

# ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

**А.В. Смирнов**

*Академия ГПС МЧС России*

Россия, 129366, Москва, Бориса Галушкина ул., 4

E-mail: [a\\_smirnov8@mail.ru](mailto:a_smirnov8@mail.ru)

**Р.Ш. Хабибулин**

*Академия ГПС МЧС России*

Россия, 129366, Москва, Бориса Галушкина ул., 4

E-mail: [kh-r@yandex.ru](mailto:kh-r@yandex.ru)

**Д.В. Тараканов**

*Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

Россия, 153040, Иваново, Строителей пр-т, д. 33

E-mail: [den-pgs@yandex.ru](mailto:den-pgs@yandex.ru)

**Ключевые слова:** многоагентные технологии, пожарная безопасность, система управления, распределение ресурсов, объекты промышленности.

**Аннотация:** Проведена интервальная оценка эффективности разработанной информационной системы, предназначенной для решения задач перспективного планирования распределения ресурсов обеспечения пожарной безопасности предприятий промышленности. Определены и обоснованы границы использования разработанной информационной системы, разработан количественный показатель и нормализованный критерий для оценки эффективности МАС. Разработанный алгоритм позволяет проводить как численную, так и интервальную оценку эффективности применения МАС в задачах распределения ресурсов.

## 1. Введение

При управлении распределением ресурсов для целей пожарной безопасности предприятия как социально-экономической системой предлагается использовать технологию многоагентных систем (МАС) [1], позволяющую выстроить взаимодействие подразделений предприятия (агентов), влияющих на уровень пожарного риска (на общий уровень обеспечения пожарной безопасности) и распределение ресурсов.

Необходимо отметить, что задача распределения ресурсов при управлении предприятиями неоднократно являлась предметом научных исследований [2, 3], но задача распределения ресурсов для целей пожарной безопасности в рамках данных работ не рассматривалась.

Исследование эффективности применения разработанной многоагентной системы [4] проводится для определения границ ее применения в задачах перспективного планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности предприятий, что является необходимым условием для формирования практических рекомендаций по внедрению разработанных теоретических положений в процесс управления ресурсами социально-экономических систем.

Методическая составляющая процедуры оценки эффективности МАС базируются на принципах сравнения, имеющихся вариантов принятия решений с учетом дуалистической природы рассматриваемой управленческой задачи, заключающейся в возможном одновременном изменении количества агентов и вариантов в анализируемой системе. Для реализации сравнений необходимо иметь объективный количественный критерий эффективности, оценки по которому рассматриваемых вариантов позволяют сделать однозначный вывод о возможности применения МАС. В свою очередь оценки по критерию эффективности могут быть получены различными способами, поэтому при анализе эффективности МАС необходимо выделить три подхода: 1 – мнение экспертов; 2 – анализ опыта принятия решений; 3 – математическое (численное) моделирование.

Определение границ применения МАС является теоретической задачей исследования для решения которой необходимо провести обоснованный выбор подхода к оценке эффективности многоагентной системы, сформулировать и доказать теоретическую гипотезу на основе которой применение МАС при решении практических задач будет считаться обоснованным; разработать количественный показатель для оценки эффективности МАС.

Количественная оценка эффективности МАС возможна лишь на основе усеченного массива исходных данных, сгенерированных в рамках опытно-теоретической модели исследования, поэтому для индукции полученных результатов в методики количественной оценки МАС необходимо разработать модель показателя эффективности в зависимости от исходных параметров многоагентной системы поддержки принятия решений.

## 2. Разработка показателя эффективности МАС

Результатом опытно-теоретического метода исследования эффективности МАС в задачах перспективного планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности является совокупность чисел  $N_+$  – случаи, когда применение МАС было обоснованным и  $N_-$  – случаи, когда применение МАС не дало необходимого результата. Поэтому рассмотрим количественный показатель  $Sab = N_+$  который будет определен как общее количество случаев положительного применения МАС в одном теоретическом опыте. Тогда исходя из постановки задачи исследования следует, что область допустимых значений показателя  $Sab \in [0; 100]$ . Значение  $Sab=0$  наблюдается в тех случаях, когда из  $N$  испытаний количество положительных испытаний равно нулю  $N_+ = 0$ , в свою очередь количество отрицательных испытаний  $N_- = N = 100$ . Значение  $Sab=100$  определяет обратную ситуацию, когда среди испытаний  $N$  все они были положительными, то есть  $N_+ = N$ , а  $N_- = 0$ . Следовательно, эффективность МАС в задачах перспективного планирования распределения ресурсов, прямо пропорциональна значениям показателя  $Sab$ . Область допустимых значений показателя  $Sab$  позволяет исследовать его как случайную величину.

## 2.1. Теоретическая гипотеза

Количество случаев ошибочного принятия решений на 100 случаев имитации будем считать показателем результативности применения количественного показателя  $Sab$ , следовательно, чем выше значение показателя  $Sab$ , тем выше необходимость применения компьютерной системы для принятия решений по распределению ресурсов в многоагентной системе.

В рамках моделирования проводилось 10000 имитационных испытаний для каждого из сочетаний случаев 3, 4, ..., 10 агентов и 3, 4, ..., 10 вариантов распределения ресурса, каждое сочетание агентов и вариантов испытывалось 100 раз.

Для прогнозирования значения показателя  $Sab$  введем допущение, состоящее в том, что количество случаев ошибочного принятия решений может быть рассмотрено как непрерывная случайная величина, подчиняющаяся нормальному закону распределения.

Выдвинем нулевую гипотезу  $H_0$  – показатель  $Sab$  подчиняется нормальному закону распределения;  $H_1$  – показатель  $Sab$  не подчиняется нормальному закону распределения.

Рассмотрим дискретную случайную величину  $\rho$  – количество случаев ошибочного принятия решений по распределению ресурсов в многоагентной системе без учета ранжирования вариантов на основе показателей относительной важности агентов. Данная случайная величина принимает свои значения из множества натуральных чисел, то есть 1, 2, 3 ... Тогда при исследовании данной случайной величины необходимо определить ее непрерывный аналог в соответствии с теоретической гипотезой о выбранном законе ее распределения. Для доказательства данной гипотезы будем использовать классический подход теории вероятностей и математической статистики, предусматривающий применение критерия статистического согласия Пирсона [5].

## 2.2. Доказательство теоретической гипотезы

Пример доказательства гипотезы  $H_0$  покажем на сочетании агенты-варианты как 7 на 7. Результаты опыта для задачи размерностью 7 на 7 в рамках вычислительного эксперимента представлены в таблице 1 где  $N_+$  количество испытаний в которых был произведен верный выбор решения без применения разработанной МАС;  $N_-$  количество испытаний с неверным выбором решения в задаче распределения ресурсов, то есть верный выбор возможен только с применением МАС;  $N = N_+ + N_-$  общее количество испытаний.

Теоретическая (нормальная) модель данных при  $n \rightarrow \infty$  эмпирическая модель данных при  $n = 10000$  испытаний.

Близость вариации случайной величины к 25% и достаточно хорошая сходимость теоретической и эмпирической модели данных и квадратов остатков данных от среднего, иллюстрируемые на рис. 1 и 2, позволяют приступить к формальной проверке гипотезы  $H_0$  о нормальном распределении результатов вычислительного опыта.

Для проверки гипотезы  $H_0$  воспользуемся критерием статистического согласия Пирсона  $\chi^2$ . Анализируя результаты опытно-теоретического исследования, иллюстрируемые на рисунке 3, можно сделать вывод, что достаточно высокие значения коэффициента детерминации  $R^2$  позволяют сформировать экспоненциальную модель, определяющую количественную связь значений показателя  $Sab$  от количества вариантов  $Var$  при фиксированном количестве агентов и заданной вероятностью:

$$Sab = A \cdot \exp\left(\frac{Var}{B}\right) \sigma$$

где  $A$  и  $B$  – коэффициенты модели при фиксированном количестве агентов и заданной вероятности.

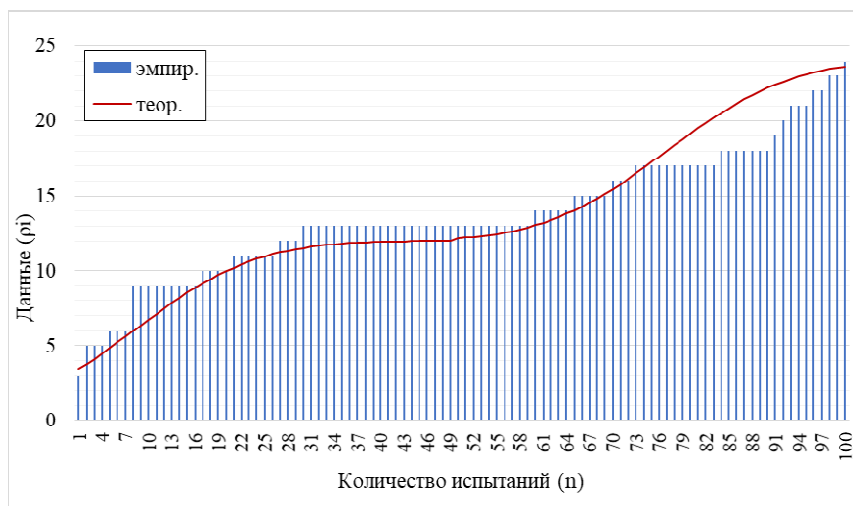


Рис. 1. Сопоставление теоретической и эмпирической модели данных.

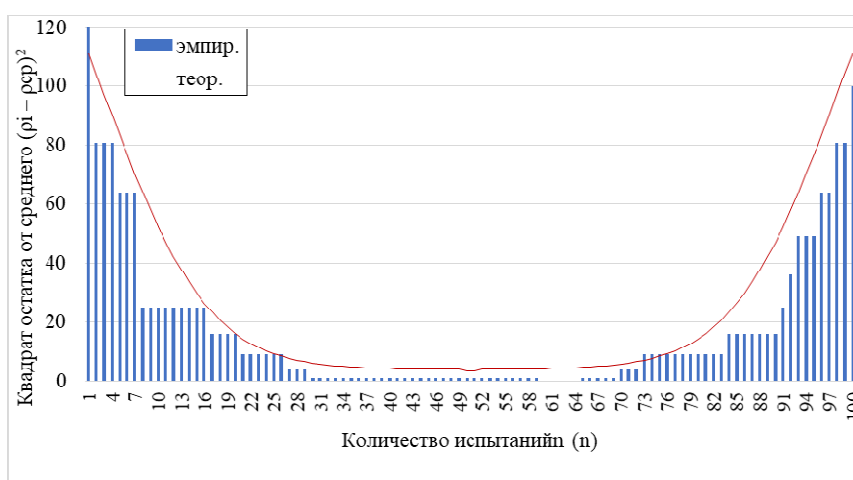


Рис. 2. Сопоставление теоретической и эмпирической модели квадратов остатков от разности данных и среднего.

Значения коэффициентов моделей  $A$  и  $B$  получены с применением процедур регрессионного анализа и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры модели.

Агенты		3	4	5	6	7	8	9	10
$P=0,50$	A	4	5	5	6	6	6	7	7
	B	10	10	9	9	8	7	7	6
$P=0,90$	A	5	5	6	6	6	7	7	7
	B	10	9	9	8	7	7	6	5
$P=0,99$	A	6	6	6	7	7	7	7	8
	B	10	9	8	8	7	6	5	5

Значения показателя эффективности при различных вероятностях представлены на рис. 3.

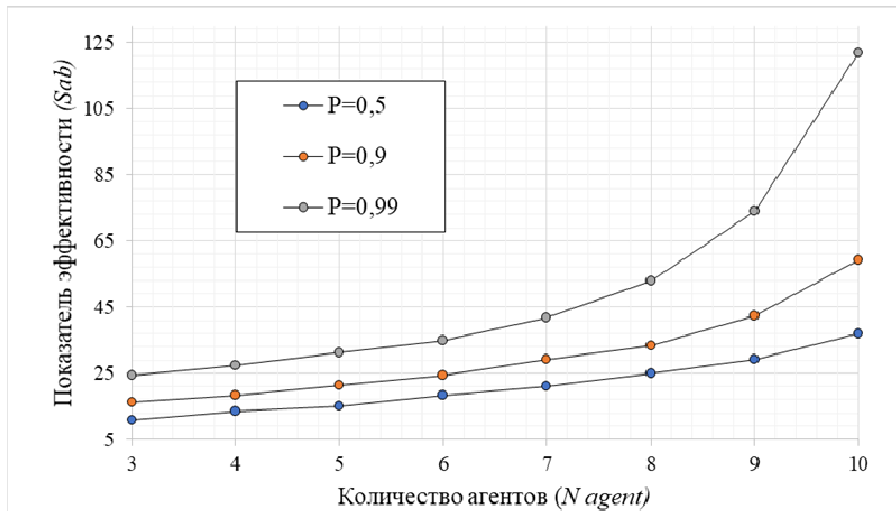


Рис. 3. Динамика показателя  $Sab$  в зависимости от количества агентов при 10 вариантах распределения ресурсов в МАС и вероятности  $P$ .

### 3. Заключение

Для определения границ применения разработанной многоагентной системы проведено исследование эффективности ее применения в задачах перспективного планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности предприятий промышленности, что является необходимым условием для формирования практических рекомендаций по внедрению разработанных теоретических положений в процесс управления ресурсами социально-экономических систем.

Проведен обоснованный выбор подхода к оценке эффективности информационной системы. Сформулирована и доказана теоретическая гипотеза, на основе которой применение МАС при решении практических задач будет считаться обоснованным. Разработан количественный показатель для оценки эффективности МАС.

### Список литературы

1. Смирнов А.В., Хабибулин Р.Ш., Тараканов Д.В. Многоагентный метод анализа вариантов распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности // Системы управления и информационные технологии, 2018. № 4(74). С. 83-88.
2. Семенкин Е.С., Клешков В.М. Модели и алгоритмы распределения общих ресурсов при управлении инновациями реструктурированного машиностроительного предприятия // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2006. № 3.
3. Maksimovic V., Phillips G. Do Conglomerate Firms Allocate Resources Inefficiently Across Industries? Theory and Evidence // The Journal of Finance. 2002. LVII (2).
4. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018660019 от 18.08.2018 г. Программа для рационального распределения ресурсов в многоагентной системе управления пожарной безопасности на производственных объектах химической отрасли / Смирнов А.В., Хабибулин Р.Ш., Тараканов Д.В.; заявл. 20.07.2018, опублик. 15.08.2018.
5. Лемешко Б. Ю., Лемешко С. Б., Постовалов С. Н. Сравнительный анализ мощностей критериев согласия при близких конкурирующих гипотезах. I. Проверка простых гипотез // Сибирский журнал индустриальной математики. 2008. Т. 11. № 2(34). С. 96-111.