

## АПРОБАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ГЕНЕРАЦИИ МНОЖЕСТВА ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЗАДАЧ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ

© 2017 О. В. Пьянков\*, М. С. Романов\*, Л. В. Россихина\*\*, Л. В. Степанов\*\*

*\*Воронежский институт МВД России,  
пр-т Патриотов, 53, 394065, Воронеж, Россия*

*\*\*Воронежский институт ФСИН России,  
ул. Иркутская, 1а, 394072, г. Воронеж, Россия  
E-mail: stepanovlv@yandex.ru*

Поступила в редакцию 13.09.2017 г.

**Аннотация.** В статье приводятся типовые модели процессов принятия решений в ситуационных центрах органов внутренних дел, построенные на основе сетей Петри. Приведены результаты апробации численного метода генерации множества вариантов решений задач органов внутренних дел.

**Ключевые слова:** численный метод; апробация; принятие решений; ситуационный центр.

### ВВЕДЕНИЕ

Решение задач по охране общественного порядка и обеспечению общественной безопасности является неотъемлемой частью деятельности подразделений органов внутренних дел. При осложнении обстановки, возникновении чрезвычайных ситуаций управление силами и средствами осуществляется из создаваемых или действующих ситуационных центров. Основными задачами, решаемыми в ситуационных центрах, являются – информационные, связанные с получением и обработкой получаемых сведений о текущей обстановке и развитии чрезвычайной ситуации. Принятие решений в ситуационных центрах происходит в режиме реального времени, что определяет необходимость оперативного поиска и принятия управленческих решений. В условиях ограниченного времени на принятие решения при использовании заранее разработанных математических моделей, прогнозирующих возможное развитие текущей ситуации, возникает задача сокращения длительности времени генерации множества вариантов решений.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Генерация множества вариантов решений в ситуационных центрах, и выбор оптимального может осуществляться с использованием математических моделей в виде сетей Петри [1]. Такие модели позволяют осуществлять моделирование различных нештатных ситуаций и за-

дач, к разрешению которых привлекаются органы внутренних дел. На основе моделей имеется возможность генерировать различные варианты процессов принятия решений, осуществлять анализ последствий принятия решений. Однако полный перебор всех возможных вариантов принятия решений значительно увеличивает временные затраты на поиск оптимального варианта. В связи с этим предлагается рассмотреть возможность применения численного метода, основанного на псевдообратной матрице модели сети Петри [2].

### ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе проведения исследования процессов принятия решений в органах внутренних дел разрабатываемые модели в виде сетей Петри можно было классифицировать по нескольким признакам:

- количество переходов между первой и последней позициями (число каскадов);
- наличие/отсутствие обратных связей (зацикливаний), когда осуществляется переход из последующих позиций в предшествующие;
- число обратных связей;
- местоположение «желаемой» позиции в модели (в конце или на промежуточном этапе сети Петри).

Исходя из выделенных признаков разработаны типовые модели генерации вариантов решений (см. рис. 1-8). На рисунках серым

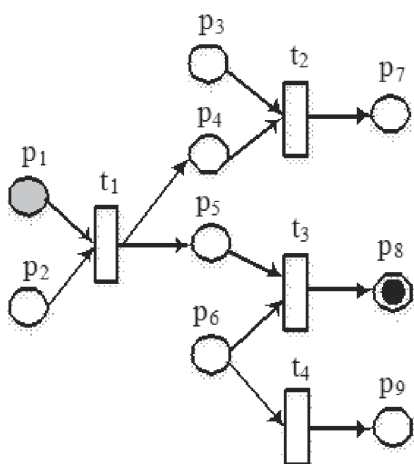


Рис. 1. Модель генерации вариантов решений  
двухкаскадная с прямой связью  
 $f^*(\sigma_w) = (0.429 \ 0.143 \ 0.571 \ -0.286).$

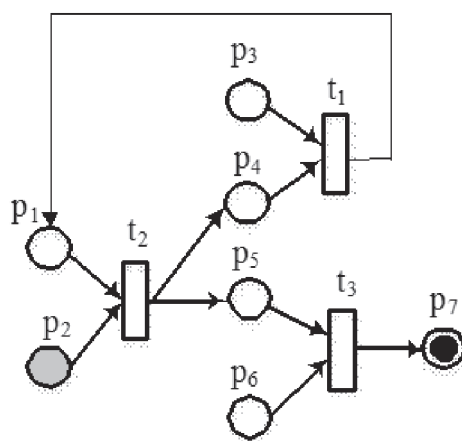


Рис. 2. Модель генерации вариантов решений  
двухкаскадная с обратной связью  
 $f^*(\sigma_w) = (0.381 \ 0.571 \ 0.524)$

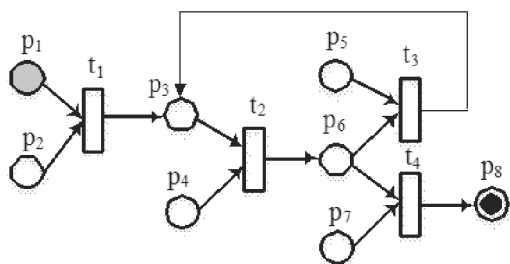


Рис. 3. Модель генерации вариантов решений  
трехкаскадная с обратной связью  
 $f^*(\sigma_w) = (0.545 \ 0.818 \ 0.182 \ 0.545)$

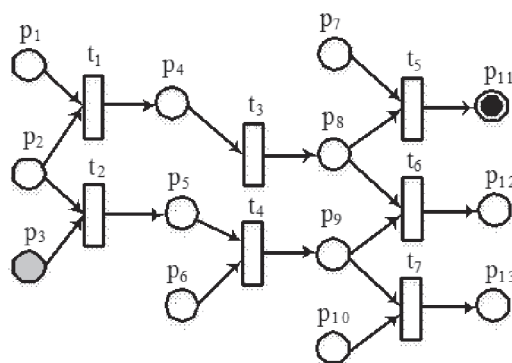


Рис. 4. Модель генерации вариантов  
решений трехкаскадная  
 $f^*(\sigma_w) = (-0.078 \ 0.459 \ 0.226 \ 0.073 \ 0.428 \ -0.057) \ 0.043$

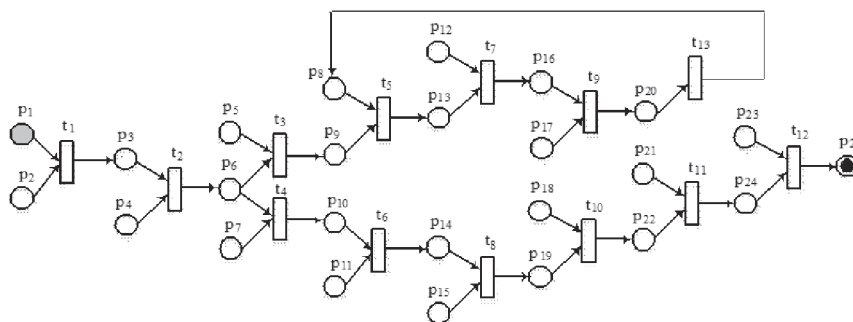


Рис. 5. Модель генерации вариантов решений  
восьмикаскадная с обратной связью  
 $f^*(\sigma_w) = (0.387 \ 0.16 \ 0.046 \ 0.025 \ 0.024 \ 0.012 \ 0.028 \ 0.009 \ 0.058 \ 0.147 \ 0.382 \ 0.017)$

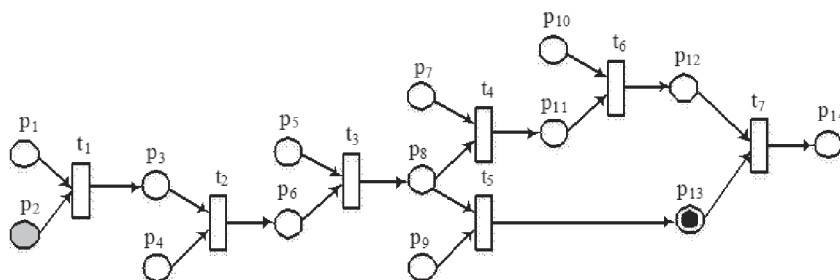


Рис. 6. Модель генерации вариантов решений шестикаскадная  
 $f^*(\sigma_w) = (0.391 \ 0.174 \ 0.13 \ -0.106 \ 0.323 \ -0.124 \ -0.267)$

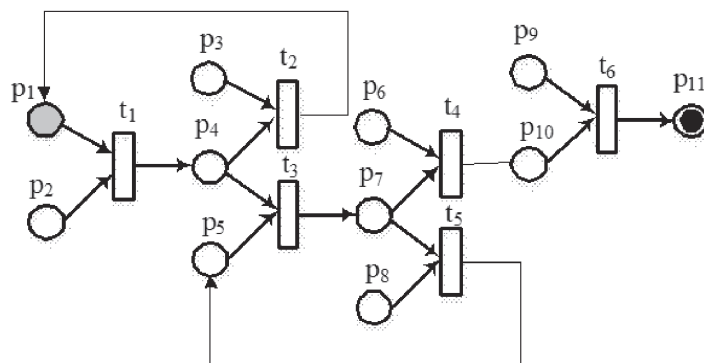


Рис. 7. Модель генерации вариантов решений четырехкаскадная с двумя обратными связями  
 $f^*(\sigma_w) = (0.273 \ -0.273 \ 0.367 \ 0.195 \ 0.18 \ 0.398)$

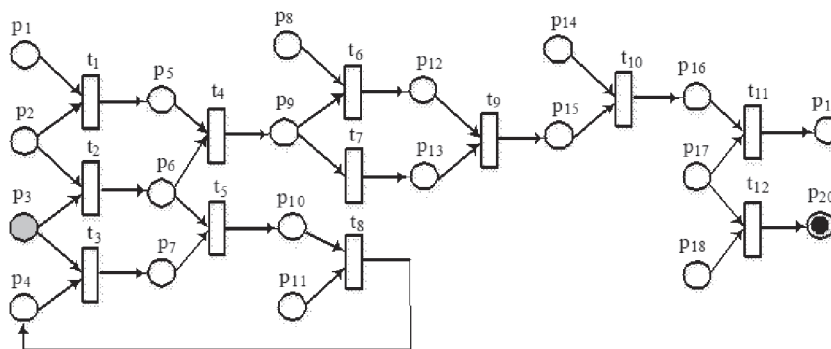


Рис. 8. Модель генерации вариантов решений шестикаскадная с обратной связью  
 $f^*(\sigma_w) = (-0.132 \ 0.337 \ 0.431 \ -0.059 \ 0.369 \ -0.034 \ 0.02 \ 0.26 \ -0.024 \ -0.057 \ -0.146 \ 0.382)$

цветом обозначены позиции, соответствующие начальному состоянию моделируемой ситуации. Черное заполнение имеется у позиций, соответствующих конечному (желаемому) состоянию.

Для построенных моделей генерации вариантов решений, представляющих собой последовательность срабатывания переходов  $f^* = (\sigma_w)$ , строится матричное уравнение вида:

$$f^* = (\sigma_w) = \left( \delta(\mu, \sigma_w) - \mu \right) \cdot D^{+1}, \quad (1)$$

где  $D^{+1}$  – псевдообратная матрица к составной матрице изменений  $D = D^+ - D^-$ ;  $D^+ = \#(p_i, O(t_j))$  – определяет выходы из переходов;  $D^- = \#(p_i, I(t_j))$  – определяет входы в переходы;  $\mu$  – начальная маркировка сети;  $w$  – шаг сети;  $\delta(\mu, \sigma_w) = \mu'$  – конечное состояние маркировки сети.

Псевдообратная матрица не является единственной и ее вид зависит от способа построения. Например, для прямоугольной матрицы можно использовать метод Мура-Пенроуза [3]: если число столбцов меньше числа строк, то

$$D^{+1} = \left( D^T \cdot D \right)^{-1} \cdot D^T.$$

Для поиска последовательности срабатывания переходов, представляющих собой вариант принятия решений в [2] был предложен численный метод, основанный на приближенном решении уравнения (1).

Рассмотрим последовательность действий, позволяющих найти приближенное решение на примере модели, изображенной на рис. 1.

$\mu = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$  – начальная маркировка сети,

$\mu' = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$  – конечная маркировка сети.

Матрица входов

$$D^- = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Матрица выходов

$$D^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица изменений

$$D = D^+ - D^- = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Псевдообратная матрица

$$D^{+1} = \left( D^T \cdot D \right)^{-1} \cdot D^T = \begin{bmatrix} -0.375 & -0.125 & 0.25 & -0.125 \\ -0.75 & -0.25 & -0.5 & -0.25 \\ -0.125 & -0.375 & -0.25 & -0.375 \\ -0.125 & -0.375 & -0.25 & -0.375 \\ -0.375 & -0.125 & -0.75 & -0.125 \\ -0.25 & 0.25 & -0.5 & -0.75 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0.375 & 0.125 & 0.75 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Подставив рассчитанные значения в уравнение (1), получим:

$$(f^*(\sigma_w) = (0.429 \ 0.143 \ 0.571 \ -0.286)). \quad (2)$$

Координаты вектора  $f^*(\sigma_w)$  говорят о возможности срабатывания соответствующих переходов. При этом если значение координаты больше нуля, то такой переход потенциально может привести к желаемой позиции, если значение координаты отрицательно, то такой переход должен быть исключен из дальнейшего рассмотрения при генерации вариантов. Из выражения (2) следует, что в рассматриваемой модели на рис. 1 переходы  $t_1$ - $t_3$  должны остаться для дальнейшего рассмотрения, а переход  $t_4$  должен быть исключен из рассмотрения. Таким образом, предложенный метод позволил исключить для модели на рис. 1 один из четырех переходов для достижения конечной маркировки сети  $\mu' = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$ .

Рассмотрим другую типовую модель процессов принятия решений (см. рис. 6). Для нее, аналогично:

$\mu = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$  – начальная маркировка сети,

$\mu' = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$  – конечная маркировка сети,

$$D^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$D^- = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$D^{+1} = \left( D^T \cdot D \right)^{-1} \cdot D^T = \begin{pmatrix} -0.383 & -0.148 & -0.061 & -0.017 & -0.017 & -0.008 & -0.008 \\ -0.383 & -0.148 & -0.061 & -0.017 & -0.017 & -0.008 & -0.008 \\ 0.235 & -0.296 & -0.122 & -0.035 & -0.035 & -0.017 & -0.017 \\ -0.148 & -0.443 & -0.183 & -0.052 & -0.052 & -0.026 & -0.026 \\ -0.061 & -0.183 & -0.487 & -0.139 & -0.139 & -0.07 & -0.07 \\ 0.087 & 0.261 & -0.304 & -0.087 & -0.087 & -0.043 & -0.043 \\ -0.017 & -0.052 & -0.139 & -0.468 & 0.103 & -0.163 & -0.02 \\ 0.026 & 0.078 & 0.209 & -0.226 & -0.226 & -0.113 & -0.113 \\ -0.017 & -0.052 & -0.139 & 0.103 & -0.468 & -0.02 & -0.163 \\ -0.008 & -0.026 & -0.07 & -0.163 & -0.02 & -0.439 & -0.153 \\ 0.008 & 0.026 & 0.07 & 0.306 & -0.123 & -0.276 & -0.133 \\ 0 & 0 & 0 & 0.143 & -0.143 & 0.286 & -0.286 \\ 0.008 & 0.026 & 0.07 & -0.123 & 0.306 & -0.133 & -0.276 \\ 0.008 & 0.026 & 0.07 & 0.02 & 0.063 & 0.153 & 0.439 \end{pmatrix}.$$

Подставив рассчитанные значения в уравнение (1), получим:

$$f^*(\sigma_w) = (0.391 \ 0.174 \ 0.13 - 0.106 \ 0.323 - 0.124 - 0.267). \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что в модели на рис. 6 должны остаться переходы  $t_1$ - $t_3$  и  $t_5$ , а переходы  $t_4$ ,  $t_6$  и  $t_7$  должны быть исключены из дальнейшего рассмотрения. Таким образом, предложенный численный метод позволил исключить для модели на рис. 6 три из семи переходов для достижения конечной маркировки сети.

Аналогичным образом был осуществлен расчет  $f^*(\sigma_w)$  для других типовых моделей (см. рис. 1-8). Под рисунками приведены результаты расчетов, показывающие возможность использования численного метода на основе псевдообратной матрицы для уменьшения числа рассматриваемых переходов, способствующих достижению желаемого состояния (позиции). Стоит отметить, что получаемый результат не определяет точно какие из переходов должны сработать

для перехода в желаемую позицию, но однозначно, дает понять какие из переходов следует исключить из рассмотрения для генерации варианта решений. В тоже время применение метода не всегда позволяет уменьшить количество рассматриваемых переходов (см. рис. 5), тем не менее его применение с учетом автоматизации расчетов необходимо для предварительного анализа на возможность исключения из рассмотрения отдельных переходов.

## ВЫВОДЫ

Принятие решений в ситуационных центрах органов внутренних дел часто происходит в условиях ограниченного времени, в связи с чем уменьшение размерности решаемой задачи, конечно же сказывается на повышении их эффективности работы. Апробация предложенного численного метода на типовых моделях доказывает возможность его применения для генерации и поиска оптимальных вариантов решений в ситуационных центрах органов внутренних дел.

Поскольку при использовании метода нет необходимости в точном расчете значений координат вектора  $f^*(\sigma_w)$ , а достаточно лишь знать знак (положительное или отрицательное) значение, то при вычислении следует ограничиваться одним значимым знаком после запятой. Это позволит уменьшить вычислительную сложность и снизить требования к используемому аппаратному и программному обеспечению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов М. С. Разработка алгоритмов и функциональных дополнений сети Петри для принятия решений ОВД при возникновении массовых беспорядков / М. С. Романов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2016. – № 1. – С. 78–85.

2. Баркалов С. А. Введение в системный анализ: монография / С. А. Баркалов, А. В. Душкин, С. А. Колодяжный, В. И. Сумин ; под общей ред. В. И. Новосельцева. – М. : Горячая линия – Телеком, 2017. – 234 с.

3. Душкин А. В. Математические модели и информационные процессы управления сложным объектом: монография / А. В. Душкин, А. С. Кравченко, В. И. Новосельцев, Т. Е. Смоленцева, В. И. Сумин. – Воронеж : Научная книга, 2014. – 125 с.

4. Пьянков О. В. Оптимизация процессов принятия решений в ситуационных центрах органов внутренних дел / О. В. Пьянков, М. С. Романов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2014. – № 1. – С. 120–129.

5. The fourteenth western meeting of the American mathematical society [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ams.org/bull/1920-26-09/S0002-9904-1920-03322-7/S0002-9904-1920-03322-7.pdf>

6. Баркалов С. А. Введение в системное проектирование интеллектуальных баз знаний: монография / С. А. Баркалов, А. В. Душкин, С. А. Колодяжный, В. И. Сумин ; под ред. В. И. Новосельцева. – М. : Горячая линия – Телеком, 2017. – 108 с.

## APPROBATION OF THE NUMERICAL METHOD OF GENERATION OF SET OF SOLUTIONS OPTIONS FOR INFORMATION SITUATIONS OF SITUATIONAL CENTERS

© 2017 O. V. Pyankov\*, M. S. Romanov\*, L. V. Rossikhina\*\*, L. V. Stepanov\*\*

\*Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia,  
pr-t Patriotov, 53, 394065, Voronezh, Russia

\*\*Voronezh institute of the Russian Federal Penitentiary Service,  
Irkutskaya St., 1a, 394072, Voronezh, Russia  
E-mail: [stepanovlv@yandex.ru](mailto:stepanovlv@yandex.ru)

Received 13.09.2017

**Annotation.** The article presents the typical model of decision-making processes in the situational centers of police department that based on Petri nets. In these models, testing is carried out numerical method generating a plurality of options for solutions of problems of department of internal affairs.

**Keywords:** numerical method; approbation; decision-making; situational center.

#### REFERENCES

1. Romanov M. S. Development of algorithms and functional additions to the Petri net for the decision making of the ATS in the event of mass riots. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2016, № 1, pp. 78–85.

2. Barkalov S. A., Dushkin A. V., Kolodyazhny S. A., Sumin V. I., Novoseltsev V. I. *Introduction to system analysis*, Moscow, Hot line - Telecom, 2017, 234 p.

3. Dushkin A. V., Novoseltsev V. I., Smolentseva T. E., Sumin V. I. *Mathematical models and information processes of complex object control*, Voronezh, Scientific book, 2014, 125 p.

4. Pyankov O. V., Romanov M. S. Optimization of decision-making processes in the situation centers of internal affairs bodies. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2014, № 1, pp. 120–129.

5. The fourteenth western meeting of the American mathematical society. <http://www.ams.org/bull/1920-26-09/S0002-9904-1920-03322-7/S0002-9904-1920-03322-7.pdf>

6. Barkalov S. A., Dushkin A. V., Kolodyazhny S. A., Sumin V. I., Novoseltsev V. I. *Introduction to the system design of intellectual knowledge bases*, Moscow, Hot line - Telecom, 2017, 108 p.

---

**Пьянков Олег Викторович** – заместитель начальника кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, кандидат технических наук, доцент. E-mail: pyankovov@vimvd.ru

**Романов Михаил Сергеевич** – инженер кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России. E-mail: m.romanov90@mail.ru

**Россихина Лариса Витальевна** – профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем, Воронежский институт ФСИН России, доктор технических наук, доцент. E-mail: rossihina\_lv@mail.ru

**Степанов Леонид Викторович** – профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем, Воронежский институт ФСИН России, доктор технических наук, доцент. E-mail: stepanovlv@yandex.ru

**Pyankov Oleg Victorovich** – the deputy chief of chair of infocommunication systems and technologies, Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia, candidate of technical sciences, assistant professor. E-mail: pyankovov@vimvd.ru

**Romanov Mikhail Sergeyevich** – engineer of the chair of infocommunication systems and technologies, Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia. E-mail: m.romanov90@mail.ru

**Rossikhina Larisa Vitalievna** – professor of the department information security telecommunication systems, Voronezh institute of the Russian Federal Penitentiary Service, doctor of technical sciences, associate professor. E-mail: rossihina\_lv@mail.ru

**Stepanov Leonid Viktorovich** – professor of the department information security telecommunication systems, Voronezh institute of the Russian Federal Penitentiary Service, doctor of technical sciences, associate professor. E-mail: stepanovlv@yandex.ru