

УДК 303.723: 004.9

# ПРИМЕНЕНИЕ РАНГОВОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ

**А. А. Соколов,**

канд. техн. наук, доцент

Северо-Кавказский горно-металлургический институт

(государственный технологический университет), г. Владикавказ

*Представлены результаты исследований по разработке новой информационной системы анализа, управления и принятия решений на основе введения дополнительных блоков в структуру организации. Приводятся табличные данные по результатам сравнения характеристик эффективности созданной системы с существующими аналогами. Предложен метод для расчета надежности устойчивости техногенных систем с привлечением экспертной оценки факторов, влияющих на устойчивость системы.*

**Ключевые слова** — корреляционный анализ, коэффициент, ранг показателя, устойчивость, информационная система, критерий.

## Введение

Существующие в настоящее время информационные системы (ИС) недостаточно эффективны для проведения анализа, обработки информации и поддержки принятия решений при управлении техногенными системами (ТС), поскольку имеют недостатки в плане структурных особенностей, возможностей и технических составляющих в подходе к управлению и принятию решений в ТС. Так, в структуре известных ИС [1–5] отсутствует подсистема принятия решений с блоками моделирования, прогнозирования и принятия решений по техногенным рискам, что затрудняет использование ИС как системы принятия решений для управления ТС. Также возможностям информационных технологий (ИТ) на предмет выявления техногенных рисков в промышленности уделено недостаточное внимание, хотя, как отмечено в работе [6], эта проблема выдвигается на первые места при проведении исследования ТС и является критерием, определяющим ее устойчивость. Игнорирование расчетов техногенных рисков, к сожалению, подтверждено практически крупными техногенными авариями, которые произошли в конце XX (Чернобыльская АЭС) и в начале XXI (Саяно-Шушенская ГЭС) века.

Кроме этого, применяемые сегодня ИС требуют выделения значительных средств на разработку и имеют определенную сложность послойной организации [4, 5]. В частности, подсистема прогнозов в структурах существующих ИС не содержит блока постояннодействующих моделей техногенных рисков, хотя сами риски упоминаются при построении системы прогнозов.

## Сравнительный анализ характеристик системы и ее ближайших аналогов

В процессе исследований существующих в настоящее время ИС для анализа ТС были выявлены недостатки по возможностям моделирования и критерии, по которым может оцениваться устойчивость ТС к техногенным загрязнениям. Для их устранения были определены направления для инновационных разработок и предложена новая структура системы анализа, управления и принятия решений (рис. 1), содержащая дополнительные блоки моделирования и поддержки принятия решений. В ходе анализа предложенной ИС и ее аналогов применялась экспертная оценка организационно-технического уровня анализируемых ИС, отдельных их подсистем и принимаемых решений по анализу и управле-



■ **Рис. 1.** Блок-схема системы анализа, управления и принятия решений

нию, а также комплексная оценка системы управления, основанная на использовании количественно-качественного подхода, позволяющего оценивать эффективность управления по значительной совокупности факторов. В экспертную группу вошли 10 сотрудников, имеющих степень доктора наук по исследуемой проблеме, из двух научных центров — Международного биотехнологического центра Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Международного инновационного научно-технологического центра «Устойчивое развитие горных территорий» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета).

Таким образом, в настоящей работе экспертная оценка использована как составной элемент комплексной оценки эффективности ИС, включающей все перечисленные подходы как к отдельным подсистемам, так и к системе в целом.

Результаты экспертных оценок эффективности ИС по пятибалльной шкале для предлагаемого варианта и максимальные оценки различных аналогов приведены в табл. 1.

Учитывая, что устойчивость ТС во многом определяет эффективность ее функционирования, в работе был использован один из распространенных методов — полуколичественное прогнозирование. Под термином «устойчивость» в настоящей работе понимается способность ТС сохранять динамическое равновесие, компенсируя воздействия возмущений, вызванных как внешними, так и внутренними факторами, при этом внутренняя цель самой ТС — эффективное функционирование и развитие. Здесь следует учитывать, что преимущества балльного метода, заключающиеся в возможности формального сравнения и суммирования разнородных факторов при относительной простоте расчета и использовании широкого спектра информативных источников, обычно снижаются за счет субъективности в оценке «весовых» соотношений факторов. Для усовер-

■ **Таблица 1.** Оценка нормативных характеристик эффективности ИС

№ п/п	Характеристики эффективности ИС	Максимальные показатели конкурентных ИС	Показатели разработанной ИС
1	Надежность	++++	+++++
2	Адаптивность	+++	++++
3	Гибкость	++	++++
4	Экономичность	++++	+++++
5	Оперативность	++++	+++++
6	Производительность	++++	+++++
7	Увеличение прибыли	+++	+++++
8	Снижение себестоимости	++++	++++
9	Сроки внедрения	+++++	+++++
10	Уровень централизации функций управления	++	++++
11	Уровень специализации и функциональной замкнутости подсистем	+++	+++++
12	Звеньность системы управления	++++	+++++

шенствования метода предлагается применять ранговый корреляционный анализ для статистического обоснования весовых коэффициентов.

### Описание метода

Метод расчета нарушения устойчивости с использованием рангового корреляционного анализа включает 4 этапа:

1) оценку проявлений процесса на территории ТС в пределах некоторых территориально-географических участков системы (в ранжированных показателях техногенности, интенсивности загрязнений и др.);

2) оценку факторов развития техногенных процессов с выбором значимых показателей и их ранжированием в пределах тех же выделов;

3) определение индивидуальных значений коэффициентов корреляции показателей факторов и показателей развития процесса; установление «веса» 1 балла показателя каждого фактора, равного квадрату коэффициента корреляции (коэффициенту детерминации);

4) расчет потенциальной опасности путем суммирования «взвешенных» показателей факторов — произведений балльных величин (рангов) показателей и коэффициентов детерминации.

Критический анализ как общих зависимостей, так и данных о местных условиях позволил сделать выбор значимых показателей факторов нарушения устойчивости системы [7–9] с учетом техногенных рисков и их градаций с определенным баллом. Ранговая корреляция рассчитывается

■ **Таблица 2.** Ранжирование показателей для анализа устойчивости ТС по коэффициенту Спирмена

Ранги, влияющие на устойчивость	Оценки рангов						
	1	2	3	4	5	...	11
Ранг показателя загрязнения ТС твердыми и жидкими выбросами	4	3	6	9	7	...	2
Ранг показателя наличия техногенных рисков на территории ТС	4	2	8	11	5	...	1
$D$	0	1	-2	-2	2	...	1
$D^2$	0	1	4	4	4	...	1

для пяти факторов (специфика техногенности промышленного объекта, виды техногенных выбросов, фоновое накопление выбросов, рельеф, почвенно-растительный покров), выраженных в шести показателях (коэффициент фильтрации, слой стока талых вод, гидравлический уклон, роза ветров, тип грунта, почвенно-растительная ассоциация).

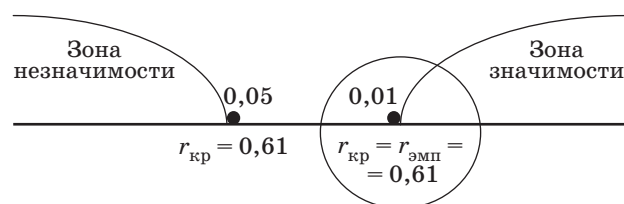
Ранговый коэффициент линейной корреляции Спирмена подсчитывается по формуле

$$\rho_{\tilde{N}} = 1 - \frac{6 \times \sum (D^2)}{n \times (n^2 - 1)},$$

где  $n$  — количество ранжируемых признаков (показателей, испытуемых);  $D$  — разность между рангами по двум переменным для каждого испытуемого;  $D^2$  — сумма квадратов разностей рангов. Для определения устойчивости системы в целом были проранжированы показатели загрязнения ТС твердыми и жидкими веществами и наличие техногенных рисков на территории подсистем участков ТС (табл. 2).

Далее была построена «ось значимости» (рис. 2), из которой видно, что рассчитанный по формуле коэффициент корреляции Спирмена совпал с критическим для уровня значимости 1 %.

Следовательно, по расположению данных на «оси значимости» можно утверждать, что показатель наличия техногенных рисков на территории ТС и показатель загрязнений твердыми и жидкими выбросами связаны положительной корреляционной зависимостью. Чем выше показатель за-



■ **Рис. 2.** Ось «значимости» для коэффициента корреляции

грязнения твердыми и жидкими выбросами, тем более увеличиваются техногенные риски на территории ТС и нарушается устойчивость системы.

### Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что разработанный метод расчета ИС на основе рангового корреляционного анализа техногенных рисков дает возможность повысить надежность расчетов устойчивости ТС с учетом промышленных процессов как возможных факторов нарушения стабильности.

### Литература

1. Зеленцов В. А., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Хименко В. И. Интеграция информационно-телекоммуникационных ресурсов глобальных систем мониторинга на базе единой интеллектуальной платформы // Информационно-управляющие системы. 2012. № 1(56). С. 12–15.
2. Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л. Экспертная система анализа и прогнозирования аварийных ситуаций в энергетических установках // Информационно-управляющие системы. 2012. № 4(59). С. 59–63.
3. Еремин С. В. Управление информационными потоками в транспортно-дорожном комплексе (региональный аспект) // Информационно-управляющие системы. 2012. № 6(61). С. 94–96.
4. Соколов А. А. Анализ природно-технических систем: от теории к практике // Докл. МОИП. Т. 46. — М.: МАКС Пресс, 2010. — 116 с.
5. Соколов А. А. Разработка новых методов и средств анализа обработки информации и управления сложными природно-техническими системами // Докл. МОИП. Т. 44. — М.: МАКС Пресс, 2010. — 96 с.
6. Северцев Н. А., Дедков В. К. Системный анализ и моделирование безопасности: учеб. пособие. — М.: Выш. шк., 2006. — 462 с.
7. Соколов А. А., Соколова Е. А. К проблеме повышения эффективности комплексной оценки влияния промышленных объектов на экосистемы // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 3. С. 42–43.
8. Соколов А. А. Исследование влияния промышленных объектов на окружающие экосистемы разработанными техническими средствами // Перспективы науки. Science prospects. 2010. № 2(04). С. 110–113.
9. Соколов А. А. Комплексная оценка воздействия промышленных объектов на окружающие экосистемы с применением разработанных методов системного анализа // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 2. С. 94–98.

## РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ К. В. ГРИГОРЬЕВОЙ «КОНФЛИКТНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ЧАСТЬ 1: СТАТИЧЕСКИЕ И СТОХАСТИЧЕСКИЕ КОАЛИЦИОННЫЕ ИГРЫ»

СПГУТД, Санкт-Петербург, Россия, 2012. — 162 с. ISBN 978-5-7937-0793-х; ISBN 978-5-7937-0805-7

Монография К. В. Григорьевой является результатом научной работы автора по созданию математических моделей и алгоритмов для решения задач, содержащих коалиционные структуры. Название книги предполагает написание еще как минимум одной части, посвященной исследованию задач, которые могут быть решены с помощью теоретико-игровых моделей с коалиционными разбиениями, а также построению методов решений этих моделей и задач.

С помощью коалиционных теоретико-игровых моделей могут быть описаны и решены многие задачи управления и теории принятия решений, возникающие в различных сферах практической деятельности: социальных, политических и экономических науках, психологии, правовых, военных и иных конфликтах, — где принимающая решение «коалиция» располагает информацией о множестве возможных ситуаций, о множестве «стратегий», которые она может принять, и о количественной мере «выигрыша», который она могла бы получить, выбрав в данной ситуации конкретную стратегию.

Построение и исследование коалиционных моделей сводится к следующей последовательности задач: установление принципов поведения коалиций (как правило, оптимального); доказательство существования решений, удовлетворяющих этим принципам; построение алгоритмов нахождения решений. Кроме того, в теории коалиционных игр решаются вопросы установления принципов оптимального распределения выигрыша коалиции между игроками, входящими в состав коалиции, а также поиска способов оптимального формирования коалиций.

Следует подчеркнуть, что динамические игры выбора коалиционного разбиения самими игроками до сих пор практически не рассматривались.

В представляемой работе исследуются принципы оптимальности для статических детерминированных и стохастических коалиционных игр с полной информацией. В качестве решения как статической, так и стохастической игры с коалиционной структурой предложено использовать впервые введенный автором обобщенный

PMS-вектор в смешанных стратегиях. Представлены алгоритмы решения статических и стохастических коалиционных игр и их модификации, принципы оптимальности и примеры их использования и применения в решении задач, описываемых конфликтными статическими и конфликтно-динамическими игровыми моделями.

Монография состоит из двух частей общим объемом 162 страницы и имеет следующую структуру. В первых трех главах кратко излагаются элементарные и необходимые для понимания дальнейшего текста сведения из игровой теории: понятия бескоалиционной игры в нормальной и позиционной формах с полной и неполной информацией, игры в характеристической форме или кооперативной игры; принципы оптимальности, такие как равновесие по Нэшу в чистых и смешанных стратегиях, оптимальность по Парето, абсолютное равновесие по Нэшу и равновесие в стратегиях наказания в антагонистических многошаговых играх, С-ядро и вектор Шепли в кооперативных играх.

В четвертой главе вводится понятие коалиционной игры как подкласса неантагонистической игры  $n$  лиц. Предполагается, что игроки разбиваются на коалиции, формируя тем самым коалиционное разбиение, и игроки, входящие в одну коалицию, действуют в ее интересах с целью максимизировать суммарный коалиционный выигрыш. Подробно рассматриваются модели статических коалиционных биматричных игр, а также предлагаются различные алгоритмы для их решения. В основе этих алгоритмов лежит использование обобщенного PMS-вектора в смешанных стратегиях и его модификаций. Таким образом, определяется оптимальное поведение коалиций как отдельных игроков и выигрыши этих коалиций как результат их оптимального поведения. Второй задачей, рассматриваемой в коалиционной игре, является поиск оптимального распределения максимального суммарного выигрыша каждой коалиции между ее игроками. В качестве принципа оптимальности для решения этой задачи используется дележ оптимального выигрыша путем определения вклада игроков

коалиций в игру при фиксированных чистых или смешанных стратегиях коалиции оппонента в ситуации равновесия в смешанных стратегиях — так называемый долевым дележом, каждая компонента которого пропорциональна соответствующему максимальному гарантированному выигрышу. Однако не во всякой биматричной игре удастся найти ситуацию равновесия по Нэшу в силу ограничений теоремы о вполне смешанной ситуации равновесия. В связи с этой трудностью предлагается находить ситуации, оптимальные по Парето, а затем, применив арбитражную схему Нэша (в случае неединственности решений по Парето), делить выигрыш коалиций в соответствии с долевым дележом. В работе также предлагаются алгоритмы, сочетающие в себе одновременное использование различных принципов оптимальности, в частности, обобщенного PMS-вектора и арбитражной схемы Нэша. Все алгоритмы иллюстрируются подробно разобранными примерами.

В пятой главе построены модели многошаговых стохастических игр с коалиционными разбиениями и алгоритм построения решения, основанный на идее динамического программирования с использованием обобщенного PMS-вектора. Стохастическая игра предполагает многократное повторение статических игр с различными коалиционными разбиениями. При этом вид разбиения определяется заданной вероятностью. Здесь вводится граф, в вершинах которого определены игры в нормальной форме. При этом в каждой вершине определяется коалиционное разбиение игроков и функция выигрыша коалиций. Стохастическая постановка достигается путем введения вероятностей перехода из вершины  $z$  в следующие вершины в зависимости от ситуации, реализовавшейся в игре, заданной в вершине  $z$ . В главе исследуется метод построения равновесных стратегий с использованием обобщенного PMS-

вектора. Для этого в каждой вершине для всех возможных коалиционных разбиений строится равновесие по Нэшу в игре  $l$  лиц ( $l \leq n$ ), где каждая коалиция играет как один игрок. Далее строится PMS-вектор в полученной ситуации равновесия по Нэшу. Доказана теорема о существовании решения в классе стохастических коалиционных игр.

Рассматриваются две модели стохастической игры — случаи, когда вероятность зависит и когда не зависит от ситуации, реализовавшейся в игре на предыдущем шаге. Более того, в качестве решения автор предлагает два алгоритма, основанных на идее динамического программирования. Один из алгоритмов предусматривает поиск оптимального поведения во всей игре, начиная с первого и заканчивая последним шагом, не учитывая при этом рациональность в статических играх. В другом алгоритме, напротив, рассматривается случай, когда игроки стремятся получить оптимальный дележ в условиях локальной рациональности. Все алгоритмы сопровождаются примерами трехшаговой стохастической игры трех лиц с переменной коалиционной структурой. Для всех алгоритмов проводится сравнительный анализ.

В целом работа хорошо структурирована, содержит не только широко известные, но и новые результаты. В этой связи она может быть полезна как специалистам, в работе использующим методы теории принятий решений, так и магистрантам и аспирантам специальности «Прикладная математика» в качестве учебно-методического пособия.

*Доктор технических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник  
Центра новых информационных технологий  
МГУ им. М. В. Ломоносова  
М. В. Воронов*