

**В. Н. Костин**, канд. техн. наук, доц., e-mail: vladimirkostin5@mail.ru,  
Оренбургский государственный университет

## **Оценка потенциала опасности критически важных объектов при возникновении чрезвычайных ситуаций на основе информационно вероятностного метода и главных компонент**

*Рассматривается один из подходов к оценке значения потенциала опасности при возникновении чрезвычайной ситуации на критически важных объектах с использованием информационно вероятностного метода и главных компонент. Каждый категорируемый объект описывается множеством неоднородных характеристик опасности в виде частных видов потерь при возникновении чрезвычайной ситуации от воздействия нарушителей. Информация обрабатывается методом главных компонент, формируется матрица факторных нагрузок, на основе которой проводится анализ связей и значимости влияния частных видов потерь на потенциал опасности объекта. Переходя к матрице главных компонент категорируемых объектов, можно получить весовые значения вклада компонент в потенциал опасности объекта при возникновении чрезвычайной ситуации. Для каждой категории критически важных объектов на основе информационно вероятностного метода определен потенциал опасности и необходимый (требуемый) уровень защищенности от воздействия нарушителей. Полученные результаты могут использоваться при обосновании требований к уровню защищенности каждой категории критически важных объектов и определении базового типового нарушителя.*

**Ключевые слова:** связь признаков, метод главных компонент, информационно вероятностный метод, потенциал опасности, энтропия

### **Введение**

Одним из приоритетных направлений деятельности власти любого уровня является обеспечение безопасности и противодействие терроризму, так как это напрямую определяет ее авторитет и устойчивость. Актуальность исследований связана с возрастанием требований руководства страны к решению проблемы безопасности критически важных объектов (КВО).

Для оценки последствий воздействия нарушителей необходимо определить степень опасности объектов через частные виды и масштабы потерь, которые выражены в виде потенциалов опасности. Иными словами, необходимо оценить опасность каждой категории объектов при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС) от воздействия нарушителя. Данная задача решается для дифференцирования необходимых требований при определении степени защищенности КВО.

Данная задача рассматривалась в работах [1–4] при решении вопросов категорирования КВО по их потенциальной опасности при возникновении ЧС. При этом использовались в ос-

новном экспертные методы [1], где присутствует элемент субъективизма, или основы теории нечеткой логики и нечетких гиперграфов [2].

При анализе методики категорирования НПП "Иста-Системс" [1] вызывает сомнение использование линейной шкалы (от единицы до шести) для оценки масштабов частных видов потерь при возникновении ЧС. Методы исследований в источнике [2] не позволяют оценить связь частных видов потерь и их весовой вклад в формирование потенциала опасности объекта.

В работах [3, 4] для оценки опасности КВО были использованы многокритериальные оценки в виде перечневых классификаторов для определения категории опасности объекта. Оценка степени опасности выполняется по четырем категориям, что приводит к попаданию в одну категорию объектов со значимым различием потенциалов опасности.

В работе [5] проведен анализ всех методов определения опасности и в качестве наилучшей определена методика, представленная в работе [1]. Недостатком данной методики является

**Последствия ЧС для категорируемых объектов  
по шестибалльной шкале**

Частные виды потерь	Категория объекта						
	1	2	3	4	5	6	7
Политические	5	4	4	3	2	2	1
Людские	5	5	4	3	2	2	1
Финансовые	6	5	4	3	3	2	1
Экономические	6	5	4	3	3	2	1
Экологические	6	5	4	4	3	2	2
Информационные	6	5	5	4	3	2	2

использование шестибалльной линейной шкалы оценки масштабов потерь, что вызывает сомнения из-за узкого диапазона изменения и не согласованности с действительными характеристиками потерь при возникновении ЧС.

Среди зарубежных авторов М. Гарсия [6] рассматривает вопросы оценки рисков объектов при нарушении безопасности. Объекты защиты исследуются с позиции их структуры и характеристик для ответа на вопрос "что защищать?". Однако оценка потенциальной опасности объекта для определения критериев защищенности от действий нарушителей не проводится.

В данной статье предлагается на основе метода главных компонент (МГК) проанализировать связь между характеристиками частных видов потерь, формирующих потенциал опасности объекта при возникновении ЧС, и на основе информационно вероятностного метода (ИВМ) оценить энтропийный потенциал опасности каждой категории объектов. Достоинство предлагаемого решения заключается в обработке одной и той же информации разными математическими методами с последующим анализом результатов. Отличие предлагаемого подхода от имеющихся состоит в переходе от шестибалльной шкалы к энтропийной нелинейной шкале потерь в целях повышения достоверности оценки опасности КВО при возникновении ЧС. По результатам оценки опасности категорий можно предложить соответствующий уровень вероятности нахождения объекта в безопасном состоянии.

### 1. Постановка задачи

Необходимо на основе ИВМ и МГК оценить структурную связь характеристик опасности в виде частных потерь на КВО при возникновении ЧС и формализовать (интерпретировать) физический смысл содержания основных компонент матрицы нагрузок, определяющих потенциал опасности объекта. На основе полученной информации оценить потенциал опасности каждой категории объектов и предложить требуемый (необходимый) уровень их защиты.

### 2. Решение задачи

Результаты исследований, полученные в статье [7], являются исходными данными для решения задачи МГК. В табл. 1 представлены результаты оценок опасности последствий ЧС категорируемых объектов в виде частных видов и масштабов потерь по шестибалльной шкале на основе методики НПП "Иста-Системс" [1].

В табл. 1 для оценки потенциальной опасности объекта введены шесть частных видов потерь и масштабов потерь, которые выражены потенциалами опасности [1]. Частные виды потерь:

- политические (определяются снижением всех уровней авторитета властей и общей нестабильностью);
- людские (потери жизни людей и их здоровья);
- финансовые (утрата материальных ценностей);
- экономические (учитывают затраты на переселение людей из зоны аварий и связанные с этим компенсационные выплаты);
- экологические (потери природных ресурсов, приводящие к ухудшению экологической обстановки в регионе);
- информационные (потери, заключающиеся в утрате художественных ценностей, передовых технологий, конфиденциальной информации).

Для каждого вида частных потерь задается уровень (масштаб) потенциальных потерь по шестибалльной шкале:

- 1 — локальный (ущерб в пределах территории объекта);
- 2 — местный (ущерб в пределах территории населенного пункта);
- 3 — территориальный (ущерб пределах территории субъекта РФ);
- 4 — региональный (ущерб в масштабе двух субъектов РФ);
- 5 — государственный (ущерб, в масштабе более чем двух субъектов РФ);
- 6 — межгосударственный (ущерб выходит за пределы РФ).

Шестибалльная шкала потерь является линейной функцией, что вызывает сомнение. Кроме того, значения в баллах масштаба потерь не отражает действительный уровень ущерба. Проведенные исследования в статье [8] определили каждому уровню потерь соответ-

Масштабы потерь при ЧС по шестибальной и энтропийной шкале

Оценочные шкалы	Масштаб потерь					
	Локальный	Местный	Территориальный	Региональный	Государственный	Межгосударственный
Пострадало людей	Не более 10	Не более 50	Не более 50	Свыше 50, но не более 500	Свыше 50, но не более 500	Свыше 500
Размер материального ущерба (млн руб.)	Не более 0,1	Не более 5	Не более 5	Свыше 5, но не более 500	Свыше 50, но не более 500	Свыше 500
Масштаб частных видов потерь по шестибальной шкале	1	2	3	4	5	6
Энтропийная шкала ( $H$ )	0,007	0,116	0,173	0,555	0,621	0,878

ствующую энтропийную ( $H$ ) величину ущерба, которая имеет нелинейный характер, кроме того, минимальный и максимальный масштаб потерь отличается не в шесть раз, а на два порядка. Это более соответствует действительной ситуации. Результаты энтропийной оценки масштаба потерь приведены в табл. 2 и рис. 1 (см. третью сторону обложки).

В табл. 1 перейдем от шестибальной к энтропийной шкале опасности и получим результаты, представленные в табл. 3.

Для определения системных связей между частными видами потерь матрицы наблюдений использовался один из главных методов факторного анализа — МГК [9]. МГК позволяет на основе данных корреляционной матрицы разделить совокупность ортогональных векторов (компонент) или направлений по числу рассматриваемых переменных. Указанные векторы соответствуют собственным векторам и собственным значениям корреляционной матрицы. В МГК собственные значения выделяются в порядке убывания, что существенно для описания данных в случае использования лишь незначительного числа компонент.

МГК ориентирован на дисперсии. Хотя несколько компонент могут выделить большую часть суммарной дисперсии переменных, однако для точного воспроизведения корреляции между переменными требуются все компоненты.

Результаты компонентного анализа потенциально опасных объектов по исходным данным табл. 3 приведены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что все виды частных потерь объединились в первой компоненте — интерпретируем ее как "потенциал опасности" объекта при возникновении ЧС. Первая ком-

Таблица 3

Последствия ЧС для категорируемых объектов по энтропийной шкале

Частные виды потерь	Категория объекта						
	1	2	3	4	5	6	7
Политические	0,621	0,555	0,173	0,173	0,116	0,116	0,007
Людские	0,621	0,555	0,555	0,173	0,116	0,116	0,007
Финансовые	0,621	0,621	0,555	0,173	0,116	0,116	0,007
Экономические	0,878	0,621	0,555	0,173	0,116	0,116	0,007
Экологические	0,878	0,621	0,555	0,173	0,173	0,116	0,116
Информационные	0,878	0,621	0,555	0,173	0,173	0,116	0,116

Таблица 4

Оценка характеристик объектов по матрице факторных нагрузок

Частные виды потерь	Факторные нагрузки					
	$F_1$ потенциал опасности	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$
Политические	0,987	-0,115	-0,061	0	0,031	0
Людские	0,990	-0,152	0,15	-0,103	-0,039	0
Финансовые	0,987	-0,135	-0,031	0,067	-0,018	0
Экономические	0,987	-0,135	-0,08	-0,062	0,062	0
Экологические	0,952	0,291	-0,134	0	-0,076	0
Информационные	0,960	0,262	0,133	0,088	0,014	0

понента составляет 78 % информационной нагрузки, вторая 10 %. Остальные компоненты малозначимы.

Перейдем от матрицы факторных нагрузок к матрице главных компонент категорируемых объектов (табл. 5).

Из табл. 5 видно, что все категории объектов по первой компоненте расположились по убыванию привлекательности относительно начало координат. По первой компоненте  $F_1$

Таблица 5

## Оценка категорируемых объектов по факторным нагрузкам

Категории объектов	Энтропийный потенциал опасности	Факторные нагрузки					
		$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$
1	0,584	1,625	0,034	-0,443	0,269	1,47	0
2	0,471	1,021	-0,538	-0,149	0,558	-1,9	0
3	0,443	0,629	-0,203	1,825	0,612	0,086	0
4	0,355	-0,406	2,385	-1,515	-0,653	-0,155	0
5	0,122	-0,877	-0,56	0,384	-1,701	0,06	0
6	0,082	-0,953	-0,706	-0,102	1,515	0,44	0
7	0,053	-1,039	-0,412	-0,201	0,073	-0,179	0

наиболее привлекательными являются объекты первой и второй категории. Седьмая категория самая не привлекательная.

В табл. 5 с помощью информационно вероятностного метода [7] по факторным нагрузкам  $F_1$  и  $F_2$  оценили энтропийный потенциал опасности категорируемых объектов. Уровень опасности при возникновении ЧС на категорируемых объектах носит нелинейный логарифмический характер (рис. 2, см. третью сторону обложки). Анализ результатов показывает, что математический аппарат адекватно отражает физическую сущность категорий объектов.

Соотношения степени опасности между максимальной и минимальной категориями объекта составляет порядка тринадцати раз. Это более логичный результат, чем в методике оценки опасности категорируемых объектов у авторов работы [1], которые оценивают соотношение потенциалов только в шесть раз. Ре-

Таблица 6

## Энтропийный потенциал и вероятность безопасного состояния объекта

Категория объекта	Энтропийный потенциал опасности	Вероятность $P$ безопасного состояния объекта
1	1,371	0,95
2	1,182	0,90
3	1,011	0,86
4	0,422	0,69
5	0,249	0,65
6	0,206	0,63
7	0,102	0,60

зультат при использовании энтропийных оценок опасности последствий [8] является более точным.

Степень опасности категорируемых объектов в виде энтропийного потенциала опасности также можно оценить по входным данным из табл. 3, а результаты оценки энтропийного потенциала каждой категории представлены в табл. 6. Из табл. 6 видно, что потенциал опасности объектов первой категории превышает потенциал шестой категории объектов почти в 13 раз. Результаты согласуются с МГК, однако информационно вероятностный метод в отличие МГК использует 100 % информации.

Показателем защищенности объекта выберем вероятность его безопасного состояния. Имея потенциалы опасности категорируемых объектов, можно определить показатель их защищенности (вероятность безопасного состояния) как функцию потенциала опасности. Иными словами, требуется обосновать шкалу критерия эффективности системы физической защиты в зависимости от категории объекта. Очевидно, должно быть соответствие между потенциалом опасности категории и степенью его защищенности, т.е. характер изменения зависимостей должен быть подобный. Функцию изменения энтропийных потенциалов от номера категории свяжем с требуемым значением вероятности безопасного состояния по первой категории (за верхнюю оценку принято значение вероятности защиты 0,95 — величина, близкая к предельной) и последней категории (чувствительность датчика обнаружения — 0,65 и вероятность своевременной нейтрализации 0,9). Таким образом, сопоставим каждой категории требуемую защищенность. Характер изменения энтропии опасности объектов и их вероятности безопасного состояния, как подобные величины, приведены в табл. 6 и на рис. 3 (см. третью сторону обложки).

Анализ графиков показывает нелинейный характер зависимости потенциала опасности категорируемых объектов и соответствующего им показателя вероятности безопасного состояния объектов.

### Заключение

При системном анализе КВО — интегральной характеристикой категорируемых объектов, определяющих их привлекательность, является потенциал опасности объекта при возникновении ЧС. Характеристики частных потерь определяют потенциал опасности категории объектов, который формирует потенциал

ее привлекательности. Потенциал опасности первой категории КВО превосходит седьмую категорию в тринадцать раз. Распределение потенциалов опасности категорий КВО носит нелинейный характер, следовательно, и распределение показателей их защищенности носит нелинейный характер. Полученные результаты могут использоваться при принятии решений обоснованных требований к безопасности категоризируемых объектов.

#### Список литературы

1. Бояринцев А. В., Бражник А. Н., Зуев А. Г. Проблемы антитерроризма: Категорирование и анализ уязвимости объектов. СПб.: ЗАО "ИСТА — Системс", 2006. 252 с.
2. Боровский А. С., Тарасов А. Д. Автоматизированное проектирование и оценка систем физической защиты потенциально опасных (структурно сложных) объектов. Часть 1. Системный анализ проблемы проектирования и оценки

систем физической защиты. Самара; Оренбург: СамГУПС, 2012. 155 с.

3. Зуев А. Г. Категорирование потенциально опасных объектов как основа создания эффективных систем обеспечения безопасности // Системы безопасности. 2002. № 3 (45).
4. Вишняков С. М. Функциональная опасность, безопасность и значимость объектов. Часть 1 // Системы безопасности. 2006. № 2. Часть 2 // Системы безопасности. 2006. № 3.
5. Панин О. А. Категорирование объектов для создания эффективных систем физической защиты // БДИ. 2007. № 1. С. 70.
6. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты: Пер. с англ. М.: ООО "Издательство АСТ", 2002. 386 с.
7. Костин В. Н. Информационно вероятностный метод формирования категорий потенциально опасных объектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 6(132). С. 43—56.
8. Костин В. Н. Оценка величины значимости чрезвычайных ситуаций на основе информационно вероятностной модели // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2019. № 3. С. 21—32.
9. Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Статистика, 1972. 447 с.

V. N. Kostin., Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, e-mail: vladmirkostin5@mail.ru,  
Department of Software for Computer Engineering and Automated Systems (POVTAS),  
Faculty of Mathematics and Information Technology, Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

## Assessment of the Hazard Potential of Critical Facilities during Emergency Situations Based on Information Probabilistic Method and Principal Components

*One of the approaches to assessing the magnitude of the hazard potential in emergency situations at critical facilities using the information-probabilistic method and the main components is considered. Each categorized object is described by a variety of heterogeneous hazard characteristics in the form of private types of losses in the event of emergencies from the impact of violators. The information was processed by the principal component method, a matrix of factor loads was formed, on the basis of which an analysis was made of the relationships and the significance of the influence of particular types of losses on the hazard potential of the facility. Moving to the matrix of the main components of categorized objects, we obtained weighted values of the contribution of the components to the hazard potential of the object in case of emergency. For each category of critical objects, on the basis of the probabilistic information method, the hazard potential and the necessary (required) level of protection from the influence of violators are determined. The results can be used to justify the requirements for the level of security of each category of critical objects and determine the basic type of intruder.*

**Keywords:** connection of signs; principal component method, probabilistic information method, hazard potential, entropy

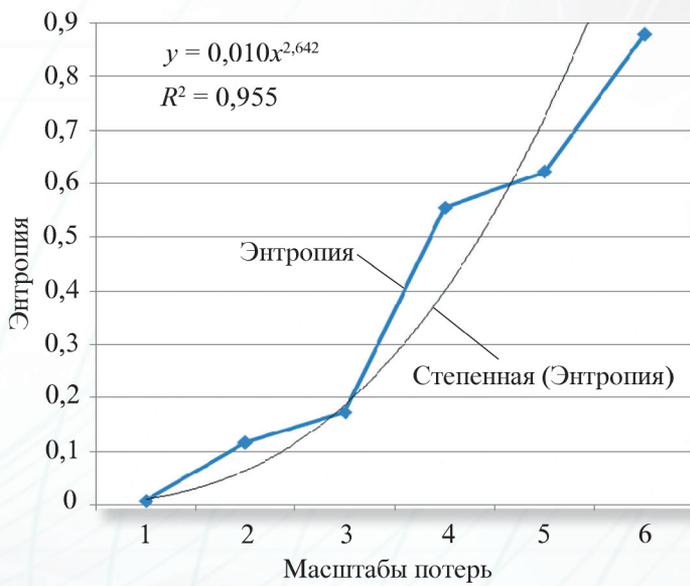
DOI: 10.17587/it.26.297-301

#### References

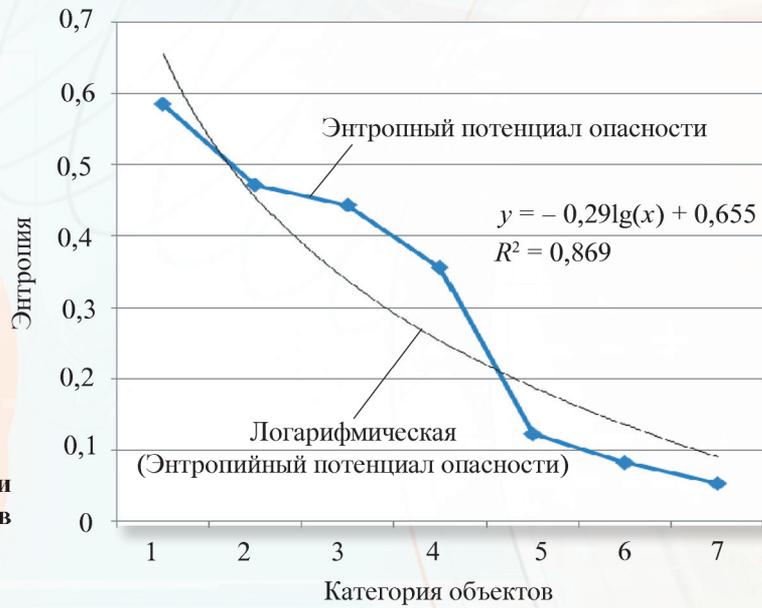
1. Boyarintsev A. V., Brazhnik A. N., Zuyev A. G. Problemy antiterrorizma: Kategorirovaniye i analiz uyazvimosti ob'yektov, SPb., ZAO "ISTA — Sistems", 2006, 252 p. (in Russian).
2. Borovskiy A. S., Tarasov A. D. Avtomatizirovannoye proyektirovaniye i otsenka sistem fizicheskoy zashchity potentsial'no opasnykh (strukturno slozhnykh) ob'yektov. Chast' 1. Sistemnyy analiz problemy proyektirovaniya i otsenki sistem fizicheskoy zashchity, Samara, Orenburg, SamGUPS, 2012, 155 p. (in Russian).
3. Zuyev A. G. *Sistemy bezopasnosti*, 2002, no. 3 (45) (in Russian).

4. Vishnyakov S. M. Functional danger, safety and significance of objects. Part 1, *Sistemy Bezopasnosti*, 2006, no. 2; Part 2, *Sistemy Bezopasnosti*, 2006, no. 3 (in Russian).
5. Panin O. A. *BDI*, 2007, no. 1, p. 70.
6. Garsia M. Design and evaluation of physical protection systems, Moscow, Mir, ООО "Izdatel'stvo AST", 2002, 386 p. (in Russian).
7. Kostin V. N. *Vestnik komp'yuternykh i informa-tsiionnykh tekhnologiy*, 2015, no. 6(132), pp. 43—56 (in Russian).
8. Kostin V. N. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Komp'yuternyye sistemy*, 2019, no. 3, pp. 21—32 (in Russian).
9. Kharman G. Modern factor analysis, Moscow, Statistika, 1972, 447 p. (in Russian).

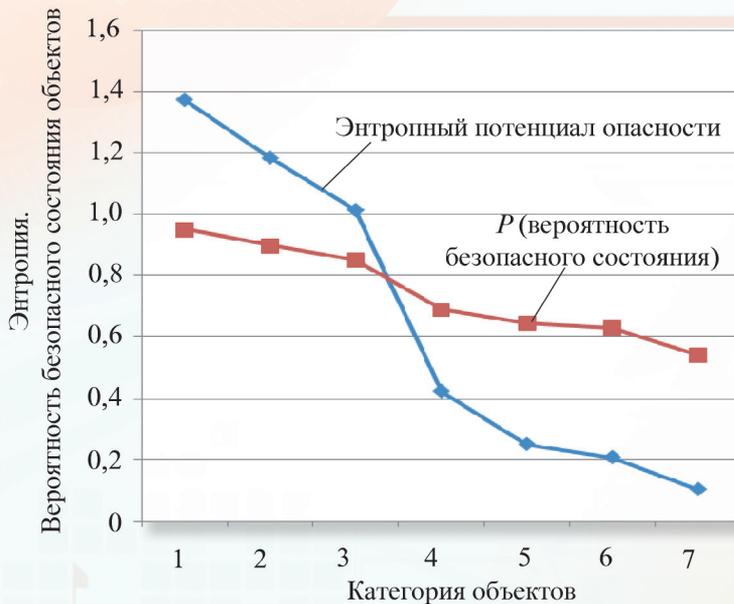
Рисунки к статье В. Н. Костина  
**«ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА  
 ОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИ  
 ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ  
 ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ  
 ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
 НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННО  
 ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА  
 И ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ»**



**Рис. 1. График энтропии опасности от масштаба потерь**



**Рис. 2. Энтропия опасности категорируемых объектов**



**Рис. 3. Энтропия опасности и показатели защищенности объектов**