

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора, профессора
Высшей школы технологий искусственного интеллекта Института компьютерных
наук и кибербезопасности Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Большакова Александра Афанасьевича

на диссертационную работу

Алексеева Александра Олеговича

«Иерархические матричные механизмы комплексного оценивания

и их приложения в кибернетических системах»

по специальностям 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка
информации, статистика и 2.3.4. Управление в организационных системах

1. Актуальность диссертационного исследования

В кибернетических системах решаются многочисленные прикладные задачи, использующие агрегирование информации в укрупненные показатели. Это позволяет описать состояние объекта управления на основе его оценки состояния в комплексной форме. При этом объекты управления обычно обладают разнородными свойствами и показателями. В диссертационном исследовании предлагается процедура комплексного оценивания и соответствующий термин: многоуровневые или иерархические матричные механизмы комплексного оценивания (ИММКО). При этом свёртка критериев выполняется в последовательности, определенной структурой дерева критериев; матричными, а правила свёртки определяются функциями в матричном виде.

При этом унитарное представление позволяет записывать ИММКО в компактном аналитическом виде и реализовывать процедуры комплексного оценивания в математических пакетах с применением стандартных операций. Это расширяет возможности практического применения ИММКО в прикладных задачах

Обычно важность критериев при проектировании ИММКО определялась экспертами на основе их знаний и представлений о значимости отдельных свойств для системы в целом. Поэтому ИММКО можно относить к методам обработки экспертной информации, причем, собственно, ИММКО – называть экспертными системами.

После решения задачи идентификации ИММКО на основе набора обучающих примеров возможно их использование для анализа данных и аппроксимации зависимости между результирующей переменной и доступными для анализа показателями. Поэтому ИММКО можно также отнести к методам машинного обучения.

Сочетания этих подходов при определении элементов ИММКО: экспертного и на основе анализа данных, существенно расширяет возможности применения ИММКО в задачах обработки информации. Причем в условиях ограниченных выборок можно дополнительно использовать экспертные знания.

Показано, что ИММКО могут быть представлены в виде неполносвязных искусственных нейронных сетей, архитектура которых определяется по структуре дерева критериев и элементам матриц свёртки, расположенным в его узлах. Это позво-

ляет эффективно использовать ИММКО для обработки информации, т.к. не требуется определять число скрытых слоёв и число нейронов архитектуры нейронных сетей.

Описание значимости частных свойств в ИММКО, которые оказывают влияние на принятие решений, используется при формализации предпочтений агентов для моделирования предпочтений и поведения участников организационных систем.

При этом ИММКО используются для оценки в организационных системах, а также для определения значений показателей качества технических объектов с различными физико-механическими свойствами, для оценки состояния пациентов по набору медицинских показателей. Также ИММКО успешно использованы для управления техническими системами, например, при создании системы управления беспилотным транспортным средством.

Построению методологии на основе нового подхода, связанного с разработкой и применением прикладных ИММКО в кибернетических системах для решения широкого спектра научных задач: системного анализа, поддержки принятия решений, оптимизации и управления сложными объектами, обладающими различными свойствами, обработки информации, синтеза систем искусственного интеллекта посвящена диссертационная работа Алексеева Александра Олеговича.

Объектом исследования автора являются иерархические матричные механизмы комплексного оценивания.

Ключевой проблемой работы является построение методологических основ разработки и применения прикладных иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в кибернетических системах.

Выполненное автором диссертационное исследование соответствует Стратегии научно-технического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 (ред. от 15.03.2021 г. № 143) и приоритетному направлению в рамках этой Стратегии: «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта». Диссертационное исследование поддержано грантом Президента Российской Федерации МД 6075.2015.9 на тему «Разработка методологии и информационных технологий экспериментального исследования устойчивости механизмов принятия решений к стратегическому поведению агентов» (2015-2016), грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 17-07-015 5 0 «Идентификация и синтез моделей поведения в экспериментальных данных игр по механизмам управления» (2017-2019), № 19-010-00307 «Разработка интеллектуальной самоадаптируемой системы массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости регионов РФ» (2019-2021), грантом Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор 4801ГС1/80326 от 24.11.2022) на тему «Разработка и тестирование прототипа многопользовательской виртуальной среды интеллектуального анализа данных» (2022-2023), грантом для преподавателей магистратуры Благотворительного фонда Владимира Потанина (договор ГСГК-094/24 от 05.03.2024) на тему «Разработка учебного курса по работе с многопользовательской виртуальной средой интеллектуального анализа данных D2D.Platform» (2024-2025).

Исходя из вышеуказанного, следует, что диссертационная работа Алексеева Александра Олеговича, посвященная теоретическому обоснованию методологического подхода к разработке и применению прикладных ИММО в кибернетических системах, является актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций является достаточно высокой и подтверждается корректным применением системного подхода, соответствием положениям общей теории систем и системного анализа, теории активных систем и теории управления организационными системами. Причем, результаты математического моделирования согласуются с эмпирическими наблюдениями, которые получены при решении прикладных задач. Таким образом, сформулированные научные положения подтверждаются также результатами практического внедрения и использования. Результаты работы использованы в следующих организациях:

- АО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания»: использованы методы комплексного оценивания, в частности, в бюро управления проектами для принятия согласованных решения об инициировании проектов на основе метод согласования экспертных мнений – матричный анонимный медианный механизм; в бюро развития производственной системы для оценки структурных подразделений на предмет использования принципов бережливого производства используются непрерывные модели комплексного оценивания;
- Управления Росреестра по Пермскому краю: разработка, внедрение и опытная эксплуатация системы качественной оценки деятельности государственных регистраторов Управления Росреестра по Пермскому краю и территориальных отделов;
- ООО «ПАН Сити Групп»: технология управления коммерческой недвижимостью с учетом потребительских предпочтений;
- АО «Амбер Пермалко»: разработан и внедрен в эксплуатацию методический инструментарий оценки уязвимости к изменению 27 факторов внутреннего и внешнего окружения, включающие 10 групп показателей уязвимости: сельскохозяйственного сырья, материалов, оборудования, персонала, активов, заемных средств, логистики, сбыта, нормативного регулирования и администрирования;
- ООО «Пермский центр поддержки принятия решений»: разработана многопользовательская виртуальная среда интеллектуального анализа данных Data to Decisions (D2D.Platform), математическое, алгоритмическое, информационное и программное обеспечение которой базируется на теоретических результатах настоящей диссертации;
- Научно-образовательный центр мирового уровня «Рациональное недропользование»: при выполнении проекта «Новые материалы и технологии для медицины» использовалось разработанное программное обеспечение;
- в образовательных учреждениях (Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», в т.ч. при rea-

лизации ряда дополнительных профессиональных программ повышения квалификации, реализованных в рамках проекта «Сетевой ИТ - Университет») и др.

Предлагаемые научные положения и практические достижения диссертационной работы целесообразно использовать для применения ИММКО в организационных, медико-биологических и технических системах.

3. Достоверность и новизна научных положений и рекомендаций

Достоверность научных положений и рекомендаций подтверждается соответствием теоретических обоснований известным положениям других авторов, а также результатами практических экспериментов, их обработки и использования. Развита теоретическая основа теории активных систем и теории управления организационными системами, теории нечётких множеств, дискретной математики, общей теории систем и системного анализа, теории управления и теории принятия решений. Их обобщение позволяет позиционировать ИММКО в качестве одного из базовых механизмов управления в общей теории систем и теории управления.

Новизна научных положений, значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования заключается в предложенном матричном механизме Ф-нечёткого комплексного оценивания; в обосновании существования в общем виде аналитического решения задачи оптимального управления объектом, состояния которого описываются непрерывным матричным механизмом комплексного оценивания с произвольной бинарной матрицей свертки; в предложенной классификации иерархических матричных механизмов комплексного оценивания, что позволило покрыть все возможные источники и формы неопределённости; в предложенных двух подходах решения задачи делегирования сообщений экспертов при построении матричного механизма комплексного оценивания; в алгоритмах идентификации иерархических матричных механизмов комплексного оценивания для деревьев критериев с бинарной структурой и представления иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в виде искусственных нейронных сетей.

4. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертационного исследования

Значимость для науки выводов и рекомендаций диссертационного исследования представляет предложенная методология построения прикладных иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в кибернетических системах, включающая механизм Ф-нечёткого комплексного оценивания; доказательство существования в общем виде аналитического решения задачи оптимального управления объектом, состояния которого описываются непрерывным матричным механизмом комплексного оценивания с произвольной бинарной матрицей свертки или матричным механизмом нечёткого комплексного оценивания; аналитическое доказательство непрерывного матричного механизма комплексного оценивания матричному механизму нечёткого комплексного оценивания для различных источников и форм неопределённости согласно предложенной системе классификации; предложенные два подхода для решения задачи делегирования сообщений экспертов при построении матричного механизма комплексного оценивания, элементы матриц которого оцениваются группой экспертов, а результа-

ты групповой экспертизы определяются на основе матричного анонимного обобщенного медианного механизма; алгоритмы идентификации иерархических матричных механизмов комплексного оценивания для последовательных и непоследовательных деревьев критериев с бинарной структурой на основе полных, а также неполных дискретных наборов обучающих примеров; алгоритм представления иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в виде искусственных нейронных сетей, причем матрице свертки соответствует два скрытых слоя нейронов, на первом нейроны соответствуют элементам матрицы, на втором нейроны – значениям матрицы; математическое, алгоритмическое и программное обеспечение с применением процедур комплексного оценивания, обеспечивающих непрерывность монотонность и кусочно-гладкость функции свертки.

Значимость для практики выводов и рекомендаций диссертационного исследования заключается в том, что предложена совокупность конкретных методов, алгоритмов, программных средств реализации прикладных иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в кибернетических системах.

Разработанные в диссертации методики внедрения полученных теоретических результатов целесообразно использовать при решении прикладных задач управления в кибернетических системах, учитывая положительный опыт разнообразного их внедрения автором диссертационного исследования.

Заключение

5.1. Оценка диссертационного исследования как квалификационной работы

Диссертационная работа Алексеева Александра Олеговича является завершенной самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой впервые приведены результаты, позволяющие квалифицировать их как решение актуальной научно-технической проблемы построения методологических основ разработки и применения прикладных иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в кибернетических системах. На основании вышеуказанного можно утверждать, что работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук и изложенным в Постановлении Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (пункты 9, 10, 11, 13, 14).

5.2. Оценка содержания и авторского вклада. Соответствие работы паспорту специальности

Диссертация соответствует следующим пунктам области исследования:

Положение 1 *«Разработаны и исследованы свойства матричного механизма нечёткого комплексного оценивания, который отличается от известных использованием аддитивно-мультипликативного подхода к теоретико-множественным операциям над нечёткими множествами, и эквивалентного ему непрерывного матричного механизма комплексного оценивания, а также на основе механизма нечёткого комплексного оценивания предложен механизм Ф-нечёткого комплексного оценивания. Дефазифицировав результаты нечёткого комплексного оценивания на всем множестве значений сворачиваемых параметров*

ров, получается функция свёртки, обладающая свойствами непрерывности, монотонности и кусочно-гладкости, что позволяет сформулировать новую задачу условной оптимизации и управления объектами, состояния которых описываются с помощью механизмов комплексного оценивания» соответствует следующим направлениям исследований паспорта специальности 2.3.1:

- П1. «Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;
- П2. «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;
- П8. «Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем»;

а также направлению исследований паспорта специальности 2.3.4:

- П5. «Разработка методов получения данных и идентификации моделей, прогнозирования и управления организационными системами на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации».

Положение 2 «Доказано существование в общем виде аналитического решения задачи оптимального управления объектом, состояния которого описываются непрерывным матричным механизмом комплексного оценивания с произвольной бинарной матрицей свертки или эквивалентным ему матричным механизмом нечёткого комплексного оценивания в постановке поиска значений сворачиваемых критериев, обеспечивающих заданное значение комплексного показателя при минимальных затратах на обеспечение значений частных критериев при квадратичных затратных функциях, являющиеся обратным случаем производственной функции Кобба-Дугласа. Показано, что при использовании затратных функций в виде уравнений второго порядка вид затратной функции для агрегированного показателя сохраняется, поэтому задача управления имеет решение в общем виде для любого числа критериев» соответствует следующим направлениям исследований паспорта специальности 2.3.1:

- П1. «Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;
- П2. «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;
- П4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;
- П5. «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

а также направлениям исследований паспорта специальности 2.3.4:

- П1. «Разработка теоретических основ управления в организационных системах»;
- П3. «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах».

Положение 3 «Предложена классификация иерархических матричных механизмов комплексного оценивания, основаниями которой являются степень,

форма, источники неопределенности о состоянии частных параметров сложного объекта и подходы к вычислению комплексных оценок. Разработанная классификация позволяет определять, какие известные матричные механизмы комплексного оценивания необходимо использовать при той или иной неопределённости сложного объекта» и **Положение 4** «Обобщены известные и полученные механизмы комплексного оценивания, в частности доказан ряд утверждений:

а) аналитически доказана эквивалентность известного непрерывного матричного механизма комплексного оценивания матричному механизму нечёткого комплексного оценивания, использующему макс-минный подход к теоретико-множественным операциям над нечёткими множествами на классе треугольных нечётких множеств, функция принадлежности которых представляет кусочно-линейную функцию с равными по модулю единице тангенсами углами наклона прямых;

б) аналитически доказана эквивалентность непрерывного матричного механизма комплексного оценивания матричному механизму нечёткого комплексного оценивания, использующему аддитивно-мультипликативный подход к теоретико-множественным операциям над нечёткими множествами на классе треугольных нечётких множеств, функция принадлежности которых представляет кусочно-линейную функцию с равными по модулю единице тангенсами углами наклона прямых;

с) аналитически доказана эквивалентность дискретного матричного механизма комплексного оценивания с заданными распределениями вероятностей состояний частных параметров матричному механизму нечеткого комплексного оценивания, использующему аддитивно- мультипликативный подход к теоретико-множественным операциям над нечеткими множествами;

Обобщение позволило покрыть все возможные источники и формы неопределённости, согласно предложенной системе классификации» соответствуют направлению исследований паспорта специальности 2.3.1:

- П1. «Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»; а также направлению исследований паспорта специальности 2.3.4:

- П1. «Разработка теоретических основ управления в организационных системах».

Положение 5 «Разработан матричный анонимный обобщенный медианный механизм для групповой экспертизы сложных объектов, в частности, доказано следующее:

а) матрица свёртки, элементы которой определены с помощью матричного анонимного обобщенного медианного механизма, непротиворечива, то есть не убывает;

б) экспериментально и аналитически доказана манипулируемость результатов комплексного оценивания точно заданных объектов управления при применении матричного механизма нечёткого комплексного оценивания, использующего аддитивно-мультипликативный подход к теоретико-множественным операциям над нечёткими множествами и эквивалентного ему непрерывного матричного механизма комплексного оценивания», **Положение 6** «Предложены два подхода к решению задачи делегирования сообщений экспертов при построении

матричного механизма комплексного оценивания, элементы матриц которого оцениваются группой экспертов, а результаты групповой экспертизы определяются с помощью матричного анонимного обобщенного медианного механизма, в частности доказано следующее:

а) если для групповой активной экспертизы используется обобщенная медианная схема, то результат активной экспертизы является медианой ранжированного множества, образованного сообщениями группы экспертов, оценками фантомов, образованных при большей группе экспертов б) более надёжным, с точки зрения неманипулируемости процедуры активной экспертизы, является подход, основанный на сообщении результата активной экспертизы, получаемого при меньшем количестве экспертов на одного, поскольку это не приводит к искажению элементов матриц и комплексной оценки как результат.

Следствием из доказанных утверждений является то, что процедуру делегирования сообщений необходимо организовать следующим способом: если эксперт считает необходимым делегировать право оценки некоторого параметра, то вместо его оценки необходимо сообщить результат активной экспертизы, который получился бы без его участия в экспертизе», а также Положение 6 «Разработаны алгоритмы идентификации иерархических матричных механизмов комплексного оценивания для последовательных и непоследовательных (синонимы – параллельные, симметричные) деревьев критериев с бинарной структурой на основе как на полных, так и неполных дискретных наборах обучающих примеров. Данные алгоритмы могут использоваться в технических системах для поиска функций, описывающих законы управления, а также в организационных системах для выявления предпочтений и моделирования поведения агентов в задачах многокритериального выбора и принятия решений» соответствуют следующему направлению исследований паспорта специальности 2.3.1:

- П6. «Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации»;

а также направлениям исследований паспорта специальности 2.3.4:

- П5. «Разработка методов получения данных и идентификации моделей, прогнозирования и управления организационными системами на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации»;

- П9. «Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах».

Положение 8 «Разработан алгоритм представления иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в виде искусственных нейронных сетей. Алгоритм отличается от известных тем, что каждой матрице свертки соответствует два скрытых слоя нейронов, на первом из которых нейроны соответствуют элементам матрицы, на втором нейроны соответствуют значениям матрицы. Искусственные нейронные сети, построенные с помощью предложенного алгоритма, соответствуют нейронным сетям бинарной классификации Куайна и Мак-Класки, а также нейронечётким сетям. Возможность представления иерархических механизмов комплексного оценивания расширяет область их применения для анализа и обработки информации о результатах функционирования кибернетических систем и их элементов для задач управления» соответствуют следующим

направлениям исследований паспорта специальности 2.3.1:

- П4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

- П8. «Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем»

а также направлению исследований паспорта специальности 2.3.4:

- П5. «Разработка методов получения данных и идентификации моделей, прогнозирования и управления организационными системами на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации»;

Положение 9 *«Разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение как в виде библиотек отдельных процедур и алгоритмов, включая настроенные блоки, так и в виде самостоятельных программ для ЭВМ, отличающихся от известных решений применением процедур комплексного оценивания, обеспечивающих непрерывность монотонность и кусочно-гладкость функции свёртки. Наличие отдельных программных элементов в виде библиотек отдельных процедур и алгоритмов и блоков позволяет быстро прототипировать прикладные системы интеллектуальной поддержки принятия решений и интегрировать их с существующими информационными системами»* соответствует следующему направлению исследований паспорта специальности 2.3.1:

- П5. «Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем»;

а также направлениям исследований паспорта специальности 2.3.4:

- П4. «Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах»;

- П10. «Разработка новых информационных технологий для решения задач управления организационными системами».

5.3. Общая характеристика работы

Диссертация включает введение, 8 глав, заключение, список литературы из 394 наименований, приложения. Полный объем диссертации составляет 445 страниц.

Во *введении* обоснована актуальность выполненных автором научных исследований. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Приведены научная новизна, научная и практическая значимость, методы исследования, обоснованность и достоверность полученных в работе результатов. Показаны результаты практической реализации работы. Представленное соискателем обоснование актуальности темы и цели диссертационного исследования выполнено корректно и замечаний не вызывает.

В *первой главе* описываются результаты исследования и иерархических механизмов комплексного оценивания предложена классификация иерархических матричных механизмов комплексного оценивания на основе степени, формы, источников неопределенности о состоянии частных параметров сложного объекта, а также подходы к вычислению комплексных оценок. Предложенная классификация позволяет определять матричные механизмы комплексного оценивания, которые целесообразно применять для заданной неопределенности сложного объекта.

Построены матричные механизмы нечеткого и Ф-нечеткого комплексного оценивания, которые используют аддитивно-мультипликативный подход к теоретико-множественным операциям над нечеткими множествами и эквивалентный непрерывный матричный механизм комплексного оценивания.

Обобщены механизмы комплексного оценивания, в т.ч. аналитически доказаны эквивалентности непрерывного матричного механизма комплексного оценивания матричному механизму нечеткого комплексного оценивания, которые используют максиминный подход к теоретико-множественным операциям над нечеткими множествами на классе треугольных нечётких множеств, функция принадлежности которых представляет кусочно-линейную функцию с равными по модулю единице тангенсами углами наклона прямых; матричного механизма комплексного оценивания матричному механизму нечеткого оценивания, которые применяют аддитивно-мультипликативный подход к теоретико-множественным операциям над нечеткими множествами на классе треугольных нечётких множеств, функция принадлежности которых представляет кусочно-линейную функцию, с равными по модулю единице тангенсами углами наклона прямых; а также дискретного матричного механизма комплексного оценивания с заданными распределениями вероятностей состояний частных параметров матричному механизму нечеткого комплексного оценивания, использующему аддитивно-мультипликативный подход к теоретико-множественным операциям над нечеткими множествами.

Во *второй главе* предложен алгоритм представления иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в виде искусственных нейронных сетей. Это позволило расширить область применения иерархических механизмов комплексного оценивания для анализа и обработки информации о результатах функционирования организационно-технических систем и их элементов для задач управления.

Разработана программа для проектирования и обучения неполносвязных нейронных сетей с каскадной структурой, которая определяется механизмом комплексного оценивания. Эта программа является основной компонентой программного обеспечения многопользовательской виртуальной среды интеллектуального анализа данных.

В *третьей главе* построен матричный анонимный обобщённый медианный механизм для согласования группой экспертов единого механизма комплексного оценивания. Доказано, что матрица свёртки, полученная в результате применения обобщённого медианного механизма, непротиворечива, т.е. не убывает. При привлечении к экспертизе узкопрофильных специалистов предложены 2 подхода к делегированию сообщений, т.е. передаче права оценки непрофильных свойств компетентным в этом вопросе коллегам. Эти результаты целесообразно использовать для согласования политики риск-менеджмента организаций с коллегиальным органом управления.

В *четвертой главе* предложены способы идентификации механизмов комплексного оценивания на базе полного и неполного обучающих наборов, продемонстрированы показаны примеры с исходными обучающими наборами, описываемыми дискретными значениями.

Осуществлена идентификация механизмов комплексного оценивания на основе дискретного (категориального) обучающего набора, при непоследовательных

деревьях критериев, а также предпочтений агентов в задачах многокритериального выбора в виде механизмов комплексного оценивания.

В *пятой главе* показано, что задача поиска значений 2-х частных критериев, описывающих состояние объекта управления, при которых комплексный показатель, вычисляемый на основе аддитивно-мультипликативного подхода к комплексному оцениванию, равен заданному значению. При этом затраты на их обеспечение являются минимальными, а решение представляется в общем виде для произвольной неубывающей матрицы свёртки 2-х критериев.

Также исследована постановка задачи управления для произвольной неубывающей матрицы свёртки 2-х критериев на основе аддитивно-мультипликативного подхода к комплексному оцениванию, при использовании затратных функций, описываемых алгебраическим уравнением 2-го порядка. Показано, что вид затратной функции для агрегированного показателя сохраняется, а сформулированная задача управления имеет решение в общем виде для любого числа критериев.

В *шестой главе* описаны разработанные при участии диссертанта программы для ЭВМ, которые позволяют пользователям создавать прикладные модели комплексного оценивания для агрегирования нескольких показателей в один и поддержки принятия решений:

- автоматизированная система комплексного оценивания объектов с возможностью выбора нечёткой процедуры свёртки в соответствии со степенью неопределённости экспертной информации о параметрах их состояния;
- программный модуль исследования устойчивости матричного анонимного обобщённого медианного механизма к стратегическому поведению агентов;
- программный модуль проектирования и обучения нейронных сетей, основанных на корнях принятия решений (Software module for designing and training Decisions Root-based Neural Networks).

В *седьмой главе* показаны факторы, которые являются маркерами, позволяющими оценить влияние цифровизации на развитие регионов. На основе методов дискретной математики выявлена закономерность между этими факторами и валовым региональным продуктом. Предложен новый вид графического представления ИММКО, который предназначен для поддержки принятия врачебных решений. Построено математическое обеспечение системы управления траекторией движения транспортного средства в беспилотном режиме. Таким образом, показана возможность применения ИММКО в социально-экономических, в медико-биологических и в технических системах.

В *восьмой главе* описывается идентификация стратегии поведения участников организационных систем при решении прямой и обратной задач управления на основе предложенного численного метода. Также приведен пример идентификации предпочтений участников организационных систем при выборе жилья. В результате идентификации предпочтений в конкретной прикладной задаче с выявлением предпочтений реальных людей экспериментально подтвердилась следующая проблема. Носитель предпочтений вынужденно искажает сообщения о важности факторов, оказывающих влияние на принятия решения при структурах дерева критериев, отличающихся от его представления о виде структуры дерева критериев. Далее пока-

заны примеры идентификации систем комплексного оценивания платёжеспособности строительных организаций на основе обработки прецедентов банкротства.

В *заключении* обобщены полученные в процессе диссертационного исследования научные и практические результаты, сформулированы направления дальнейших перспективных исследований.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Оформление диссертации и автореферата соответствует Национальному стандарту РФ ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». М.: Стандартинформ, 2012. В целом представленные материалы диссертационной работы позволяют достаточно полно оценить объем, сложность и актуальность проведенного исследования.

5.4. Общие замечания и предложения по диссертационной работе

1. Желательно в явном виде сформулировать проблему диссертационного исследования, связанную с построением методологических основ разработки и применения прикладных иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в кибернетических системах.

2. Целесообразно привести подраздел «Постановка задачи диссертационного исследования» кроме подраздела «Постановка задачи комплексного оценивания».

3. Предложенный методологический подход к построению и внедрению иерархических матричных механизмов комплексного оценивания для обеспечения функции контроля результатов функционирования кибернетических систем целесообразно изложить в виде «иерархической пирамиды»: концепция – принципы – методы – алгоритмы – реализация.

4. Отсутствует описание системного анализа нового класса исследуемых объектов: иерархические матричные механизмы комплексного оценивания кибернетических систем.

5. В разделе 2. «Представление иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в виде искусственных нейронных сетей и их приложение в задачах анализа данных» желательно описать в виде блок-схемы или псевдокода заявленный как результат: «алгоритм представления иерархических матричных механизмов комплексного оценивания в виде искусственных нейронных сетей».

Отмеченные замечания не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

5.5. Опубликование основных результатов

По теме диссертации опубликованы 86 научных работ, в т.ч. 17 статей в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и в изданиях, приравненных к ним; 2 научных монографии; 9 статей – в сборниках конференций, индексируемых в международных реферативных базах и системах цитирования, в т.ч. Scopus и WoS; получены 1 патент на изобретение, 9 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, 2 свидетельства о государственной регистрации баз данных.

5.6. Характеристика источников результатов работы

В диссертационной работе содержатся необходимые обязательные ссылки на источник заимствования, а также отметки об авторстве новых научных результатов с указанием личного вклада.

Таким образом, работа соответствует пункту 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней.

ОБЩИЙ ВЫВОД

Считаю, что диссертационная работа Алексева Александра Олеговича «Иерархические матричные механизмы комплексного оценивания и их приложения в кибернетических системах» отвечает формуле и пунктам области исследования специальностей 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика и 2.3.4. Управление в организационных системах, а также удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, изложенным в Постановлении Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (пункты 9, 10, 11, 13, 14), в Положении о порядке присуждения степеней ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика и 2.3.4. Управление в организационных системах.

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор Высшей школы технологий искусственного интеллекта
Института компьютерных наук и кибербезопасности
ФГАОУ ВО СПбПУ

Большаков Александр Афанасьевич
09.09.2025

Адрес: Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 29,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Институт компьютерных наук и кибербезопасности,
Высшая школа технологий искусственного интеллекта
Тел.: +7 (812) 5526521, факс: +7 (812) 5524662: E-mail: telematics@spbstu.ru

