



М. С. Романов,
кандидат технических
наук



С. А. Гречаный,
кандидат технических
наук



А. В. Сидоров,
кандидат технических
наук

**МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ
ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В ТИПОВЫХ МОДЕЛЯХ
ГЕНЕРАЦИИ ВАРИАНТОВ ДЕЙСТВИЙ СИЛ И СРЕДСТВ
В СИТУАЦИОННОМ ЦЕНТРЕ
МИНИСТЕРСТВА ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИИ**

**METHOD FOR REDUCING THE COMPUTATIONAL COMPLEXITY
OF SEARCHING FOR OPTIMAL SOLUTIONS IN TYPICAL MODELS
OF GENERATING OPTIONS FOR ACTIONS OF FORCES
AND MEANS IN THE SITUATION CENTER
OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF RUSSIA**

В статье решается задача определения математического инструментария для обеспечения поддержки принятия решений в Ситуационном центре Министерства внутренних дел России. В ходе проведения исследования процессов принятия решений выделяются классификационные признаки и разрабатываются типовые модели в виде сетей Петри.

Предлагается использовать методику генерирования различных ситуаций, возникающих при функционировании сил и средств органов внутренних дел, отличающуюся от существующих применением псевдообратной матрицы, позволяющей снизить вычислительную сложность поиска оптимального решения в разработанных математических моделях.

The article solves the problem of defining mathematical tools to support decision-making in the Situation center of the Ministry of internal Affairs of Russia. During the study of decision-making processes classification features are identified and standard models in the form of Petri nets are developed.

It is proposed to use a method of generating options for actions of forces and means that differs from the existing ones by using a pseudo-inverse matrix, which allows reducing the computational complexity of finding the optimal solution in the developed mathematical models.

Введение. Ретроспективный анализ истоков создания организационно-технических систем, направленных на повышение эффективности управленческой деятельности Министерства внутренних дел Российской Федерации, показывает, что первым нормативным правовым документом, регулирующим данную сферу деятельности, является Указ Президента Российской Федерации от 25 июля 2013 года № 648. В данном документе описывается регулирование системы ситуационных центров, распределенных территориально, но функционирующих по единому регламенту межведомственного взаимодействия.

После опубликования данного документа началась работа по созданию распределенных ситуационных центров, и различные организации, учреждения и ведомства направили свои усилия на разработку методологической, программно-аппаратной и других основ функционирования данных систем. Научные организации обратили свое внимание на актуальные проблемы управленческой деятельности МВД России с использованием информационно-коммуникационных систем и технологий. Стали активнее исследоваться следующие вопросы: сценарии развития ситуаций, зависящие от конкретного набора действий сил и средств при возникновении обстоятельств, приводящих к чрезвычайным ситуациям [1]; методы оценки вариантов принятия решений [2]; модели действий сил и средств органов внутренних дел при возникновении чрезвычайных ситуаций [3, 4]; алгоритмы оптимизации и повышения эффективности управленческих решений [5, 6] и другие.

Только спустя пять лет появляется приказ МВД России [7], направленный на организацию деятельности Ситуационного центра МВД России (СЦ МВД России) и утверждающий иерархию всех взаимодействующих субъектов, порядок функционирования СЦ МВД России и ответственных за деятельность соответствующих подразделений.

Постановка задачи. Анализ нормативной правовой, методической и научно-технической литературы показывает, что главной целью создания ситуационных центров является решение задачи эффективного управления силами и средствами. Эту задачу целесообразно решать с помощью разработки моделей функционирования организационно-технических и управленческих систем. Модели создаются с учетом специфики функционирования реальных систем. Работа с моделями исключает возможность появления нежелательных, необратимых последствий, которые могут привести к гибели людей, техногенным катастрофам, стихийным бедствиям.

Анализируя подходы к созданию математических моделей планирования действий сил и средств сложных организационно-технических систем и используя ранее приобретенный опыт [3], логично предположить, что исследования в данном направлении позволят существенно сократить время на проведение дополнительных исследований с моделями.

Перед выделением типовых моделей генерации вариантов действий сил и средств в СЦ МВД России рассмотрим разработанный метод и алгоритм генерации вариантов действий сил и средств с использованием матричной формы описания сети Петри, который был усовершенствован совместным использованием с ним метода Мура — Пенроуза.

Техника эксперимента и методика обработки. Ранее, в работе [8], был предложен способ генерации возможных решений, принимаемых в ситуационных центрах. Работа сети Петри в данном случае будет описана четверкой элементов: p_i — позиции, которые будет занимать фишка после срабатывания переходов, t_j — переходы в сети, D — матрица, определяющая входы в переходы, D^+ — матрица, определяющая выходы из переходов.

Рассмотрим пример нахождения решения $f_{nces}(\sigma) = (\mu' - \mu) \cdot D^T(DD^T)^{-1}$ на модели сети Петри (рис. 1).

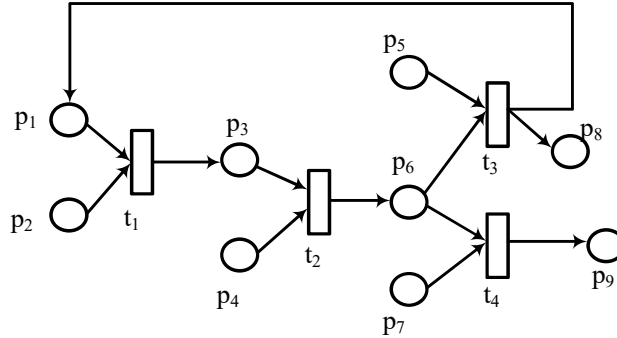


Рис. 1. Модель возможных вариантов действий группы изъятия

Начальная маркировка определяется помещением фишки в позицию p_1 . Таким образом, $\mu = [p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5 \ p_6 \ p_7 \ p_8 \ p_9] = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$. Чтобы определить конечную (необходимую) маркировку сети, нужно фишку поместить в позицию p_9 . Таким образом, $\mu' = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$.

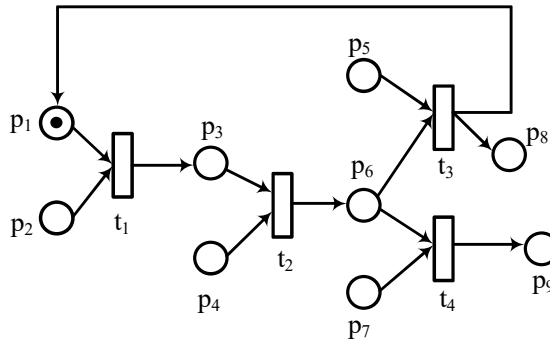


Рис. 2. Модель возможных вариантов действий группы изъятия с необходимой маркировкой

Описание позиций и переходов модели возможных вариантов действий группы изъятия приведено в табл. 1.

Для вычисления составной матрицы D вычисляем вначале матрицы входов D^- и выходов D^+ :

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

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

$$D = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Таблица 1

Описание элементов математической модели на рис. 2

№ п.п.	Обозначение позиции	Назначение позиции
1	p_1	Группа изъятия находится в режиме ожидания.
2	p_2	Группа изъятия получает приказ к активным действиям.
3	p_3	Группа изъятия проводит действия, направленные на деактивацию правонарушителей.
4	p_4	Группа изъятия докладывает о выполнении приказа.
5	p_5	Группа изъятия получает информацию об увеличении количества противоправных действий.
6	p_6	Группа изъятия ожидает приказ к активным действиям от руководителя ситуационного центра.
7	p_7	Группа изъятия получает информацию об уменьшении количества противоправных действий и подготовке к возвращению в оперативный штаб.
8	p_8	Группа изъятия готова к выполнению новых команд.
9	p_9	Группа изъятия завершила работу и вернулась в оперативный штаб.
10	$t_1 - t_4$	Переходы, которые обозначают смену состояния модели.

Обратной матрицы для D не существует, для ее нахождения воспользуемся псевдообратной матрицей так, что

$$D^{+1} = D^T (DD^T)^{-1} = \begin{pmatrix} -0.375 & -0.125 & 0.25 & -0.125 \\ -0.75 & -0.25 & -0.5 & -0.25 \\ -0.125 & -0.375 & -0.25 & -0.375 \\ -0.125 & -0.375 & -0.25 & -0.375 \\ -0.375 & -0.125 & -0.75 & -0.125 \\ -0.25 & 0.25 & -0.5 & -0.75 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0.375 & 0.125 & 0.75 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Подставляя значения в выражение для нахождения $f_{псев}(\sigma)$, получим

$$f_{псев}(\sigma) = (0.375 \quad 0.125 \quad -0.25 \quad 1.125). \quad (1)$$

Введем правило:

Если $e[j_i] \leq 0$, то переход исключается из дальнейшего рассмотрения модели сети Петри, если $e[j_i] > 0$, то переход не исключается из дальнейшего рассмотрения модели сети Петри, а позиции, выходящие из этого перехода, будут внесены в перечень возможных к исполнению. Таким образом, выражение (1) показывает, что в модели действий группы изъятия для достижения желаемой конечной маркировки должны срабо-

тать переходы t_1, t_2, t_4 . Зная матрицу входов, легко определить перечень позиций, в которых должны находиться фишки, для срабатывания соответствующих переходов: для перехода t_1 — p_1 и p_2 ; для перехода t_2 — p_3 и p_4 ; для перехода t_4 — p_6 и p_7 .

Полученные результаты соответствуют логике работы рассматриваемой сети Петри.

В результате анализа действий сил средств в органах внутренних дел при решении задач оперативного штаба можно привести классификацию, которая направлена на унификацию моделей, создаваемых для оперативного исследования ситуации. Такими классификационными признаками будут:

1) множество переходов между начальной и конечной (желаемой) позицией: однокаскадные (рис. 11), многокаскадные (рис. 3);

2) возникновение ситуаций, когда очередные переходы осуществляются в предшествующие, то есть этот процесс можно охарактеризовать как модель с обратной связью (наличие циклов): с обратной связью (рис. 4, 5, 7, 9, 10), без обратной связи (рис. 3, 6, 8, 11, 12);

3) число обратных связей: одна обратная связь (рис. 4, 5, 7), две и более обратных связей (рис. 9, 10);

4) нахождение конечной маркировки в позициях модели: в конце (рис. 3—7, 9—12) или на промежуточном этапе сети Петри (рис. 8).

Предложенные классификационные признаки позволяют создать типовые модели генерации возможных действий сил и средств в ситуационных центрах (см. рис. 3—12). Начальная маркировка соответствует серому цвету позиции в модели. Черная фишка соответствует конечной, необходимой для успешного выполнения задач, маркировке.

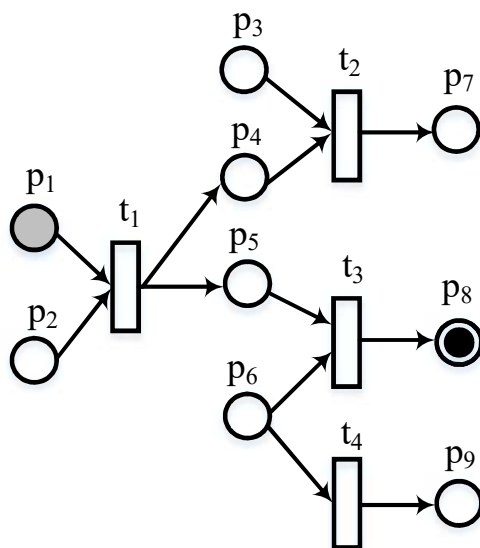


Рис. 3. Модель генерации вариантов решений двухкаскадная с прямой связью $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,429 \ 0,143 \ 0,571 \ -0,286)$

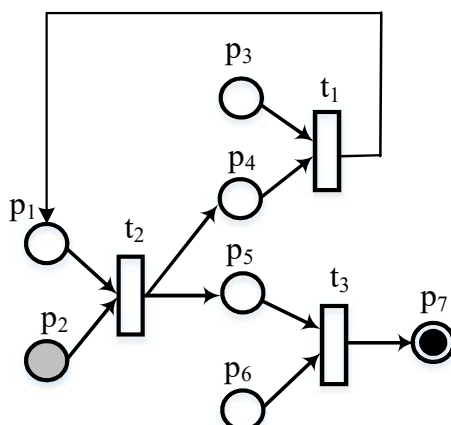


Рис. 4. Модель генерации вариантов решений двухкаскадная с обратной связью
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,381 \ 0,571 \ 0,524)$

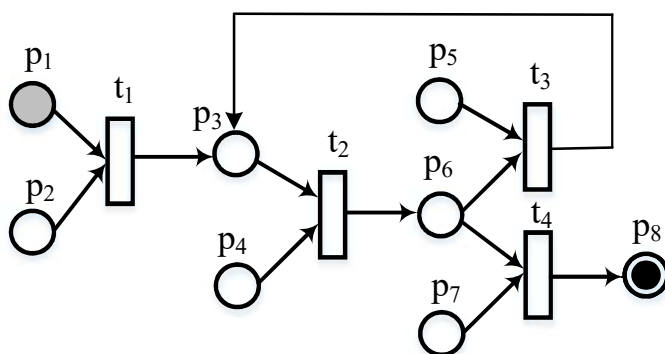


Рис. 5. Модель генерации вариантов решений трехкаскадная с обратной связью
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,545 \ 0,818 \ 0,182 \ 0,545)$

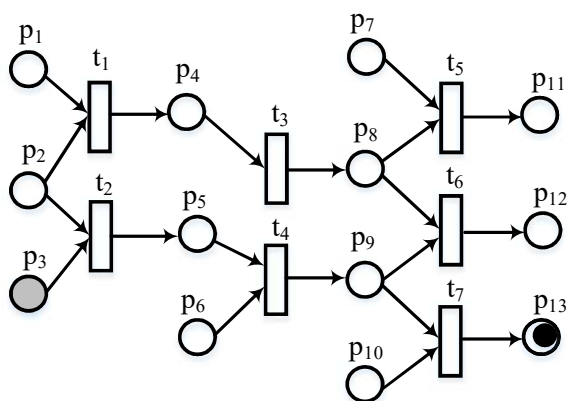


Рис. 6. Модель генерации вариантов решений трехкаскадная
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (-0,078 \ 0,459 \ 0,226 \ 0,073 \ 0,428 \ -0,057 \ 0,043)$

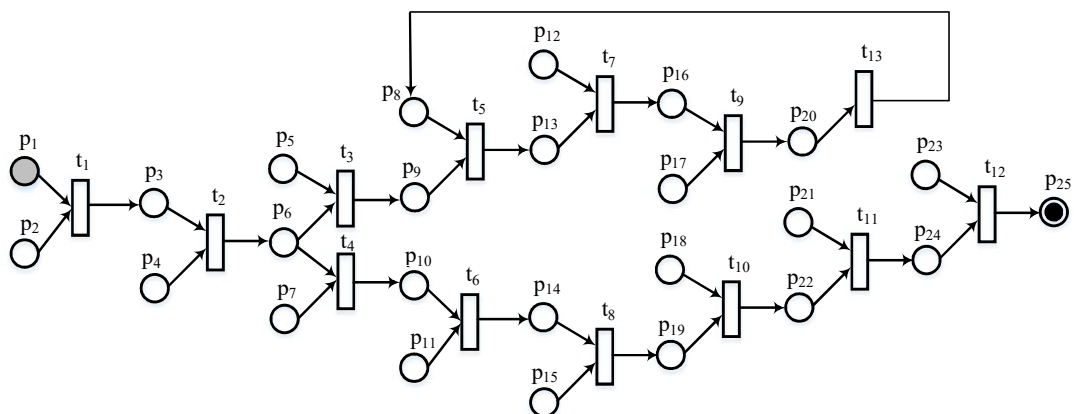


Рис. 7. Модель генерации вариантов решений восьмикаскадная с обратной связью
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,387 \ 0,16 \ 0,046 \ 0,025 \ 0,024 \ 0,012 \ 0,028 \ 0,009 \ 0,058 \ 0,147 \ 0,382 \ 0,017)$

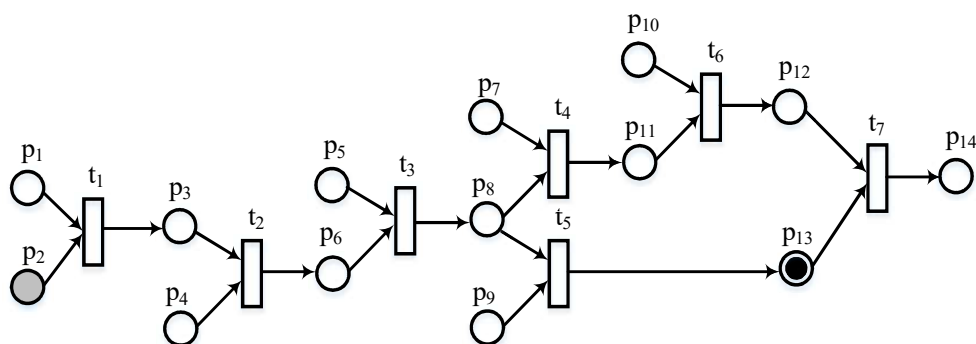


Рис. 8. Модель генерации вариантов решений шестикаскадная
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,391 \ 0,174 \ 0,13 \ -0,106 \ 0,323 \ -0,124 \ -0,267)$

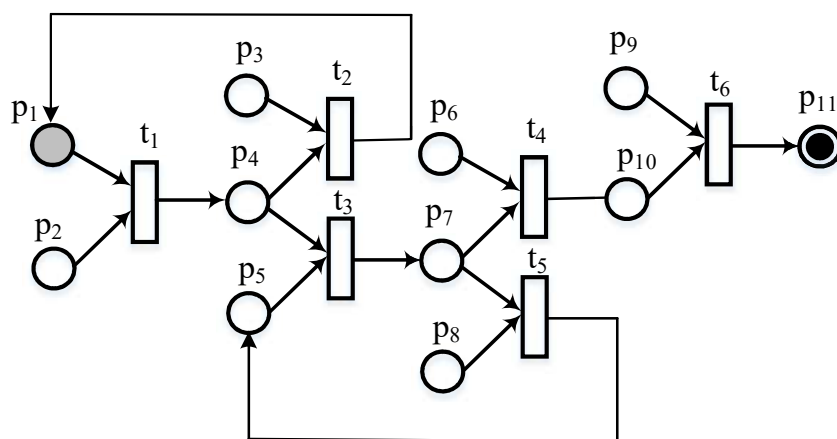


Рис. 9. Модель генерации вариантов решений четырехкаскадная с двумя обратными связями
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,273 \ -0,273 \ 0,367 \ 0,195 \ 0,18 \ 0,398)$

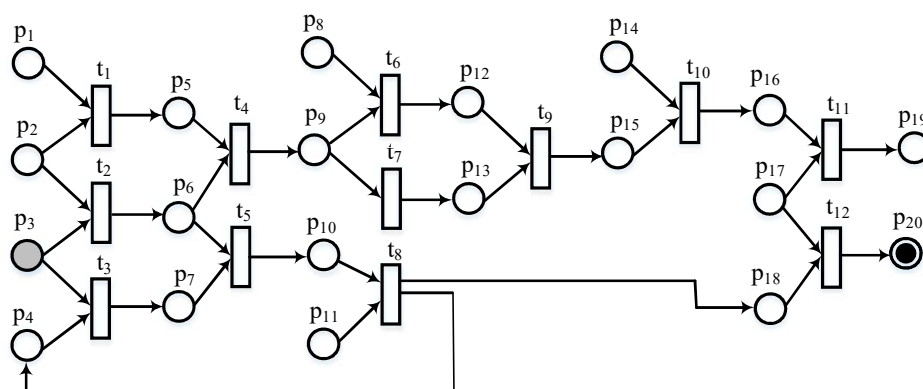


Рис. 10. Модель генерации вариантов решений шестикаскадная с обратной связью
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (-0,132 \ 0,337 \ 0,431 \ 0,059 \ 0,369 \ 0,034 \ 0,02 \ 0,26 \ -0,024 \ -0,057 \ -0,146 \ 0,382)$

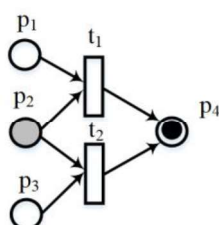


Рис. 11. Модель генерации вариантов решений с двумя альтернативными путями
 $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,4 \ 0,4)$

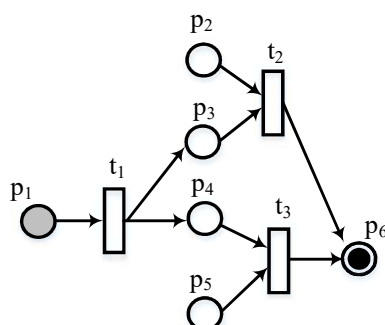


Рис. 12. Модель генерации вариантов решений двухкаскадная с двумя альтернативными путями $f_{\text{псев}}(\sigma_w) = (0,6 \ 0,4 \ 0,4)$

Результаты исследования и их анализ. 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 значений координат вектора $f_{\text{псев}}(\sigma_w)$ следует, что в рассматриваемой модели на рис. 3 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 один из четырех переходов для достижения конечной маркировки сети $\mu' = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$.

Из значений координат вектора $f_{\text{псев}}(\sigma_w)$ 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 три из семи переходов для достижения конечной маркировки сети.

Заключение. Апробация предложенной методики снижения вычислительной сложности поиска оптимальных решений в типовых моделях генерации вариантов действий сил и средств в СЦ МВД России на типовых моделях доказывает возможность ее применения для генерации и поиска вариантов решений в СЦ МВД России.

Поскольку при использовании метода нет необходимости в точном расчёте значений координат вектора $f_{\text{псев}}(\sigma_w)$, 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.

В дальнейшем исследовании планируется спрогнозировать возможные сценарии функционирования СЦ МВД России. Для оптимизации управленческих решений к каждому сценарию будет применена разработанная методика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов М. С. Разработка сценария многовариантного процесса принятия решений в органах внутренних дел при возникновении межнационального конфликта // Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных телекоммуникационных систем : сборник материалов. — Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2015. — С. 170—172.
2. Меньших В. В., Пастушкова Е. А. Методы оценки вариантов принятия решений в системах управления с функционально избыточным набором действий // Вестник Воронежского института МВД России. — 2014. — № 3. — С. 48—57.
3. Гречаный С. А., Романов М. С. Задача разработки математических моделей оптимальной территориально распределенной системы централизованного наблюдения Росгвардии // Вестник Воронежского института МВД России. — 2018. — № 2. — С. 94—101.
4. Романов М. С. Результаты имитационного моделирования многовариантного сценария принятия решений в ситуационных центрах ОВД // Вестник Воронежского института МВД России. — 2016. — № 4. — С. 185—194.
5. Меньших В. В., Горлов В. В. Оптимизация действий органов внутренних дел при чрезвычайных обстоятельствах криминального характера // Информационная безопасность регионов. — 2014. — № 3(16). — С. 81—87.
6. Романов М. С. Разработка алгоритмов и функциональных дополнений сети Петри для принятия решений ОВД при возникновении массовых беспорядков // Вестник Воронежского института МВД России. — 2016. — № 1. — С. 78—85.
7. Об утверждении Положения о Ситуационном центре Министерства внутренних дел Российской Федерации и Регламента работы Ситуационного центра : приказ МВД России от 16.11.2018 № 775 [Электронный ресурс] // СТРАС «Юрист».
8. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М. : Мир, 1984. — 264 с.

9. The fourteenth western meeting of the American mathematical society [Электронный ресурс]. — URL : <http://www.ams.org/bull/1920-26-09/S0002-9904-1920-03322-7/S0002-9904-1920-03322-7.pdf> (дата обращения: 12.12.2019).

10. Апробация численного метода генерации множества вариантов решений информационных задач ситуационных центров / М. С. Романов [и др.] // Вестник Воронежского института ФСИН России. — 2017. — № 3.

REFERENCES

1. Romanov M. S. Razrabotka stseneriya mnogovariantnogo protsessa prinyatiya resheniy v organakh vnutrennikh del pri vozniknovenii mezhnatsionalnogo konflikta // Aktualnyye voprosy ekspluatatsii sistem okhrany i zashchishchennykh telekommunikatsionnykh sistem : sbornik materialov. — Voronezh : Voronezhskiy institut MVD Rossii. — 2015. — S. 170—172.

2. Menshikh V. V., Pastushkova E. A. Metody otsenki variantov prinyatiya resheniy v sistemakh upravleniya s funktsionalno izbytochnym naborom deystviy // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2014. — № 3. — S. 48—57.

3. Grechanyy S. A., Romanov M. S. Zadacha razrabotki matematicheskikh modeley optimalnoy territorialno raspredelennoy sistemy tsentralizovannogo nablyudeniya Rosgvardii // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2018. — № 2. — S. 94—101.

4. Romanov M. S. Rezultaty imitatsionnogo modelirovaniya mnogovariantnogo stseneriya prinyatiya resheniy v situatsionnykh tsentrakh OVD // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2016. — № 4. — S. 185—194.

5. Menshikh V. V., Gorlov V. V. Optimizatsiya deystviy organov vnutrennikh del pri chrezvychaynykh obstoyatelstvakh kriminalnogo kharaktera // Informatsionnaya bezopasnost regionov. — 2014. — № 3(16). — S. 81—87.

6. Romanov M. S. Razrabotka algoritmov i funktsionalnykh dopolneniy seti Petri dlya prinyatiya resheniy OVD pri vozniknovenii massovykh besporyadkov // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. — 2016. — № 1. — S. 78—85.

7. Ob utverzhdenii Polozheniya o Situatsionnom tsentre Ministerstva vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii i Reglamenta raboty Situatsionnogo tsentra : prikaz MVD Rossii ot 16.11.2018 № 775 [Elektronnyy resurs] // STRAS «Yurist».

8. Piterson Dzh. Teoriya setey Petri i modelirovaniye sistem. — M. : Mir. 1984. — 264 s.

9. The fourteenth western meeting of the American mathematical society [Elektronnyy resurs]. — URL : <http://www.ams.org/bull/1920-26-09/S0002-9904-1920-03322-7/S0002-9904-1920-03322-7.pdf> (data obrashcheniya: 12.12.2019).

10. Aprobatsiya chisleinnogo metoda generatsii mnozhestva variantov resheniy informatsionnykh zadach situatsionnykh tsentrov / M. S. Romanov [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. — 2017. — № 3.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Романов Михаил Сергеевич. Преподаватель кафедры радиотехнических систем и комплексов охранного мониторинга. Кандидат технических наук.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: m.romanov90@mail.ru.

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 200-52-81.

Гречаный Сергей Анатольевич. Начальник кафедры радиотехнических систем и комплексов охранного мониторинга. Кандидат технических наук.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: grechan7777@mail.ru.

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 200-52-02.

Сидоров Александр Викторович. Доцент кафедры радиотехнических систем и комплексов охранного мониторинга. Кандидат технических наук.

Воронежский институт МВД России.

E-mail: fisherman.16.10.1980@gmail.com

Россия, 394065, Воронеж, проспект Патриотов, 53. Тел. (473) 200-52-84.

Romanov Mikhail Sergeyevich. Lecturer of the chair of Radio Engineering Systems and Complexes of Security Monitoring. Candidate of Engineering Sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

E-mail: m.romanov90@mail.ru.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 200-52-81.

Grechanyi Sergej Anatol'evich. Chief of the chair of Radio Engineering Systems and Complexes of Security Monitoring. Candidate of Engineering Sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

E-mail: grechan7777@mail.ru.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 200-52-02.

Sidorov Aleksandr Viktorovich. Associate Professor of the chair of Radio Engineering Systems and Complexes of Security Monitoring. Candidate of Engineering Sciences.

Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia.

E-mail: fisherman.16.10.1980@gmail.com.

Work address: Russia, 394065, Voronezh, Prospect Patriotov, 53. Tel. (473) 200-52-84.

Ключевые слова: математическая модель; ситуационный центр; принятие решений; сети Петри.

Key words: mathematical model; situation center; decision making; Petri nets.

УДК 519.673