

Luong Khac Dinh. Post-graduate of the chair "Information Systems and Information Protection". Tambov State Technical University. Work address: Russia, 392000, Tambov, Sovetskaya Str., 106. Tel. (475) 263-13-58.

Alekseev Vladimir Vitalyevich. Professor of of the chair "Information Systems and Information Protection". Doctor of technical sciences, professor. Tambov State Technical University. Work address: Russia, 392000, Tambov, Sovetskaya Str., 106. Tel. (475) 263-13-58.

Gromov Yury Yuryevich . The director of institute of an automation and information technologies. Doctor of technical sciences, professor. Tambov State Technical University. Work address: Russia, 392000, Tambov, Sovetskaya Str., 106. Tel. (475) 263-13-58.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений; информационный процесс; идентификация.

Key words: decision making support system; informational process; identification.

УДК 004; 519.6



В.В. Меньших,
доктор физико-математических наук,
профессор



Е.А. Пастушкова,
кандидат технических наук

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНО ИЗБЫТОЧНОГО НАБОРА ДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНАХ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ

STRUCTURAL MODEL OF THE FUNCTIONALLY REDUNDANT SET ACTION FOR DECISION-MAKING OF THE LAW-ENFORCEMENT BODIES

Описывается подход, основанный на использовании функционально избыточного набора действий, который может быть применен для создания моделей ситуационного управления, адаптированных к принятию решений в органах внутренних дел, разрабатывается структурная модель функционально избыточного набора действий.

The approach based on the use of functionally redundant set of actions, which can be used to develop models of situational management, adapted to the decision-making of the law-enforcement bodies is described, structural model of the functionally redundant set of actions is developed.

Введение. Аналитическая работа в системе органов внутренних дел тесно связана с анализом и оценкой имеющейся информации и подготовкой на этой основе различного рода решений. Примерами могут служить разработки планов мероприятий по расследованию преступлений, проведение комплексных профилактических мероприятий с целью стабилизации криминогенной обстановки, расчет выделяемых сил и средств [1—3].

Совокупность условий, при которых осуществляется принятие решений в органах внутренних дел, как правило, является уникальной, что требует каждый раз адаптировать аналитическую работу к складывающейся ситуации — составу априорной информации и внешним требованиям. В связи с этим для решения

указанной задачи целесообразно использовать методы ситуационного управления [4]. В настоящее время разработан ряд моделей принятия решений, основанных на методах ситуационного управления [4, 5]. Однако, как показывает анализ, имеются специфичные черты, характерные для осуществления аналитической работы в интересах принятия решений в органах внутренних дел [1—3, 5—7], которые не позволяют непосредственно использовать данные методы. Следствием этого является необходимость разработки новых моделей и алгоритмов, которые были бы адаптированы к условиям принятия решений в органах внутренних дел.

В настоящей работе описывается подход, основанный на идее использования функционально избыточного набора действий, который может быть применен для разработки моделей ситуационного управления, адаптированных к принятию решений в органах внутренних дел, а также предлагается структурная модель функционально избыточного набора действий.

Особенности принятия управленческих решений в органах внутренних дел.

К наиболее характерным чертам принятия решений в ходе осуществления аналитической работы в органах внутренних дел следует отнести:

- недостаточно высокую степень достоверности используемой для принятия решений информации;
- быстрое устаревание информации;
- возможность наличия противоречивой информации;
- неполноту исходной информации, требуемой для принятия решений;
- использование большого объема нечисловой качественной информации на всех этапах принятия решений без каких-либо её преобразований в числовую;
- необходимость принятия решений в условиях жестких временных ограничений;
- особую социальную значимость последствий реализации некоторых решений.

Появление указанных особенностей может быть объяснено следующим. Частичная недостоверность и противоречивость информации обусловлена тем, что значительная часть оперативной информации, имеющейся в автоматизированных банках данных, получена в ходе установления доверительных отношений с гражданами (заявления, анонимные сообщения и пр.). Устаревание информации определяется динамичностью изменения обстановки. Неполнота информации в значительной степени определяется ограниченным временем на ее получение, а также наличием конфликтных взаимоотношений правоохранительных органов с правонарушителями, стремящимися скрыть или исказить информацию. Наличие большого объема нечисловой информации и жестких временных ограничений определяется особенностями решаемых в ходе аналитической работы задач. Особая социальная значимость обусловлена спецификой работы правоохранительных органов, непосредственно связанной с защитой законных интересов граждан.

Эффективность аналитической работы можно оценить по двум основным показателям: оперативность и качество принимаемых решений. Оперативность оценивается с помощью анализа временных показателей, получаемых с помощью методов теории расписаний [8], а качество, в силу субъективного характера данного показателя — методами теории нечётких множеств [9].

Совокупность условий принятия решений, как правило, является уникальной, что требует адаптации процесса осуществления аналитической работы к складывающейся ситуации [1, 2], т.е. использованию методов ситуационного управления [4, 5]. Обратимся к анализу процесса осуществления аналитической работы в интересах принятия решений в органах внутренних дел.

Осуществление аналитической работы представляет собой сложно организованный процесс, который можно разделить на этапы, в результате каждого из которых происходит выработка одного решения, под которым понимается нормативный правовой документ, указание, пункты плана отдельных мероприятий, графики несения службы и т.д. Указанные этапы, как правило, осуществляются последовательно, и влиянием результатов выполнения друг на друга можно пренебречь (рис. 1).

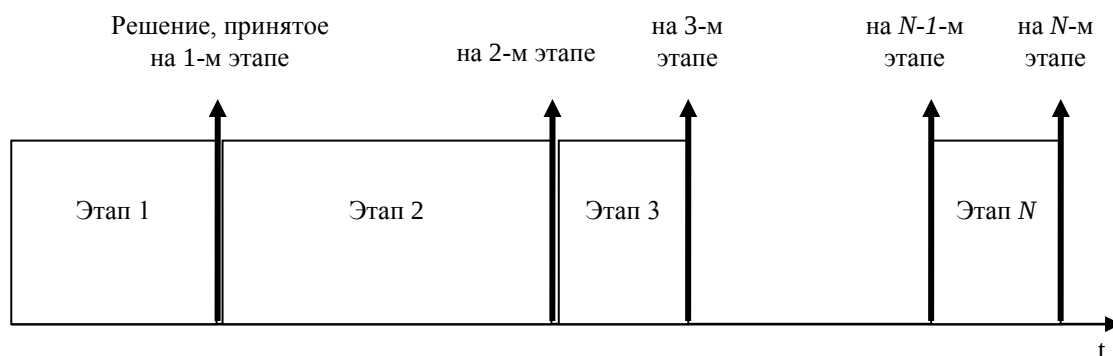


Рис. 1. Схематическое представление поэтапного осуществления аналитической работы в интересах принятия решений в органе внутренних дел

Таким образом, в целом эффективность аналитической работы в органах внутренних дел тем выше, чем она выше на каждом этапе. Поэтому для оптимизации осуществления всего объема аналитической работы в интересах принятия решений достаточно проведения анализа выполнения данного процесса отдельно на каждом этапе, т.е. для принятия отдельного решения. В связи с этим далее будем рассматривать только отдельный этап осуществления аналитической работы.

Описание процесса принятия решений на отдельном этапе аналитической работы. Математически элементы системы проведения аналитической работы на каждом этапе можно интерпретировать как некоторые множества, а взаимоотношения между ними как бинарные отношения [9], заданные на этих множествах. Каждый этап можно представить как систему, описывающую полностью формализованный процесс решения совокупности взаимосвязанных неструктуризованных или слабоструктуризованных задач, решаемых отдельными должностными лицами (ЛПР) (рис. 2).

Таким образом, для каждого этапа аналитической работы по принятию решения можно выделить следующие множества:

$L = l_1, l_2, \dots, l_n$ — множество ЛПР, участвующих в процессе принятия решения на данном этапе;

$D = d_1, d_2, \dots, d_m$ — множество действий, выполняемых ЛПР в процессе принятия решений;

$M = m_1, m_2, \dots, m_k$ — множество входных и выходных данных (массивов данных) действий, выполняемых в процессе принятия решений.

Обратимся к рассмотрению отношений, которые задаются на этих множествах и их элементах. Как правило, все взаимоотношения между элементами можно свести к бинарным отношениям следующих основных типов:

топологическим, характеризующим отношения положения элементов относительно друг друга, в частности, отношения типа «часть—целое»;

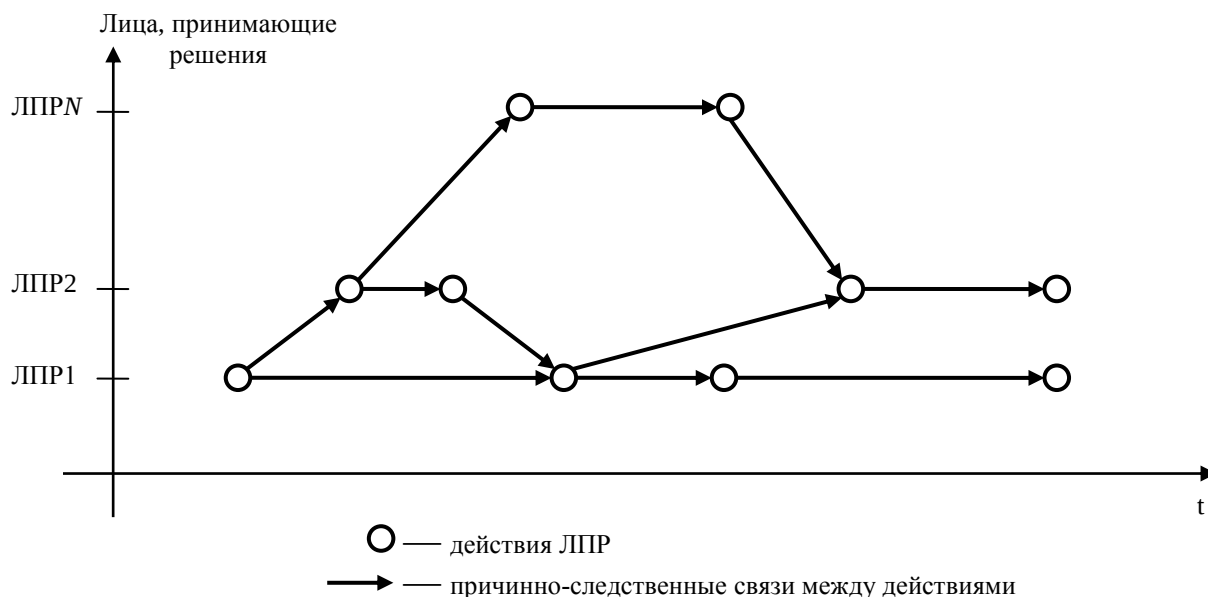


Рис. 2. Пример схематического представления осуществления этапа аналитической работы

функциональным, характеризующим существование некоторого соответствия между элементами, в частности, отношения типа «иметь функцию»;

информационным, характеризующим отношения передачи информации между элементами, в частности, отношения типа «быть источником информации» или «быть получателем информации»;

временным, характеризующим причинно-следственные отношения между элементами, в частности, отношения типа «завершиться ранее начала выполнения другого действия».

При выборе отношений следует учитывать те, которые могут влиять на значения показателей эффективности, к ним относятся достоверность и время принятия решений. Как показывает анализ осуществления этапа аналитической работы, содержательный смысл и существенное значение, оказывающее влияние на показатели эффективности принимаемых решений, имеют следующие отношения:

топологические отношения: P_1 — между системой и ее подсистемами и P_2 — между подсистемами и их элементами;

функциональные отношения: F — между ЛПР и выполняемыми ими действиями;

информационные отношения: I_1 — между данными и действиями, которые используют их в процессе выполнения (задание входных данных действий), и I_2 — между действиями и данными, являющимися результатом их выполнения (задание выходных данных действий);

временные отношения: V — между отдельными действиями (окончание выполнения одного действия как условие возможности начала другого действия).

При этом считается, что процесс передачи информации от одного ЛПР к другому также является действием, вследствие чего отсутствуют информационные отношения между ЛПР;

передача информации от одного действия к другому может быть осуществлена только с участием ЛПР, вследствие чего отсутствуют информационные отношения между действиями;

для каждого действия множества входных и выходных данных не пусты.

Таким образом, система, описывающая p -й вариант реализации этапа аналитической работы может быть охарактеризована вектором $S_p = \langle D, M, P_1, P_2, F, I_1, I_2, V \rangle$.

Рассмотрим возможности использования функционально избыточного набора действий для повышения эффективности аналитической работы в ОВД.

Функционально избыточные наборы действий по принятию решений. Функциональная избыточность предполагает наличие действий, имеющих одинаковые функциональные возможности, но отличающиеся составом исходных данных, временем выполнения и точностью получаемых результатов. Тем самым, функциональная избыточность влечет наличие нескольких вариантов (альтернативных путей) принятия решений. Предполагается, что в зависимости от ситуации выбираются те действия, которые обеспечат получение наилучшего решения задачи с учётом временных и информационных ограничений, т. е. ограничений на состав и достоверность существующей информации, которая может быть использована для принятия решения.

Анализ процесса принятия решений в органах внутренних дел показывает, что каждый вариант принятия решения характеризуется:

- составом и содержанием выполняемых действий;
- составом исполнителей действий;
- распределением действий по исполнителям (функциональными отношениями);
- обменом информацией между действиями (информационными отношениями);
- последовательностью выполнения действий, т.е. алгоритмом синтеза решений (временными отношениями).

Для построения функционально избыточного набора действий используем тот факт, что к настоящему времени накоплен достаточно большой опыт аналитической работы в интересах принятия решений в органах внутренних дел, и в зависимости от ситуации (например, ресурса времени, имеющейся на момент начала этапа аналитической работы исходной информации и т.д.) эксперты могут предложить использовать несколько альтернативных наборов действий для принятия каждого решения. Кроме того, одни и те же действия могут выполняться при нахождении различных решений. Поэтому для увеличения вычислительных возможностей функционально избыточного набора действий следует рассматривать сразу несколько различных решений, включающих одинаковые действия.

Обозначим через $D^1, D^2, \dots, D^p$ наборы действий, выполняемых в процессе осуществления этапов аналитической работы в интересах принятия решений в органах внутренних дел, и будем называть их базовыми. Осуществление этапов аналитической работы по вариантам, основанным только на базовых наборах действий, весьма

ограничивает возможности принятия решений в органах внутренних дел и снижает их эффективность, что вызвано следующими причинами:

количество условий реализации базовых наборов действий значительно меньше возможных вариантов условий, при которых осуществляется принятие решения;

выбор набора действий определяется субъективными предпочтениями специалистов, привлекаемых в качестве экспертов при выборе состава базовых наборов действий и не основан на результатах использования математических методов, позволяющих осуществить оптимизацию выбора.

Наличие функционально избыточного набора действий позволяет избавиться от перечисленных недостатков использования только базовых наборов действий.

Обозначим $\hat{D} = \bigcup_{i=1}^p D^i$ — множество всех действий, входящих в базовые наборы

действий. При этом действия d_1 и d_2 будем считать одинаковыми, если для них совпадают исполнители, входные и выходные данные, а также длительности выполнения и достоверность (правильность, точность) полученного решения. Множество $\hat{D}$ является функционально избыточным набором действий, т.к. может содержать альтернативные варианты получения одних и тех выходных данных, которые реализуются в различных базовых наборах действий.

Введем также следующие обозначения:

$\hat{L} = \bigcup_{i=1}^p L^i$ — множество исполнителей действий, входящих в функционально избыточный набор;

$\hat{M} = \bigcup_{i=1}^p M^i$ — множество входных и выходных данных, используемых действиями, входящими в функционально избыточный набор;

$\hat{P}_1 = \bigcup_{i=1}^p P_1^i, \hat{P}_2 = \bigcup_{i=1}^p P_2^i, \hat{F} = \bigcup_{i=1}^p F^i, \hat{I}_1 = \bigcup_{i=1}^p I_1^i, \hat{I}_2 = \bigcup_{i=1}^p I_2^i$, — объединения соответствующих бинарных отношений для базовых наборов действий;

Таким образом, может быть сформирован вектор $\hat{S} = \langle \mathbf{1}, \hat{D}, \hat{M}, \hat{P}_1, \hat{P}_2, \hat{F}, \hat{I}_1, \hat{I}_2 \rangle$, представляющий собой описание всех потенциально возможных вариантов наборов действий по реализации этапа аналитической работы в интересах принятия решения.

Отметим, что возможности модели $\hat{S}$ не исчерпываются базовыми наборами действий, поскольку позволяют получать варианты, являющиеся комбинациями базовых наборов, которые отличаются временем реализации и достоверностью (правильностью, точностью) выработанных решений. Это способствует значительному расширению возможностей организации аналитической работы по сравнению с использованием только базовых наборов действий.

Изучим свойства модели $\hat{S}$:

1) Множества $\hat{L}, \hat{D}, \hat{M}$ отличаются от множеств L, D, M только расширенным составом, что непосредственно следует из способа их построения.

2) Бинарные отношения P_1 , устанавливающие связь между системой и подсистемами, описываемыми $\hat{L}, \hat{D}, \hat{M}$ для всех базовых наборов действий, очевидно, совпадают, поэтому $\forall i P_1^i = \hat{P}_1^i$.

3) Бинарные отношения $\hat{P}_2, \hat{F}$ отличаются от бинарных отношений P_2, F также только расширенным составом, что следует из свойства 1) и способа построения этих отношений.

4) Бинарные отношения $\hat{I}_1, \hat{I}_2$ могут существенно отличаться от бинарных отношений I_1, I_2 , поскольку могут содержать циклы.

Свойство 4) объясняется тем, что при объединении отношений для различных базовых наборов могут возникать ориентированные циклы. Приведем пример.

Пусть для выполнения действия d_3 требуются данные m_1 и m_2 . Базовый вариант действий D^1 предполагает существование действия d_1 , позволяющего найти данное m_2 , если известно данное m_1 (рис. 3). Базовый вариант действий D^2 предполагает существование действия d_2 , позволяющего найти данное m_1 , если известно данное m_2 (рис. 4).

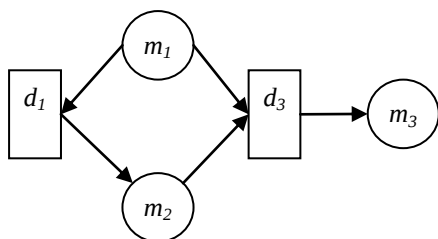


Рис. 3. Фрагмент модели, соответствующий базовому набору D^1

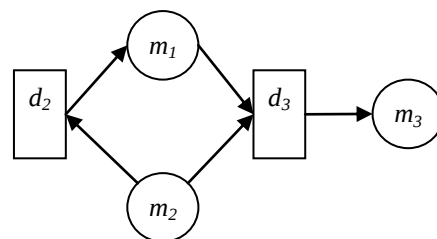


Рис. 4. Фрагмент модели, соответствующий базовому набору D^2

После объединения данных вариантов в потенциальной модели появится цикл (рис. 5)

$$m_1, \mathbf{A}_1, d_1, \bar{d}_1, \mathbf{A}_1, m_2, \bar{m}_2, \mathbf{A}_2, d_2, \bar{d}_2, \mathbf{A}_2, m_1, \bar{m}_1.$$

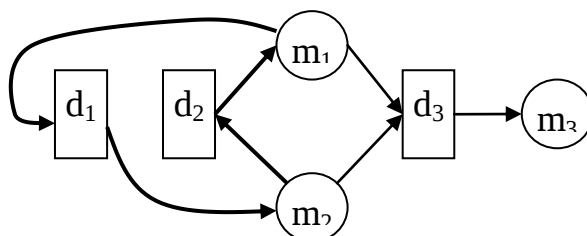


Рис. 5. Фрагмент модели, содержащей ориентированный цикл

Построение структурной модели функционально избыточного набора действий. Обратимся к разработке структурной модели функционально избыточного набора действий, которая в дальнейшем позволила бы осуществить оптимизацию выбора варианта реализации этапа аналитической работы в интересах принятия решения в

органах внутренних дел. Для этого используем методы теории графов [11]. Представим функционально избыточный набор действий в виде ориентированного трижды взвешенного графа $G = \langle V, GE, GL, GT, GK \rangle$, где

$GV = D \cup M$ — множество вершин, соответствующих функционально избыточному набору действий и множеству их входных и выходных данных;

$GE = I_1 \cup I_2$ — множество дуг, соответствующих информационным бинарным отношениям между действиями и данными;

$GL : GV \rightarrow L \cup \omega$ — веса вершин, имеющие значения исполнителей для вершин, соответствующих действиям и обозначенные ω для вершин, соответствующих данным;

$GT : GV \rightarrow R_{>0} \cup 0$ — веса вершин, имеющие значения длительности выполнения для вершин, соответствующих действиям и равные 0 для вершин, соответствующих данным;

$GK : GV \rightarrow R_{>0} \cup \mu_v : v \in GV$ — веса вершин, имеющие значения функций принадлежности нечетких множеств, описывающих достоверность (правильность, точность) данных и обоснованность действий для соответствующих вершин.

Заключение. Таким образом, удалось построить структурную модель функционально избыточного набора действий, содержащего большое количество альтернативных вариантов осуществления аналитической работы в интересах принятия решений в органах внутренних дел, отличающихся как наборами исходных данных, так и временем, и достоверностью (правильностью, точностью) принимаемых решений. Представление структурной модели в виде взвешенного графа позволяет использовать для решения задачи выбора оптимального варианта реализации этапа аналитической работы оптимизационные алгоритмы на графах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковец Е.Н. Проблемы аналитической работы в оперативно-розыскной деятельности органов внутренних дел. — М.: Издательский дом Шумиловой И.И., 2005. — 219 с.
2. Оперативно-розыскная деятельность: учебник / под ред. К.К. Горяинова, В.С. Овчинского, А.Ю. Шумилова. — М.: ИНФРА-М, 2002. — 794 с.
3. Меньших В.В., Пастушкова Е.А. Методы выбора альтернатив в процессе принятия управленческих решений при раскрытии компьютерных преступлений // Информация и безопасность. — 2011. — Т.14. — Вып. 1. — С. 85—90.
4. Поспелов Д.А. Ситуационное управление, теория и практика. — М.: Наука, 1986. — 284 с.
5. Пастушкова Е.А. Математическое моделирование процессов принятия решений в органах внутренних дел на основе методов ситуационного управления / Е.А. Пастушкова: дис. ... канд. техн. наук. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. — 132 с.
6. Пастушкова Е.А. Математические методы выбора альтернатив в процессе принятия управленческих решений при осуществлении оперативно-розыскной

деятельности // Вестник Воронежского института МВД России. — 2008. — №4. — С. 143—149.

7. Меньших В.В., Пастушкова Е.А. Использование языка ситуационного управления в деятельности органов внутренних дел // Охрана, безопасность и связь — 2007: материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Ч. 1. — Воронеж: ВИ МВД России, 2008. — С. 46—47.

8. Меньших В.В., Никулина Е.Ю. Оптимизация временных характеристик информационных систем. — Воронеж: ВИ МВД России, 2011. — 127 с.

9. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 312 с.

10. Горбатов В. А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика. — М.: Наука, Физматлит, 2000. — 544 с.

11. Меньших В.В. Дискретная математика: учебное пособие. — Воронеж: ВИ МВД России, 2013. — 153 с.

REFERENCES

1. Yakovets E.N. Problemyi analiticheskoy raboty v operativno-rozysknoy deyatel'nosti organov vnutrennih del. — M.: Izdatelskiy dom Shumilovoy I.I., 2005. — 219 s.

2. Operativno-rozysknaya deyatel'nost: uchebnik / pod red. K.K. Goryainova, V.S. Ovchinskogo, A.Yu. Shumilova. — M.: INFRA-M, 2002. — 794 s.

3. Menshih V.V., Pastushkova E.A. Metodyi vyibora alternativ v protsesse prinyatiya upravlencheskih resheniy pri raskrytii kompyuternykh prestupleniy // Informatsiya i bezopasnost. — 2011. — T.14. — Vyip. 1. — S. 85—90.

4. Pospelov D.A. Situatsionnoe upravlenie, teoriya i praktika. — M.: Nauka, 1986. — 284 s.

5. Pastushkova E.A. Matematicheskoe modelirovanie protsessov prinyatiya resheniy v organakh vnutrennih del na osnove metodov situatsionnogo upravleniya / E.A. Pastushkova: dis. ... kand. tehn. nauk. — Voronezh: Voronezhskiy institut MVD Rossii, 2011. — 132 s.

6. Pastushkova E.A. Matematicheskie metodyi vyibora alternativ v protsesse prinyatiya upravlencheskih resheniy pri osuschestvlenii operativno-rozysknoy deyatel'nosti // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2008. — № 4. — S. 143—149.

7. Menshih V.V., Pastushkova E.A. Ispolzovanie yazyika situatsionnogo upravleniya v deyatel'nosti organov vnutrennih del // Ohrana, bezopasnost i svyaz — 2007: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. — Ch. 1. — Voronezh: VI MVD Rossii, 2008. — S. 46—47.

8. Menshih V.V., Nikulina E.Yu. Optimizatsiya vremennykh harakteristik informatsionnykh sistem. — Voronezh: VI MVD Rossii, 2011. — 127 s.

9. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta / pod red. D.A. Pospelova. — M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. — 312 s.

10. Gorbatov V. A. Fundamentalnyie osnovyi diskretnoy matematiki. Informatsionnaya matematika. — M.: Nauka, Fizmatlit, 2000. — 544 s.

11. Menshih V.V. Diskretnaya matematika: uchebnoe posobie. — Voronezh: VI MVD Rossii, 2013. — 153 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Меньших Валерий Владимирович. Начальник кафедры высшей математики. Доктор физико-математических наук, профессор.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: menshikh@list.ru.

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 200-52-10.

Пастушкова Елена Анатольевна. Помощник начальника института по международному сотрудничеству. Кандидат технических наук.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: pastushkovaea@vimvd.ru

Россия, 394065, г. Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 200-50-06.

Menshikh Valery Vladimirovich. The chief of the chair of high mathematic. Doctor of physical and mathematical sciences, professor.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 200-52-10.

Pastushkova Elena Anatolyevna. Assistant head of institute on international cooperation. Candidate of technical sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russian.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 200-50-06.

Ключевые слова: аналитическая работа; принятие решений; функционально избыточный набор действий; структурная модель.

Key words: analytical work; decision-making; functionally redundant set of actions; structural model.

УДК 681.518:519.1



Жайворонок Д.А.

Системы и сети передачи информации: учебное пособие / Д.А. Жайворонок — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2013.— 112 с.

Пособие содержит основные сведения о теории передачи информации в области телекоммуникаций. Описываются классификация и принципы построения сетей связи различного назначения, различные методы модуляции, линии связи, спутниковые и радиорелейные системы связи. Предназначено для курсантов и слушателей радиотехнического факультета.