

Вишневская Юлия Александровна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ВЫБОРОК**

2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем,
комплексов и компьютерных сетей

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук



Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре «Компьютерные системы и сети» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный руководитель: **БУЛДАКОВА Татьяна Ивановна**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Компьютерные системы и сети»

Официальные оппоненты: **ГЕРГЕТ Ольга Михайловна**
доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук»

ШУЛЬГА Татьяна Эриковна
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина»

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Защита состоится «30» июня 2025 г. в 14:30 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.2.331.19 при МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, зал Учёного совета ГУК МГТУ им. Н.Э. Баумана.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте bmstu.ru.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, Учёному секретарю диссертационного совета 24.2.331.19, кафедра ИУ-3.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.331.19
кандидат технических наук, доцент



С.А. Сакулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в различных предметных областях, в которых требуется наблюдение и контроль за сложными объектами (социальная, экономическая сферы, здравоохранение, техническая диагностика, энергоснабжение, экология и др.), является востребованным процесс анализа характеристик объекта с целью определения его текущего состояния, выявления аномалий и прогнозирования возможных изменений. Такой процесс называется оценкой состояния объекта (далее – ОСО).

Решением задачи ОСО занимались такие ученые, как Богданова Т.К., Вешнева И.В., Звягинцева А.В., Жукова Л.В., Ланцберг А.В., Рожков С.А. и др. При этом в качестве основных решений задачи выбирались методы ОСО, основанные на статистическом анализе, которые требуют большого количества данных, стабильных закономерностей и заранее строго заложенных правил, что делает их малоприменимыми для динамических и высокоразмерных характеристик объектов.

Альтернативой традиционным методам выступают интеллектуальные подходы, обеспечивающие анализ больших объемов данных, выявления скрытых зависимостей и восстановление данных. В частности, в современных системах мониторинга, обеспечивающих автоматизацию наблюдения и контроля за сложными объектами, чаще используют методы машинного обучения и нейронные сети. Развитию интеллектуальных моделей и алгоритмов, а также проектированию интеллектуальных систем посвящены работы Ажмухамедова И.М., Большакова А.А., Гергет О.М., Шиболденкова В.А., Ковалева С.В., Вебера В.И., Рычкова В.А., Смирновой О.В., Уткина Л.В., Черных А.В., Шульги Т.Э., Ясницкого Л.Н. и многих др. Однако применение интеллектуальных методов имеет ряд ограничений: требовательность к данным, долгое время обучения, сложность интерпретации результата, чувствительность к гиперпараметрам и весам.

Одним из решающих факторов, усиливающих ограничения применений нейронных сетей, является проблема малых обучающих выборок, которая возникает в системах, данные для обучения которых собрать сложно или невозможно. Несмотря на это ограничение, в процессе мониторинга требуется решение задачи классификации, заключающейся в определении класса, к которому принадлежит объект. Классы формируются как состояния объекта, определяемые по совокупности его признаков в конкретный момент времени, характеризующих функциональное состояние, уровень работоспособности, отклонение от определенной нормы.

Поскольку рассматриваемая задача ОСО является востребованной для объектов в условиях малых обучающих выборок необходим подход, позволяющий преодолеть ограничения нейронных сетей. Таким подходом стало применение динамической модели распознавания сложных образов, которую предложил Герман Хакен. Развитием модели Г. Хакена занимались ученые: Basar E., Voebel F.G., Chen Q., Flohr H., Huang H., Hutt A., Marian M.F., Taherzadeh G., Shen Z.H., Wagner T., Wang F.Y., Бояркин М.И., Бутенков С.А.,

Колесников А.А., Литвинов В.Л., Матвеев С.В., Новиков Е.А., Савельев И.М., Семерий О.С., Юдашкин А.А. и др. Однако большинство работ по применению модели Г. Хакена направлены на решение задачи распознавания изображений, восстановление образов объектов или решение задач в областях физики и химии. Указанная модель не применялась учеными для решения задачи ОСО в процессе классификации.

Таким образом, оценка состояния объектов в условиях малых выборок остаётся нерешенной задачей. На основании вышеперечисленного сделано заключение, что разработка математического и программного обеспечения интеллектуального модуля (далее – ИМ) ОСО в условиях малых выборок является актуальной задачей.

Объектом исследования является процесс оценки состояния объектов в условиях малых выборок.

Предметом исследования являются метод и алгоритмы оценки состояния объектов в условиях малых выборок.

Целью исследования является повышение эффективности процесса оценки состояния объектов в условиях малых обучающих выборок. Для её достижения поставлены и решены следующие задачи:

- 1) создан метод ОСО, позволяющий определить класс состояния объектов в условиях малых выборок;
- 2) разработаны алгоритмы для автоматизации оценки состояния объектов;
- 3) создан ИМ ОСО с графическим человеко-машинным интерфейсом, позволяющим настраивать архитектуру под конкретную предметную область.

Область исследования соответствует п.п. 3, 4 и 7 паспорта специальности 2.3.5 в части исследования и разработки методов и алгоритмов программных систем (п.3), проектирования и реализации интеллектуальных систем машинного обучения (п.4), разработки программных средств человеко-машинных интерфейсов (п.7).

Методы исследования. В основе диссертационного исследования лежат методы и технологии интеллектуального анализа данных, компьютерного моделирования, технология разработки программных систем, математические основы программирования, объектно-ориентированное программирование.

Научная новизна полученных результатов:

1. Создан новый метод оценки состояния объектов, использующий трехуровневую последовательность процессов ОСО, отличающийся возможностью классифицировать состояния объектов в условиях малых обучающих выборок (п.3 паспорта научной специальности);
2. Разработан интеллектуальный модуль с возможностью настройки архитектуры под конкретную предметную область, отличающийся возможностями установки приоритетов различным категориям признаков состояний (п.4 паспорта научной специальности);
3. Создано оригинальное программное обеспечение, включая человеко-машинный интерфейс, для автоматизации оценки состояния объектов, что позволило ускорить процесс получения ОСО при малом количестве обучающих примеров (п.7 паспорта научной специальности).

Теоретическая значимость диссертации определяется новыми результатами, позволяющими автоматизировать оценку состояния объектов в системах мониторинга в условиях малого количества обучающих примеров. Разработанный метод, основанный на трехуровневой последовательности процессов ОСО, позволяет формировать оценку состояния объектов с учетом варьируемой степени влияния категорий признаков на объект. Разработанный модуль ОСО позволяет формализовать механизм приоритизации признаков и получения ОСО с учётом разделения признаков на категории. Процесс формализации признаков сложного объекта и программное обеспечение с человеко-машинным интерфейсом позволяют разделить процессы обучения и оценки, повышая скорость получения результата ОСО.

Практическая значимость диссертации заключается в формировании легко интерпретируемой оценки состояния объекта с помощью метода ОСО. Разработанные алгоритмы реализации модуля ОСО позволяют формировать оценки состояний с учётом различных категорий признаков и учитывать их приоритеты. Разработанный интеллектуальный модуль обладает возможностью настраивать архитектуру под конкретную предметную область путем настройки параметров, позволяет однократно обучить модуль под нее и многократно выполнять оценку. Практическая значимость диссертации подтверждено применением разработанного ИМ ОСО для решения прикладных задач в разных предметных областях. Использование разработанного человеко-машинного интерфейса позволило повысить скорость настройки модуля и формирования оценки при интеграции в систему мониторинга, сократить сроки реагирования в условиях возможных чрезвычайных ситуаций.

Положения, выносимые на защиту. Соискателем лично получены следующие основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Метод оценки состояния объектов в условиях малых обучающих выборок;
2. Алгоритмы настройки и работы интеллектуального модуля;
3. Программное обеспечение ИМ ОСО с графическим интерфейсом для автоматизации и повышения эффективности процессов настройки, обучения и оценки состояния объектов в условиях малых выборок.

Степень достоверности результатов диссертационного исследования обеспечивается всесторонним анализом научных работ российских и зарубежных исследователей; соответствием основных теоретических выводов полученным практическим результатам на основе разработанных метода ОСО и алгоритмов; согласованностью полученных оценок состояния объектов с эмпирическими данными и независимыми аналитическими заключениями, полученными на примерах практических задач; успешным использованием полученных результатов в различных организациях.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались на Международных научных конференциях «Математические методы в технике и технологиях» (Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Казань, 2021-2024), Международной конференции «Digital Transformation: Informatics, Economics, and Education» (Узбекистан, 2023), Международных конференциях «International

Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency» (Липецк, 2023, 2021), Российской научной конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями» (Москва, 2022), Международной научной конференции «Современные проблемы прикладной математики, информатики и механики» (Нальчик, 2022), Всероссийской конференции «Моделирование в инженерном деле» (Москва, 2022).

Полученные результаты исследований использованы в проекте FSFN-2024-0059 «Разработка научно-методического аппарата и технологических решений в области создания высокопроизводительных интеллектуальных систем обработки мультимодальных данных», о чём имеется соответствующий акт использования.

Предложенные решения в виде метода, последовательностей процессов ОСО и алгоритмов использованы при мониторинге состояния критических объектов внутренней инфраструктуры в АО «РТКомм.РУ» (аффилированной с национальным оператором «Ростелеком»), при прогнозировании возможных сбоев функционирования промышленных предприятий в ООО «РТСофт-СГ», а также для автоматизации процесса учета въезда транспортных средств на контролируемую территорию для ООО «ИТ Авангард». Материалы диссертации использованы в учебном процессе в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Личный вклад соискателя состоит в исследовании интеллектуальных подходов для оценки состояния объектов; создании метода и алгоритмов для ОСО в условиях малых выборок; формировании графического интерфейса для настройки архитектуры, обучения модуля и выполнения оценки; разработке программного обеспечения модуля ОСО. Без соавторов опубликовано 8 работ.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 24 научных работах, из них: 3 научные статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ; 6 научных статей, входящих в международные базы Scopus и Web of Science; 11 – в научных журналах, материалах и трудах конференций; получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, двух приложений. Общий объем диссертации составляет 159 страниц. Диссертация содержит 52 рисунка, 24 таблицы. Список литературы включает 133 библиографических источника.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулирована цель диссертации и научная новизна, дана общая характеристика работы, раскрыта практическая значимость полученных результатов, перечислены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрены существующие методы и подходы к анализу неструктурированных данных для ОСО в системах мониторинга, определена задача ОСО как задача классификации, выполнен анализ нейросетевых

технологий для решения задачи классификации, описаны существующие варианты решения проблемы малых выборок в нейронных сетях.

В системах мониторинга одной из ключевых задач этапа анализа является *оценка состояния объектов*. Необходимо учитывать, что алгоритмы обработки данных должны корректно выполнять ОСО как в условиях большого потока параметров в режиме реального времени, так и при отсутствии большого количества примеров классов для обучения. Алгоритм должен обладать свойствами ассоциативной памяти, понижения размерности, восстановления данных, ранжирования информации и работать с малыми выборками.

В общем виде ОСО в системах мониторинга является частным случаем задачи классификации. Основным подходом к решению задачи ОСО в системах мониторинга являются *нейросетевые методы* обработки данных, способные находить скрытые нетривиальные закономерности в разнородных данных. Рассмотрены нейросетевые подходы к решению задачи классификации. По результатам анализа существующих методов сделано заключение, что нейронные сети имеют ряд ограничений, в том числе являются требовательными к данным и менее эффективны в обучении, когда присутствует ограниченное количество примеров наборов данных для одного класса.

В качестве альтернативы нейронным сетям для решения задачи классификации предложено рассмотреть *динамическую модель Г. Хакена*. В основе предложенной модели лежат следующие идеи: концепция *ассоциативной памяти*; *снижение размерности*; *ранжирование* признаков состояния объекта, *отсутствие* необходимости формирования объёмных наборов данных для обучения. Сделан вывод о необходимости разработки нового метода ОСО в условиях малых обучающих выборок, основанный на модификации динамической модели с возможностью сохранения её свойств.

Вторая глава посвящена разработке обобщенного алгоритма классификации состояний объектов и созданию метода ОСО. Для разработки алгоритма рассмотрены особенности динамической модели Г. Хакена при работе с неполными данными, влияние параметров потенциальной функции на деформации. Создан метод ОСО на основе развития обобщенного алгоритма.

Динамическая модель Г. Хакена предложена им для распознавания сложных образов. Поскольку распознавание заключается в присвоении объекту по его признакам определенного класса, то это частный случай классификации.

Указанная модель основана на принципе минимизации энергии. В её основе лежит потенциальная функция, которая определяет устойчивые состояния объекта, обеспечивающие минимальное значение энергии, и их сохранение при действии флуктуаций.

В общем случае формирование потенциальной функции V в модели Г. Хакена содержит два этапа: формирование классов (эталонных состояний, $v_k, k = 1, \dots, M$, где M – количество классов); сравнение состояния объекта (q) с эталонами (v_k). В результате выбирается тот класс (эталон) v_k , который в наибольшей степени соответствует заданному вектору состояния объекта q .

Проведено исследование способности рассматриваемой модели ранжировать информацию и задавать значимость признаков объекта.

Исследовались различные значения параметров внимания λ_k при формировании рельефа, где потенциальное поле задавалось функцией вида:

$$V = -\frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \lambda_k (v_k^+ q)^2 + \frac{1}{4} B \sum_{k \neq k'} (v_k^+ q)^2 (v_{k'}^+ q)^2 + \frac{1}{4} C \sum_{kk'} (v_k^+ q)^2 (v_{k'}^+ q)^2.$$

На Рисунке 1 представлен двухмерный случай, когда параметры λ_k играли роль критериев значимости. В этом контексте классификация равносильна минимизации значения потенциальной функции путем изменения q в соответствии со специальной динамикой, обусловленной структурой потенциальной функции V . Минимум, в который попадает q , представляет класс, к которому относится оцениваемый объект. Причём чем больше значение параметра внимания λ_k для текущего класса (эталона), тем резче изменяется энергия при небольших отклонениях v_k и больше вероятность отнесения вектора q к классу с наибольшим значением λ_k .

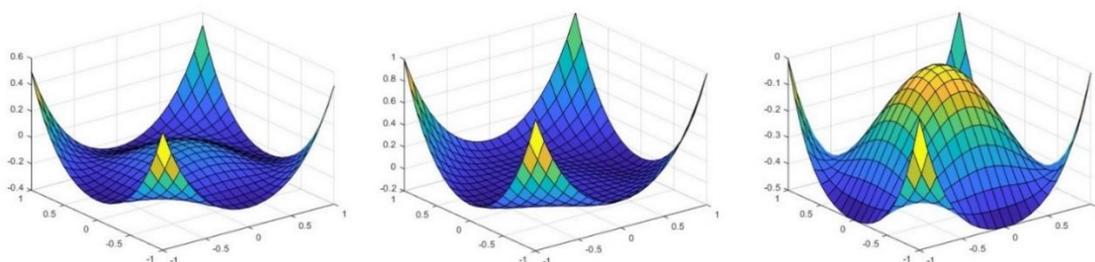


Рисунок 1. Виды потенциального поля при разных значениях параметров внимания

Однако в научных работах ученых, применяющих рассматриваемую модель, не приводятся указания для процессов формирования постоянных λ_k , B и C , не определены возможности настройки модели под конкретную задачу.

Разработан обобщенный алгоритм классификации состояния объектов, на основе развития динамической модели с учетом особенностей задачи классификации. Алгоритм разделен на три этапа: 1) формирование исходных данных (количество (M) и набор классов (v_k), при необходимости: параметров внимания (λ_k), констант B и C), 2) процесс обучения, 3) классификация состояния объектов.

Набор классов (векторов эталонов) v_k формируется на этапе подготовки исходных данных. Установлено, что классы (эталонные векторы) могут быть сформированы как на основе статистических выборок или данных экспертной оценки, так и на основе данных единично возникшего состояния оцениваемого объекта. Таким образом, алгоритм гарантирует решение задачи классификации даже при малом количестве обучающих примеров.

Для классификации объектов необходимо сформировать вектор состояния $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ в момент наблюдения за состоянием объекта $t=0$. Поскольку состояние объекта может изменяться со временем, это приводит к зависимости вектора состояния от времени $q(t)$. Такой способ представления данных позволяет сформировать формализованный набор признаков объекта, приведя разнородные данные к единому формату.

Исходные признаки объекта необходимо формализовать в набор значений вектора $q(0)$ по аналогии с векторами-эталонами. Для классифицируемого

вектора необходимо вычислить параметры порядка $p_k = v_k^+ q(0)$, $k = 1 \dots M$, отражающие основные устойчивые состояния системы. Установлено, что параметры порядка позволяют перейти от многомерного описания к меньшему числу значимых параметров, снижая вычислительную сложность. Вектор считается более похожим на такой класс v_k , у которого p_k имеет максимальное значение, т.е. алгоритм связывает начальное состояние $q(0)$ с заданным заранее классом (эталонном) v_k , $k \in 1, 2, \dots, M$. Полученные значения параметров порядка являются первичным решением задачи классификации, но не решают задачу в случае изменения состояния объекта с течением времени. Для решения задачи классификации в динамике необходимо решить систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = \lambda_k p_k - B p_k \sum_{i \neq k}^M p_i^2 - C p_k \sum_{i=1}^M p_i^2,$$

где λ_k , B и C – постоянные заданные исходные значения.

В главе 2 выполнена проверка работоспособности обобщенного алгоритма классификации состояния объектов и выявлены особенности реализации на примере задачи *классификации искаженных символов по их изображениям*. Установлено, что эталон может быть классифицирован, только если его параметр внимания положителен, а скорость сходимости распознавания состояний объектов контролируется с помощью констант.

В результате уточнения особенностей реализации обобщенного алгоритма классификации состояния объектов применительно к задаче ОСО сформулированы *основные положения метода, позволяющие оценить состояние объектов в условиях малых обучающих выборок*:

1) характеристики влияния окружающего контекста добавляются как дополнительные признаки объекта, признаки объекта должны быть разделены по наборам (категориям) в случае большой размерности векторов;

2) определен физический смысл констант B и C . Установлено, что параметр B определяет уровень кооперации или конкуренции между признаками объекта, параметр C характеризует степень внешнего воздействия на объект. Коэффициенты должны формироваться с учётом выявленных условий: $B > 0$, $C > 0$, $B = \gamma + \beta$, $C = \gamma$, где γ и β – вещественные числа, в общем случае предлагается рассчитывать параметр $\gamma = \frac{\sum_{k=1}^M \lambda_k}{M}$, где M – количество эталонов. При отсутствии степени влияния внешних и внутренних факторов на объект устанавливают $B=C=1$;

3) устанавливаются типы параметров внимания, позволяющих ранжировать информацию: сбалансированные $\lambda = C > 0$ и не сбалансированные. Предложен способ адаптивного определения параметров внимания и итерационный способ повышения точности значений параметров внимания. Параметры внимания должны формироваться с учётом выявленных условий: $\lambda_k > 0$, для сбалансированных параметров $\lambda_1 = \dots = \lambda_M = 1$, для несбалансированных параметров $\frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^M \lambda_k} > 0,5$, что гарантирует притяжение вектора к конечному состоянию;

4) для повышения адаптивности и гибкости выбираются адаптивные математические вычисления, применяемые в алгоритме: L_2 -норма для стандартизации векторов, что позволяет гарантировать численную устойчивость и сохранение достоверности признаков объекта; поиск обратной матрицы – при помощи LU-разложения с выбором главного элемента, что позволяет корректно обрабатывать близкие к нулю значения признаков векторов; для программной реализации функция решения системы дифференциальных уравнений, позволяющую выбирать метод решения в зависимости от входных данных, решать жесткие и нежесткие, а также одномерные и многомерные системы, что является важным свойством для задаваемого количества эталонов.

5) признаки объекта разделяются на категории и определяется наиболее значимая категория, имеющая влияние на состояние объекта;

6) при оценке предоставляется возможность вручную поднимать или понижать значимость отдельных категорий и задавать приоритет каждой из них;

7) при настройке архитектуры вводятся названия оценок для повышения интерпретации результата ОСО;

8) при программной реализации метода производится проверка вводимых данных пользователем;

9) при программной реализации метода разделяются этапы обучения и оценки с целью ускорения процесса формирования ОСО.

Разработанный обобщенный алгоритм классификации состояния объектов с учётом сформированных положений метода и особенностей задачи ОСО позволяет создать новый метод оценки состояния объектов на основе изменения последовательности процессов ОСО.

Метод включает в себя три основных процесса: настройка, обучение и ОСО. Настройка позволяет сформировать структурированный набор признаков объектов, разделить его на категории и сформировать наименования оценок, которые выводятся в результате ОСО. Процесс обучения включает два этапа: обучение для категорий и для итоговой оценки. В результате настройки и обучения формируется набор данных, позволяющих многократно выполнять ОСО в условиях конкретной настроенной задачи. Процесс ОСО включает в себя получение признаков оцениваемого объекта, первичную оценку по категориям, определение наиболее значимой категории, влияющей на объект, итоговую оценку состояния объекта и график динамики изменения оценки в процессе решения задачи.

В третьей главе описан процесс разработки последовательности процессов ОСО и алгоритмов их реализации, представлен процесс проектирования прототипа ИМ ОСО, который обеспечивает практическое применение метода. Разработана и предложена трехуровневая последовательность процессов ОСО (Рисунок 2).

Поскольку ОСО подразумевает комплексную оценку по различным категориям признаков состояния объекта, принято решение сформировать блок первичной оценки для каждой категории признаков. На этом этапе каждая категория (C_1 - C_n) формирует значение первичной оценки в своей категории, из совокупности полученных значений формируется вектор первичной оценки по

категориям. Полученный вектор унифицируется для приведения к общему формату и передается в блок учёта приоритетной категории, предназначенный для определения наиболее значимой категории в оценке.

В процессе определения учитывается возможное отсутствие данных по одной или нескольким категориям. В результате работы модуля формируется приоритетная категория, которая должна иметь наиболее значимую роль в оценке, а также значения корректирующих весов для вектора первичной оценки с учётом приоритета категорий.

Заключительным этапом работы модуля ОСО является выполнение итоговой оценки с применением алгоритма классификации состояния объектов. Количество итоговых оценок формируется исходя из требований к решаемой задаче. Для каждой оценки задается эталонный вектор, содержащий ориентировочные оценки каждой сформированной категории, соответствующие значению оценки категории. Результатом работы модуля ОСО является полученная оценка состояния объекта, график динамического изменения и наиболее значимая категория.

Метод ОСО включает в себя процессы получения параметров настройки категорий, обучения модуля, получения данных оцениваемого объекта, обработки и учёта приоритетов и выполнения ОСО. Разработанные алгоритмы обучения и обработки, учёта приоритетов и оценки состояния объектов представлены на Рисунках 3-5.

Алгоритмы обучения интеллектуального модуля для категорий и для итоговой ОСО имеют одинаковый принцип формирования параметров за исключением процесса обработки множественности категорий.

Предложена и разработана структура ИМ ОСО (Рисунок 6), а также графический интерфейс пользователя (Рисунок 7). Разработаны программные средства, которые обеспечивают решение задачи ОСО при помощи ИМ ОСО, и спроектирована структура хранения данных. Программное обеспечение упрощает настройку и получение результата в процессе решения задачи ОСО.

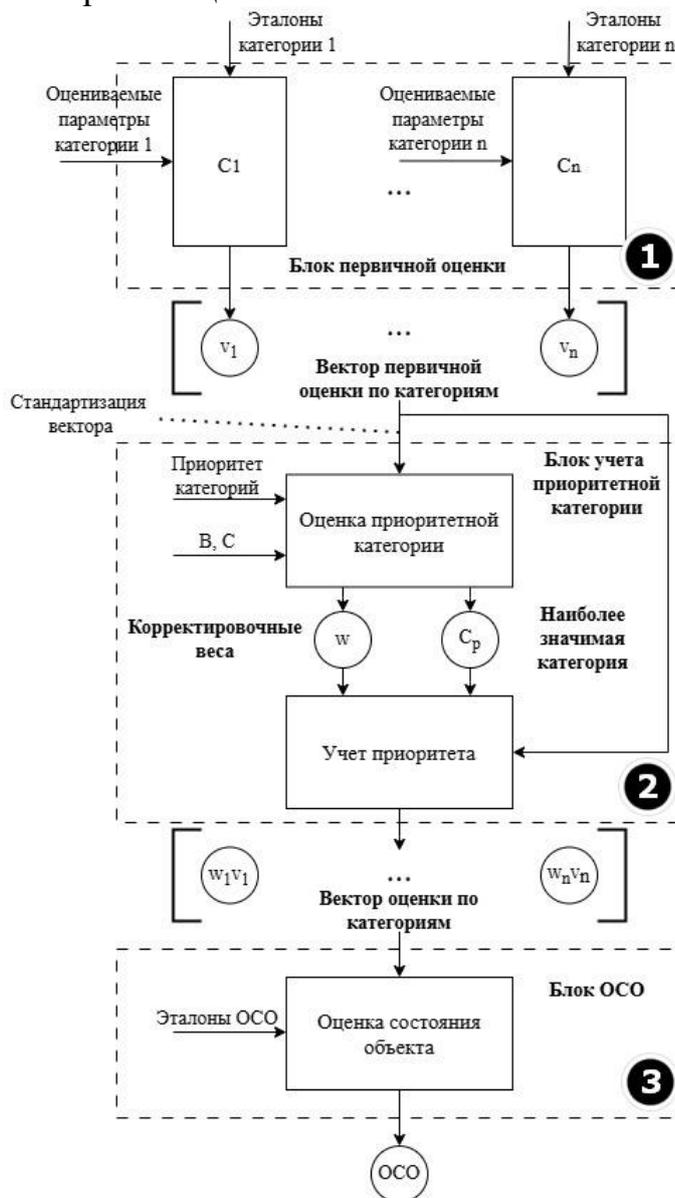


Рисунок 2. Трехуровневая последовательность процессов ОСО

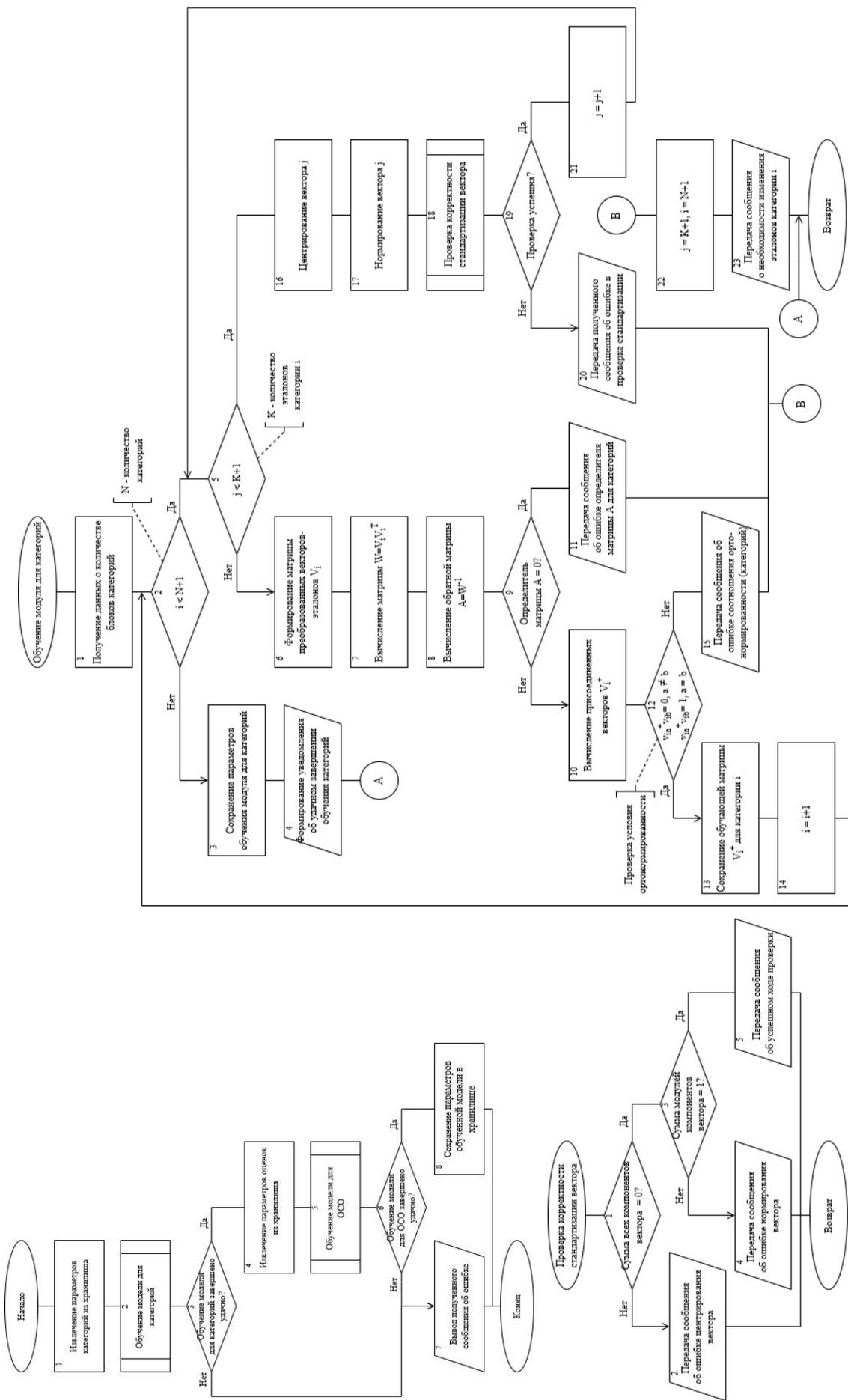


Рисунок 3. Алгоритмы обучения модуля для категорий, обобщенного обучения и проверки корректности вектора

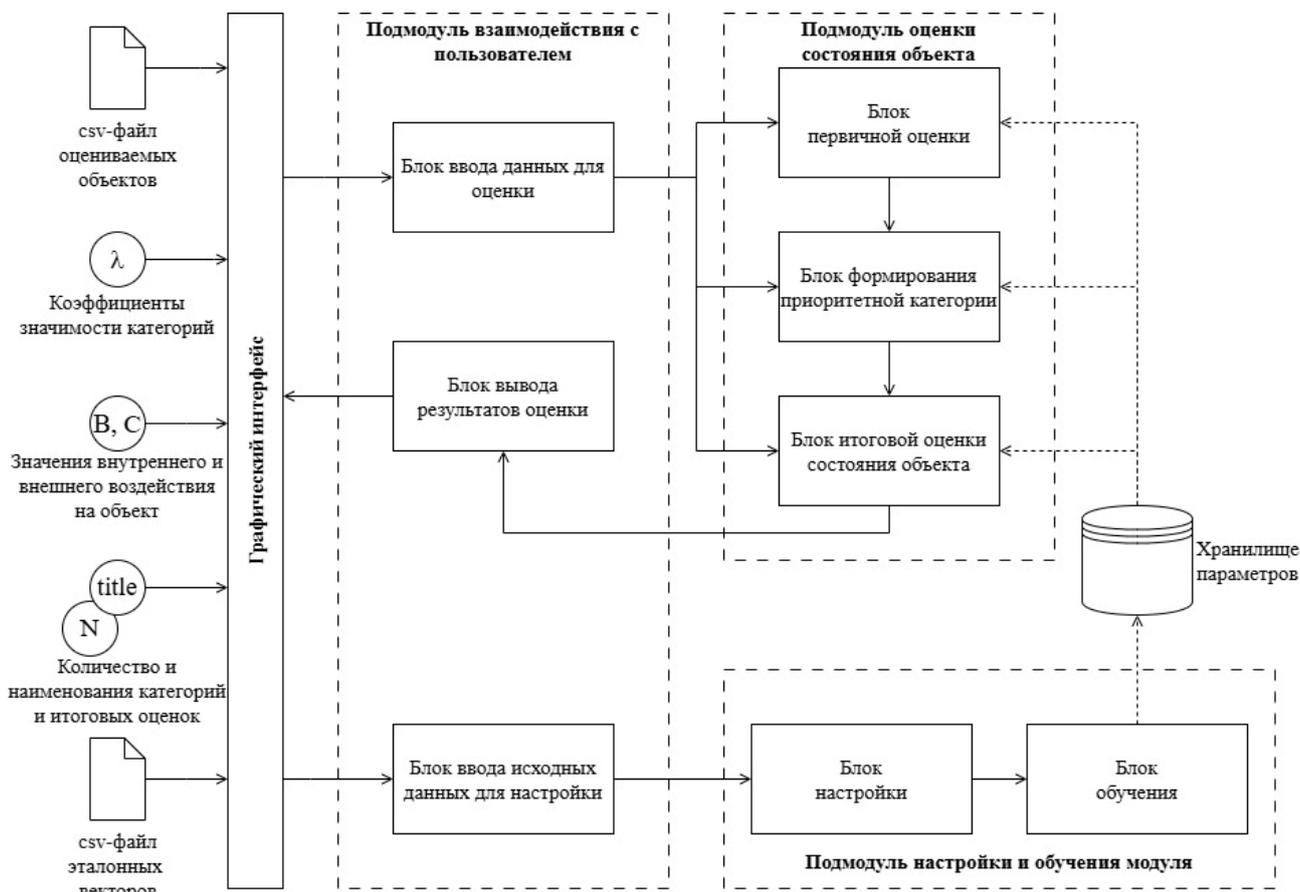


Рисунок 6. Архитектура программного обеспечения ИМ ОСО

Поскольку процесс работы с ИМ ОСО разделен на 2 этапа: настройка/обучение и оценка состояния объекта, то предусмотрено 2 типа пользователей: эксперт и ЛПР, не являющиеся специалистом в области интеллектуальных технологий.

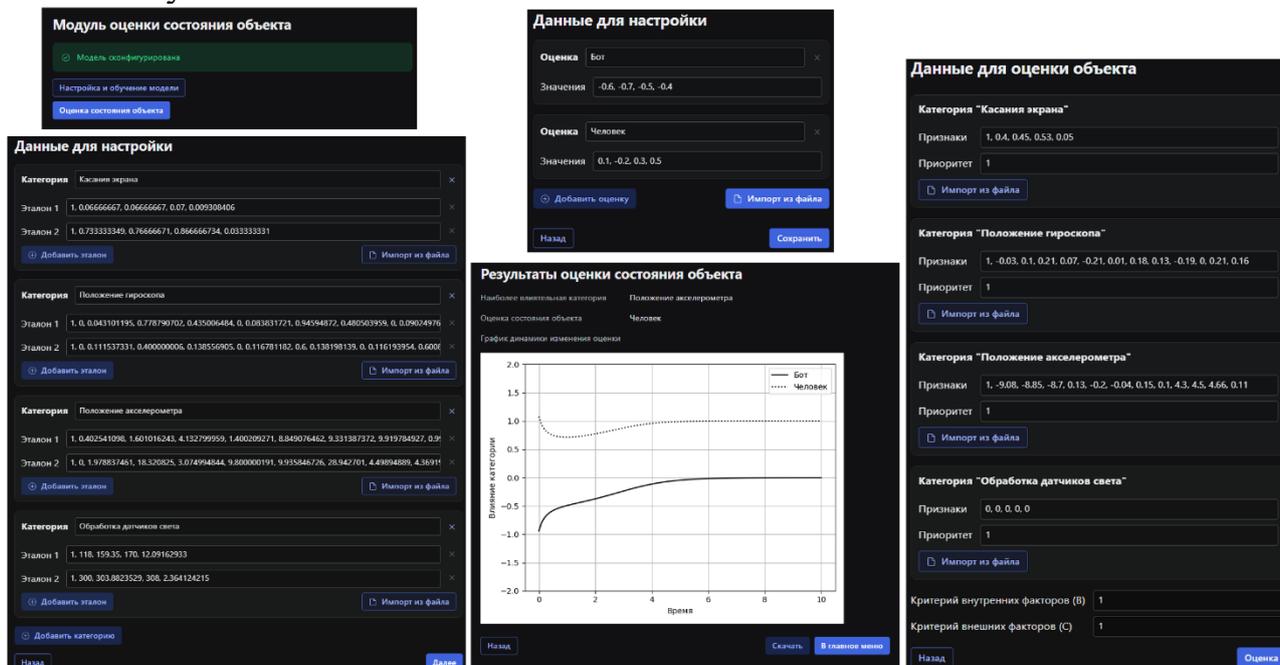


Рисунок 7. Графический интерфейс пользователя ИМ ОСО

Реализован объектно-ориентированный графический интерфейс. Модуль предполагает наличие «клиент-серверной» архитектуры. Серверная часть ИМ

ОСО включает в подмодули настройки и обучения, оценки состояния объекта и хранилище параметров обученного модуля в формате JSON-документов.

В четвёртой главе описаны особенности настройки и использования ИМ ОСО, процесс апробации модуля на примерах решения прикладных задач, проведена оценка эффективности работы ИМ ОСО.

Модуль ОСО предполагает обучение «с учителем», процесс обучения проходит при помощи заранее сформированных эталонных данных для каждой категории и оценки. Для настройки модуля эксперт вносит данные по категориям и итоговой оценке, запускает процесс обучения. В случае успешного обучения данные для процесса ОСО сохраняются в хранилище в формате документа с заданными экспертом параметрами объектов. При необходимости внесения изменений в исходные данные ОСО пользователь эксперт должен повторить процесс обучения заново с учётом вносимых изменений.

После настройки модуль ЛПР сможет многократно его использовать, сформировав наборы признаков оцениваемых объектов, для решения задачи, под которую ИМ ОСО настроен экспертом.

Получены результаты ОСО при решении следующих прикладных задач: оценка степени угрозы состоянию транспортного средства, оценка принадлежности объектов к группе по изображению, оценка поведения пользователей в веб-приложении для обнаружения ботов, оценка состояния регионов. Работа ИМ ОСО успешно протестирована на различных примерах, что позволяет сделать вывод о возможности его применения для задач ОСО.

Для подтверждения эффективности ИМ ОСО проведено сравнение с существующими нейросетевыми технологиями. Для сравнения выбраны наиболее применимые для задачи ОСО нейронные сети: сеть Хопфилда, сети DNN и CNN (Таблица 1).

Таблица 1.

Сравнение характеристик нейронных сетей и ИМ ОСО

Характеристика	НС Хопфилда	DNN	CNN	ИМ ОСО
Точность	0.3333	0.9966	0.7574	0.8582
Среднее время обучения	< 1 сек	> 1 мин	> 1 мин	< 1 мин
Среднее время оценки	~ 1 мс	~ 5 мс	~ 5 мс	~ 1 мкс
Контроль точности оценки	Увеличение итераций	Увеличение слоев и эпох	Увеличение слоев и эпох	Увеличение периода
Ограничение числа образов	Да	Нет	Нет	Нет

Также выполнен анализ соответствия категориям эффективности ИМ ОСО. В результате сравнения работы ИМ ОСО с известными методами показал, что модуль имеет высокую интерпретируемость данных, позволяет выполнять оценку в условиях малых выборок, имеет возможность контроля и учёта влияния категорий на ОСО, обладает наиболее быстрым временем формирования результата оценки.

Анализ результатов подтверждает повышение эффективности процесса оценки состояния объектов при использовании предложенного ИМ ОСО.

В заключении сформулированы основные результаты исследования:

- 1) определена задача оценки состояния объектов как задача классификации, сформулирована проблема малых обучающих выборок;
- 2) исследованы особенности динамической модели Г. Хакена;
- 3) реализован обобщенный алгоритм классификации состояния объектов;
- 4) показано, что для решения задачи ОСО необходимо разделение признаков объекта на категории, возможность установки приоритетов категорий, а также необходимо разделение процессов обучения и оценки для повышения эффективности работы алгоритма;
- 5) предложен новый метод оценки состояния объектов, использующий трехуровневую последовательность процессов ОСО;
- 6) разработаны алгоритмы ИМ, позволяющие настраивать архитектуру модуля под конкретную предметную область, отличающиеся возможностями установки приоритетов различным категориям;
- 7) спроектировано и разработано оригинальное программное обеспечение для автоматизации оценки состояния объектов, позволяющее ускорить процесс получения ОСО при малом количестве обучающих примеров;
- 8) разработан человеко-машинный интерфейс, позволяющий разделить процессы настройки и обучения для эксперта и ОСО для ЛПР;
- 9) выполнено сравнение с нейросетевыми технологиями и анализ соответствия категориям эффективности ИМ ОСО.

В диссертации решена актуальная **научная задача**, заключающаяся в разработке нового метода оценки состояния объектов на основе трехуровневой последовательности процессов ОСО и оригинального программного обеспечения, включающего человеко-машинный интерфейс, для повышения эффективности и ускорения процесса получения оценок в условиях малых выборок.

Результаты исследований апробированы и внедрены в различных организациях, где отмечено повышение эффективности и ускорение процесса получения ОСО и снижение временных затрат.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Оценка социально-экономического состояния региона на основе модели Хакена / Ю.А. Вишневская [и др.]. // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2024. № 10. С. 33-41. (1,3 п.л./0,5 п.л.)
2. Вишневская Ю.А., Булдакова Т.И., Суятинов С.И. Сравнительный анализ интеллектуальных подходов к решению задачи идентификации ситуаций // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2024. № 2 (147). С. 84-101. (1,1 п.л./0,5 п.л.)
3. Вишневская Ю.А., Суятинов С.И., Булдакова Т.И. Синергетическая модель ситуационной осведомленности человека-оператора в эргатических системах управления подвижными объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2022. Т. 23, № 6. С. 302-308. (1,3 п.л./0,45 п.л.)

4. Assessment of the Socio-Economic State of a Region Based on the Haken Model / J.A. Vishnevskaya [et al.]. // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2024. Vol. 58, № 5. P. 351-358. DOI: 10.3103/S0005105524700274. (0,5 п.л./0,1 п.л.)
5. Vishnevskaya Y.A., Buldakova T.I., Suyatinov S.I. Neural Network and Synergetic Approaches to Solving the Problem of Situation Identification // Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 to Industry 5.0 Transition. Cham: Springer, 2024. Vol. 560. P. 3-13. DOI: 10.1007/978-3-031-67911-7_1. (0,6 п.л./0,25 п.л.)
6. Vishnevskaya J., Salyp B. Comparison of Applicability of Synergetic Models with Convolutional Neural Networks as an Example of Pattern Recognition // 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). IEEE, 2023. P. 196-200. DOI: 10.1109/SUMMA60232.2023.10349663. (0,6 п.л./0,4 п.л.)
7. Vishnevskaya J., Salyp B. Comparison of the applicability of synergistic models with dense neural networks on the example of mobile device security // International Conference on Digital Transformation: Informatics, Economics and Education (DTIEE2023), SPIE. 2023. Vol. 12637. P. 81-87. DOI: 10.1117/12.2680842. (0,6 п.л./0,4 п.л.)
8. Vishnevskaya Y.A., Suyatinov S.I., Buldakova T.I. Synergistic Model of Situational Awareness of the Human Operator // Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions. Cham: Springer, 2022. Vol. 416. P. 331-340. DOI: 10.1007/978-3-030-95112-2_27. (0,6 п.л./0,2 п.л.)
9. Vishnevskaya J.A., Suyatinov S.I., Buldakova T.I. Identification of Situations Based on Synergetic Model // 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). IEEE, 2021. P. 509-514. DOI: 10.1109/SUMMA53307.2021.9632207. (0,9 п.л./0,3 п.л.)
10. Вишневская Ю.А., Булдакова Т.И. Исследование перспективного интеллектуального метода в лабораторном практикуме // Управление качеством инженерного образования: перспективы искусственного интеллекта: Материалы III Международной конференции, посвященной 70-летию кафедры ИУ6. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. С. 17-19. (0,25 п.л./0,1 п.л.)
11. Вишневская Ю.А., Джалолов А.Ш. Применение модели Хакена для оценки социально-экономического состояния региона // Математические методы в технологиях и технике. 2024. № 8. С. 105-109. (0,4 п.л./0,2 п.л.)
12. Вишневская Ю.А., Булдакова Т.И., Суятинов С.И. Сравнение нейросетевого и синергетического подходов при идентификации ситуаций // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 3. С. 85-89. (0,5 п.л./0,4 п.л.)
13. Вишневская Ю.А. Синергетическая модель ситуационной осведомленности человека-оператора при распознавании ситуаций // Современные проблемы прикладной математики, информатики и механики: Сборник трудов Международной научной конференции. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2022. С. 19-21. (0,2 п.л.)

14. Вишневская Ю.А. Применение синергетики для организации сложных систем в технических науках // Просвещение и познание. 2022. № 7(14). С. 21-32. (0,7 п.л.)
15. Вишневская Ю.А. Теоретические основы синергетики Германа Хакена // Просвещение и познание. 2022. № 7(14). С. 33-43. (0,6 п.л.)
16. Вишневская Ю.А. Распознавание образов с использованием синергетической модели Хакена на примере классификации цифр // Наука, технологии и бизнес 2022: Материалы IV Межвузовской конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. С. 220-224. (0,25 п.л.)
17. Вишневская Ю.А. Применение Matlab для реализации синергетических вычислений // conf.exponenta.ru: Материалы VIII Всероссийской конференции Моделирование в инженерном деле. 2022. URL: <https://conf.exponenta.ru/modelirovanie-v-inzhenernom-dele> (дата обращения: 10.06.2022) (0,5 п.л.)
18. Вишневская Ю.А. Анализ возможностей теории динамического поля // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2022): Сборник научных трудов XXV Российской научной конференции. Том 2. Москва: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2022. С. 38-44. (0,5 п.л.)
19. Вишневская Ю.А., Суятинов С.И., Булдакова Т.И. Построение модели ситуационной осведомленности человека-оператора на принципах синергетики // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 9. С. 92-96. (0,4 п.л./0,15 п.л.)
20. Вишневская Ю.А., Булдакова Т.И. Применение синергетической модели для распознавания символов // Южно-Уральская молодежная школа по математическому моделированию: Сборник трудов IV всероссийской студенческой научно-практической конференции. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. С. 58-62. (0,4 п.л./0,2 п.л.)
21. Программа интеллектуального модуля оценки состояния объекта по категориям: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025617812 РФ. / Ю.А. Вишневская; заявл. 19.03.2025; опубл. 28.03.2025. Бюлл. № 2025616490.
22. Веб-приложение распознавания ситуаций при помощи синергетической нейронной сети: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683025 РФ. / Ю.А. Вишневская; заявл. 23.09.2024; опубл. 03.10.2024. Бюлл. № 2024682102.
23. Программа комплексного оценивания состояния региона на основе синергетической сети: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024668589 РФ. / Ю.А. Вишневская, А.Ш. Джалолов, Т.И. Булдакова, С.И. Суятинов; заявл. 26.07.2024; опубл. 08.08.2024. Бюлл. № 2024667815.
24. Программа реализации синергетического механизма распознавания образов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663928 РФ. / Ю.А. Вишневская, Т.И. Булдакова, С.И. Суятинов; заявл. 05.06.2023; опубл. 28.07.2023. Бюлл. № 2023661700.