

Проект: Исследование и разработка нейросетевых методов автоматического решения задач интеллектуальных систем управления

Руководитель проекта: **Степанов Михаил Федорович**, д.т.н., профессор кафедры «Системотехника и управление в технических системах» СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 24-21-00488.

Научная проблема, на решение которой направлен проект:

Проблема, на решение которой направлен проект характеризуется следующими постулатами:

1. Недостаточно высокий уровень автоматизации процесса разработки и исследования интеллектуальных систем управления сложными техническими объектами в условиях риска и неопределённости внешней среды. Как следствие, неоправданно большие временные, материальные и финансовые затраты на создание интеллектуальных систем управления.

2. Недостаточно высокий уровень «интеллектуальности» как существующих, так и разрабатываемых интеллектуальных систем управления. Подавляющее большинство из них предназначено для решения узкого класса «типовых» задач, для которых часто известно алгоритмическое решение.

3. Допускается лишь незначительный уровень неопределенности и неполноты постановки задач, решаемых интеллектуальными системами управления. Возможность функционирования в условиях незначительной неопределенности внешней среды обеспечивается известными методами задания запасов устойчивости и грубости алгоритмов управления. При более значительной степени неопределенности внешней среды, но в отсутствии жестких требований к времени регулирования иногда применяются методы адаптивного управления.

4. Современные интеллектуальные системы управления, функционирующие в составе автоматизированных систем не учитывают особенности задач управления сложными техническими системами в условиях неполноты постановки задачи управления, неопределенности как внешней среды, так и объекта управления.

Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы:

Актуальность решения обозначенной проблемы обусловлена следующими факторами:

- неизменно высокий рост сложности объектов управления; неполнота и неопределенность значений многих параметров объектов управления;
- неполнота и неопределенность математических моделей объектов управления; неполнота и неопределенность значений многих параметров внешних возмущений;

- ужесточение сроков разработки систем управления; снижение, в среднем, квалификации разработчиков; недоучёт особенностей задач управления сложными техническими системами в условиях неполноты постановки задачи управления, неопределенности как внешней среды, так и объекта управления;

Научная значимость решения обозначенной проблемы определяется следующими ожидаемыми результатами выполнения проекта:

- создание теории интеллектуальных систем, в состав которых входит интеллектуальный решатель, построенный на базе планирующих искусственных нейронных сетей (ПИНС) для решения декларативно поставленных задач в условиях неопределенности как внешней среды, так и объекта управления, неполноты постановки задачи управления.

- создание экспериментального образца инструментальных средств автоматизированной поддержки разработки интеллектуальных систем управления сложными техническими объектами в условиях неопределенности как внешней среды, так и объекта управления, неполноты постановки задачи управления.

Задача в рамках проблемы, на решение которой направлен проект:

1.Создание теории интеллектуальных автоматизированных систем управления, способных:

- автоматически решать (выполнять синтез и анализ закона управления) задачи управления заданным объектом при отсутствии (низком уровне) неопределенности на основе имеющихся знаний (по известной адекватной задаче процедуре решения задачи, а при её отсутствии способной предварительно её построить и сделать известной) в базе знаний (модель предметной области);

- автоматически решать (выполнять синтез и анализ закона управления) задачи управления заданным объектом при допустимо высоком уровне неопределенности и неполноты информации о среде функционирования на основе имеющихся знаний (по известной адекватной задаче процедуре решения задачи, а при её отсутствии способной предварительно её построить и сделать известной) в базе знаний (модель предметной области);

- автоматически решать задачи реализации закона управления на выбранной элементной базе (микропроцессорная техника, ПЛИС).

2.Разработка экспериментальных образцов инструментальных средств поддержки разработки интеллектуальных автоматизированных систем управления сложными объектами в условиях неполноты постановки задачи управления, неопределенности как внешней среды, так и объекта управления.

Научная новизна предусмотренных к проведению в рамках проекта исследований определяется:

- методами построения интеллектуальных систем управления, обеспечивающими повышение уровня интеллектуальности разрабатываемых систем за счет применения интеллектуального решателя декларативно поставленных задач с использованием планирующих искусственных

нейронных сетей на основе многоуровневой модели знаний предметной области;

- подходом к построению многоуровневой модели знаний предметной области, используемой интеллектуальным решателем для решения декларативно поставленных задач, учитывающим повышенный уровень неполноты и неопределенности исходных данных задачи управления;

- потенциально возможной способностью разрабатываемых интеллектуальных систем управления учитывать возможный уровень неопределенности как внешней среды, так и объекта управления, неполноты постановки задачи управления, учитываемых в атрибутах компонентов многоуровневой модели знаний проблемной области.

В соответствии планом работ по проекту выполнено следующее:

1. Разработана структура модели знаний о методах решения задач управления, учитывающая возможную неполноту постановки задачи управления, обусловленную наличием неопределённостей объекта управления и/или внешней среды. Предлагаемая формализация представления знаний проблемной области теории автоматического управления, на которой ставятся и решаются задачи проектирования и исследования систем автоматического управления с использованием теоретико-множественного подхода в обобщённом виде может быть представлена композиционной структурой в виде триады множеств: $M = \langle P, O, R \rangle$, где P - множество формализованных описаний понятий теории автоматического управления (ТАУ), называемых «предметами», обладающих атрибутами: свойствами, характеристиками, формами математических моделей и компонентами, в качестве которых выступают другие предметы; R - множество отношений между предметами и их атрибутами; O - множество действий (операций), выполняемых над предметами, их атрибутами, включая операции вычисления значений отношений.

2. Выполнен анализ видов неопределённости объекта управления, внешней среды и условий, при которых известными методами решения задач стабилизации и управления при наличии неопределённости возможно достижение цели поставленной задачи управления.

На основе проведённого анализа видов неопределённости объекта управления и внешней среды и методов решения задач стабилизации и управления при их наличии, на основании имеющего у команды разработчиков данного проекта задела в области автоматизации решения задач проектирования систем автоматического управления для выбранного класса задач управления:

- 1) Разработан состав множества предметов модели разрабатываемой знаний, их атрибутов, включая описания видов неопределённости объектов управления и внешних воздействий.

- 2) Разработан состав множества действий (операций) модели разрабатываемой знаний.

3) Разработан состав множества отношений (предикатов), описывающих взаимосвязи между понятиями модели знаний и используемых также для описания требований к результатам решения задач.

Для учёта в разрабатываемой модели знаний наличия неопределённости в моделях динамических систем введены дополнительно атрибуты (формы математических моделей, характеристики и свойства), описывающие виды неопределённости (интервальная, аффинная, частотная, ...), их характеристики (масштаб, размах, норма, диапазон, ...), свойства (линейность, мультилинейность, полиномиальность, многомерность, ...).

3. Разработана архитектура мультиагентной распределённой вычислительной системы автоматического решения задач проектирования и исследования интеллектуальных систем автоматического управления. Показано, что сервера планирования и приложений мультиагентной системы, реализующие соответственно планирующую и исполнительные подсистемы интеллектуального решателя задач реализуются в виде множеств (массивов) *серверов-агентов планирования*, распределённо-параллельно решающих задачи планирования действий по решению поставленных задач и *серверов-агентов приложений*, распределённо-параллельно осуществляющих выполнение действий, предусмотренных построенными планами решения поставленных задач, включая параллельное выполнение действий (операций, в том числе процедурно реализованных) по решению однотипных задач над множеством данных решаемой задачи, обусловленных наличием неопределённости в постановке задачи построения системы автоматического управления (например, необходимость решения множества линейных матричных неравенств, возникающая, в частности, в задачах построения робастных систем управления объектами с неопределённостью).

4. Разработаны алгоритмы функционирования интеллектуального решателя задач проектирования и исследования систем автоматического управления с учётом возможного наличия неопределённости объекта управления и внешней среды избранных видов.

Построены теоретико-множественные модели решения типовых и непроцедурно поставленных задач интеллектуальным решателем с использованием планирующих искусственных нейронных сетей в процессе планирования действий на многоуровневой модели представления знаний при решении задач управления в условиях неопределённости.

5. Проведены исследования свойств математической модели и алгоритмов функционирования интеллектуального решателя.

Показана возможность учёта особенностей процедур решения задач проектирования и исследования систем управления, обусловленных возможным наличием неопределённости рассматриваемых видов.

Проведены исследования сходимости алгоритма функционирования планирующей искусственной нейронной сети (ПИНС) как основного

решающего блока интеллектуального решателя задач проектирования и исследования систем управления.

Приведены примеры решения задач на построенной модели знаний, иллюстрирующие применимость разработанных дополнительных компонентов модели знаний, включая предложенные новые алгоритмические структуры при решении задач построения законов управления систем автоматического управления объектами с различными видами неопределённости.

6. Разработанные в рамках выполнения проекта методы и алгоритмы моделирования функционирования интеллектуального решателя (И-решателя) задач включают не только выполнение действий решателя по решению задач, но и допускают возможность наблюдения за этим процессом от простого протоколирования до интерактивного управления. Знания о методах решения задач теории автоматического управления (ТАУ) включают декларативную (описательную) часть и процедурную, включающую реализации операций, используемых в методах решения задач.

Декларативные знания уровня исследователя, специалиста в теории автоматического управления формируются с использованием профессиональной терминологии на этапе разработки модели знаний.

Декларативные знания уровня планирующей подсистемы вводят внутренние имена компонентам модели знаний, используемые при планировании решения задач и построении планов их решения на языке ИНСТРУМЕНТ-ОП.

Алгоритм моделирования планирующей подсистемы осуществляет построение плана решения поставленной задачи с использованием планирующей искусственной нейронной сети (ПИНС), автоматически порождаемой для каждой решаемой задачи на основе используемой модели знаний (подмодели знаний соответствующего ранга и уровня многоуровневой модели знаний). Результатом функционирования ПИНС является множество имён операций модели знаний, записанных в формализме языка ИНСТРУМЕНТ-ОП, которые должны быть выполнены для получения искомого результата решения задачи.

Процедурные знания представляют уровень знаний исполнительной подсистемы и выступают в качестве процедурального определения понятий модели знаний, задаваемого в виде программных модулей на языке C++ или на проблемно-ориентированном языке ГАММА, реализующих используемые методы вычислительной математики. Используются исполнительной подсистемой в качестве реализации операций, описываемых предложениями планов решения задач на языке ИНСТРУМЕНТ-ОП.

Алгоритм моделирования исполнительной подсистемой И-решателя реализуется интерпретатором планов решения задач, определяя последовательность выполнения операций на основе наличия исходных данных и выполнения условий применимости.

Алгоритмы моделирования И-решателя допускают различный уровень протоколирования, включая пошаговое интерактивное управление с

визуализацией хода решения задач в режиме исследования разрабатываемой модели знаний.

Решение вычислительно трудных задач, в первую очередь, планирования действий для решения декларативно поставленных задач в интерактивном режиме работы с пользователем необходимо осуществлять с использованием параллельных вычислений, целесообразной сферой применения которых являются серверные компоненты разрабатываемой распределённой мультиагентной системы.

Управление компонентами И-решателя в распределённой мультиагентной системе автоматического решения задач проектирования и исследования интеллектуальных систем автоматического управления «САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4» осуществляется сервером-посредником, управляющим потоками сообщений, задач и данных с использованием специального протокола прикладного уровня.

Методы теории автоматического управления (ТАУ) при наличии неопределённости используют итерационные алгоритмы, которые реализуются циклическими программами. Однако автоматический синтез циклических программ не имеет алгоритмического решения в общем виде.

Для решения указанной проблемы применительно к решению декларативно поставленных задач на модели знаний с процедурной реализацией проектных операций, разработан метод, заключающийся в организации двухэтапного процесса решения декларативно поставленных задач итерационными методами вычислительной математики, в котором определение состава действий и формирование последовательности их исполнения разделены. Это позволяет вначале с помощью планирующей подсистемы с использованием ПИНС определить состав плана действий, а затем средствами исполнительной подсистемы определить порядок их выполнения.

7. Моделирование функционирования И-решателя включает этап планирования действий и этап исполнения построенного плана решения задачи, для которых целесообразно применение параллельных вычислений. Параллелизм на уровне задач реализуется использованием различных экземпляров И-решателя для решения разных задач. Параллелизм на уровне подзадач реализуется компонентами И-решателя. Планирующая подсистема И-решателя наследует структуру модели знаний и допускает: а) параллельное функционирование решающих органов; б) параллельное функционирование в пределах разных уровней представления знаний каждого решающего органа; в) параллельное функционирование компонентов ПИНС. Ключевым элементом планирующей подсистемы является ПИНС, представляющая собой многослойную искусственную нейронную сеть (ИНС).

Планирующая искусственная нейронная сеть состоит из двух взаимодействующих фрагментов: собственно решающей искусственной нейронной сети (РИНС) и архивной искусственной нейронной сети (АИНС). Их функционирование координируется устройством синхронизации.

РИНС осуществляет обратный поиск решения поставленной задачи в формализме использованной при её построении теории решений с последующей записью построенного плана решения задачи в виде искусственной нейронной сети посредством управляемого обучения АИНС.

Структурно РИНС представляет собой четырёхслойную искусственную нейронную сеть, в которой нулевой слой предназначен для задания начальной конфигурации, представляющей собой постановку решаемой задачи. Каждому типу данных модели знаний, на которой ставится решаемая задача, ставится в соответствие значение, отражающее его присутствие в постановке задачи. Таким образом, начальная конфигурация является начальными условиями динамической системы, которой является РИНС. При подаче сигналов устройства синхронизации сигналы с входа нейронов каждого слоя распространяются на его выход, осуществляя, таким образом, один шаг работы РИНС. В конечном счёте, возбуждаемые нейроны выходного слоя указывают на искомые операции модели знаний, которые должны войти в план решения задачи, сохраняемый в АИНС.

Процесс моделирования ПИНС осуществляется послойно с использованием матричного описания модели ПИНС. Разработан алгоритм моделирования планирования решений задач с использованием ПИНС. Проведено исследование возможности и целесообразности применения параллельных вычислений для моделирования функционирования И-решателя. Проведены исследования эффективности планирования действий с использованием параллельных вычислений на тестовых задачах.

8. Применение мультиагентных распределённых вычислительных систем в качестве способа реализации И-решателя декларативно поставленных задач призвано обеспечить возможность создания условий для решения задач проектирования САУ, включая вычислительно трудное планирование действий для решения задач за время, приемлемое для интерактивного режима работы оператора (инженера-проектировщика) систем автоматизации решения задач или режима реального времени функционирования интеллектуальных систем управления сложным объектом при наличии неопределённости. В связи с необходимостью решения задач на многоуровневой модели знаний архитектура планирующей подсистемы И-решателя наследует структуру модели знаний и представляет собой трехранговую систему решающих органов (РО) с установленными между ними иерархическими отношениями подчинённости (старший - младший). Взаимодействие РО различного ранга определяется многоуровневой аксиоматической теорией автоматических решений формализованных задач ТАУ, порождаемой на основе многоуровневой модели знаний. Подходы к построению планирующей подсистемы И-решателя:

- Уровневый подход (локализация в пределах одного приложения действий по решению задачи на одноуровневой модели знаний);

- Ранговый подход (объединяет в одну информационную структуру реализацию решающего органа планирующей подсистемы И-решателя, включающую реализации всех его компонентов, в том числе две теории

решений и две трансляционные теории, связывающих соседние уровни представления знаний);

- Мультиагентный подход (заключается в выделении компонентов планирующей подсистемы И-решателя в отдельное приложение «Сервер-планировщик» в составе «Сервера приложений» [13], входящего в состав разработанного прототипа распределённой мультиагентной системы автоматического синтеза систем автоматического управления «САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4 прототип» [12].

Разработано клиентское приложение, предоставляющее пользователям два основных вида пользовательского интерфейса: «Среда исследователя» и «Среда инженера». «Среда исследователя» предоставляет пользователям возможности разработки и исследования создаваемых моделей знаний для расширения возможностей системы включением новых классов решаемых задач. «Среда инженера» предназначена для инженеров-проектировщиков конкретных систем управления на основе использования имеющихся в системе знаний, в том числе с возможностью решения декларативно поставленных задач.

9. Исполнительная подсистема И-решателя предназначена для получения результатов решения поставленной задачи посредством исполнения действий, предусмотренных процедурой (планом) её решения, заданной для процедурно поставленных задач в виде предопределённой или заданной пользователем программы, либо планом решения задачи, построенным планирующей подсистемой для декларативно поставленных задач.

Поэтому исполнительная подсистема включает составные части, реализующие:

- исполнение процедур, представленных в виде программных модулей на традиционных языках программирования;
- исполнение процедур, представленных в виде программ на проблемно-ориентированном языке ГАММА;
- исполнение планов решения задач, представленных на языке ИНСТРУМЕНТ-ОП.

Принятый подход к реализации исполнительной подсистемы позволяет:

- инженерам-проектировщикам:
 - решать задачи с использованием типовых процедур, реализованных в виде программных модулей посредством использования декларативно поставленной задачи, решаемой одной операцией модели знаний;
 - решать с использованием типовых процедур, реализованных в виде программ на языке ГАММА, уже имеющихся в системе или разработанных самостоятельно;
 - решать задачи, планы решения которых построены планирующей подсистемой И-решателя, т.е. постановка задачи уже имеется в системе, а значит, задача может считаться известной (типовой);
- учёным-исследователям:

- разрабатывать типовые процедуры решения новых задач посредством создания программных модулей их реализации на языке C++, размещаемых в библиотеках динамической загрузки;

- разрабатывать процедуры решения новых задач посредством составления программ их решения на языке ГАММА, которые затем могут быть аксиоматизированы для включения в модель знаний, а созданные программы на языке ГАММА могут использоваться в качестве реализации процедуры решения задачи;

- разрабатывать программную реализацию на языке ГАММА новых элементарных проектных операций, которые могут быть использованы в новой создаваемой модели знаний для решения новых декларативно поставленных задач.

Программная реализация исполнительной подсистемы И-решателя в составе «Сервера приложений» зарегистрирована в Роспатенте [13], входящего в состав разработанного прототипа распределённой мультиагентной системы автоматического синтеза систем автоматического управления «САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4 прототип)» [12].

10. Опытная эксплуатация разработанного прототипа системы автоматического синтеза систем автоматического управления «ИНСТРУМЕНТ-4 прототип» проводилась в соответствии с планом выполнения работ по проекту в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А.

По результатам успешной опытной эксплуатации составлен Акт об использовании в учебном процессе результатов выполнения НИР на тему «Исследование и разработка нейросетевых методов автоматического решения задач интеллектуальных систем управления», выполняемой при поддержке гранта РФФИ, проект № 24-21-00488.

Актуальные исследования в области разработки методов разработки и исследования интеллектуальных систем автоматического управления, выполняемые в рамках проекта РФФИ № 24-21-00488 направлены на ускорение процессов интеллектуализации систем автоматического управления для обеспечения повышения уровня управляемости и автономности сложных объектов управления.

Сферами деятельности выпускников направления подготовки «Управление в технических системах» (270404) являются проектные организации, занимающиеся разработкой систем управления сложными техническими и организационно-техническими системами.

Освоение интеллектуальных технологий, методов их включения в процессы разработки и функционирования систем автоматического управления являются неотъемлемой частью современного учебного процесса по направлению «Управление в технических системах».

Результаты выполнения проекта РФФИ № 24-21-00488 включают:

- а) теоретические исследования в направлении создания нейросетевых методов автоматического решения задач на основе использования

планирующих искусственных нейронных сетей (ПИНС) при наличии неопределённости в постановке задачи;

б) прикладные исследования в направлении создания программного обеспечения автоматического решения задач, в том числе с использованием технологий создания распределённых мультиагентных вычислительных систем для решения задач синтеза и анализа систем автоматического управления, в том числе при наличии параметрической неопределённости объекта управления.

Результаты теоретических исследований проекта РНФ № 24-21-00488 используются в лекционных курсах в практикумах по дисциплинам «Автоматизированное проектирование средств и систем управления» и «Современные проблемы теории управления» для магистрантов направления подготовки «Управление в технических системах». Конспекты лекций, методические указания к проведению практических занятий, содержащие теоретические результаты проекта и предусматривающие использование программного обеспечения «Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-4 прототип (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4 прототип)» размещены в информационно-обучающей системе (ИОС) СГТУ имени Гагарина Ю.А.:

URL <https://portal.sstu.ru/Fakult/INETIP/STU/27.04.04/m.1.1.4/default.aspx>

URL <https://portal.sstu.ru/Fakult/INETIP/STU/27.04.04/m.1.1.7/default.aspx>

Программное средство «Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-4 прототип (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4 прототип)» представляет собой прототип мультиагентной системы автоматического решения задач, построенную в соответствии с разработанной М.Ф.Степановым концепцией И-решателя задач теории автоматического управления интеллектуальную систему автоматического решения непроектно поставленных задач проектирования систем автоматического управления по инженерным показателям качества, задаваемым инженером-проектировщиком. Результатом работы являются: математическая модель управляющего устройства, результаты исследования и моделирования синтезированной замкнутой системы автоматического управления с учётом нелинейности, нестационарности, параметрической неопределённости, программная реализация закона управления на языке ассемблера некоторого класса микропроцессоров.

Интеллектуальные возможности программного обеспечения "ИНСТРУМЕНТ-4" являются следствием разработанных: *формализации знаний* о методах решения задач теории автоматического управления (ТАУ) в виде модели множества формализованных задач; *представления знаний* о методах решения задач ТАУ в виде аксиоматической теории автоматических решений как прикладной системы исчисления секвенций, в формализме которой выполняется автоматическое планирование решения задач синтеза и анализа САУ; реализации решающей подсистемы на основе *Планирующей Искусственной Нейронной Сети* (ПИНС), автоматически порождаемой по аксиоматической теории автоматических решений задач ТАУ; реализации исполнительной подсистемы на основе *проблемно-ориентированного языка*

"ИНСТРУМЕНТ-ОП" представления планов решения задач ТАУ, порождаемых ПИНС.

Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. Степанов, М. Ф. Решение задачи робастной стабилизации неопределенного объекта в декларативной постановке / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2025. – Т. 33, № 3(87). – С. 50-64. – DOI 10.14498/tech.2025.3.3. – EDN IFZMLS, (РИНЦ, «Белый список», ВАК, K2)

2. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Двухэтапный подход к решению декларативно поставленных задач итеративными методами с помощью И-решателя // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2025. – Т. 33, № 4(88). (РИНЦ, «Белый список», K2)

3. Степанов М.Ф., Степанова О.М. Подход к решению декларативно поставленных задач итерационными методами, реализуемыми с использованием циклов с предусловиями // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2025. № 12 (258). С. X-X. (РИНЦ, ВАК, K2)

4. Степанов М.Ф., Степанова О.М. Подход к самообучению интеллектуального решателя задач с использованием принципов биологических систем // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2026, № 1, (РИНЦ, ВАК, K2)

5. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Синтез итерационных планов решения декларативно поставленных задач с использованием планирующей искусственной нейронной сети // Программная инженерия, 2026, № 2, (rsci, РИНЦ, «Белый список», ВАК, K1)

6. Stepanov, M.F., Stepanov, A.M., Stepanova, O.M. Towards definition of the structure of the knowledge model on methods for solving tasks of control plants with parametric uncertainty // Frontiers of Industrial Cyber-Physics. Studies in Systems, Decision and Control. Springer Nature Switzerland AG 2026. Vol. 623. Pp. 141-157. DOI: 10.1007/978-3-32-02716-0_12 (WOS, Scopus)

Иные публикации:

7. Степанов, М. Ф. Применение метода интервального оценивания точности управления объектом с параметрической неопределённостью / М. Ф. Степанов, А. М. Степанов, О. М. Степанова // Дифференциальные уравнения и их приложения : Сборник трудов Международной конференции, Казань, 06–07 июня 2024 года. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024. – С. 121-122. – EDN BRQIMN.

8. Степанов, М.Ф. К определению структуры модели знаний о методах решения задач управления в условиях неопределенности исходных данных / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 6. – С. 88-92. – EDN IZANPT.

9. Степанов, М.Ф. К учёту интервальной параметрической неопределённости операторных моделей динамических систем в модели знаний о методах решения задач управления / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 7. – С. 70-73. – EDN CAQEUS.

10. Степанов, М.Ф. К учёту интервальной параметрической неопределённости операторных моделей динамических систем в модели знаний о методах решения задач управления / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 7. – С. 70-73. – EDN CAQEUS.

11. Наталичев В.В., Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Разработка в системе ГАММА-3 пакета программ синтеза астатических систем управления // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. - № 8. - С. 64-70.

12. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанов О.М. Исследование влияния неопределённости состояния оператора на успешность решения задач принятия решений // Десятая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. Пятигорск, 26-30 июня 2024 г. В двух частях. Часть II / Отв. ред. Киреев М.В. - Пятигорск, 2024. - 448 с., С. 385-390

13. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Самообучение нейросетевого решателя задач интеллектуальной системы автоматического управления на основе моделирования самообучения мозга //Всероссийская научная конференция «Императив академика А. А. Ухтомского — мозг и его самопознание». Тезисы докладов и материалы. Санкт-Петербург, 15–18 апреля 2025 г. — СПб.: СПбГУПТД. — С. 171-172.

14. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Подход к представлению параметрической неопределённости системы управления в пространстве состояний // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 1. С. 42-46.

15. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М., Ткаченко А.В. Подход к структуризации понятий многоаспектной модели представления знаний предметной области кибер-физических систем // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 2. С. 159-165.

16. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. О подходе к синтезу планов решения декларативно поставленных задач, решаемых итерационными методами // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 8. С. 93-98.

17. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Синтез итерационных планов решения декларативно поставленных задач робастной стабилизации // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 9. С. 102-107.

18. Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Подход к автоматическому планированию решения задач управления с неопределённостью, решаемых итерационными методами // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 11. С. 52-56.

Представление результатов исследований на научных конференциях:

1. Международная конференции «**Дифференциальные уравнения и их приложения**». Казань, 06–07 июня 2024 года. Казанский (Приволжский) федеральный университет.

Сайт конференции: [URL:http://mmtt.sstu.ru/mmtt-37.nsf/0/04D362F98863A5B444258B31002FE495](http://mmtt.sstu.ru/mmtt-37.nsf/0/04D362F98863A5B444258B31002FE495)

Устное выступление с докладом «Применение метода интервального оценивания точности управления объектом с параметрической неопределённостью»

Публикация:

Степанов, М. Ф. Применение метода интервального оценивания точности управления объектом с параметрической неопределённостью / М. Ф. Степанов, А. М. Степанов, О. М. Степанова // Дифференциальные уравнения и их приложения

: Сборник трудов Международной конференции, Казань, 06–07 июня 2024 года. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024. – С. 121-122. – EDN BRQIMN.

2. Международная научная конференция «**Математические методы в технике и технологиях ММТТ-37 (ММТТ-37)**». Казань, 02–07 июня 2024 года. Казанский (Приволжский) федеральный университет

Сайт конференции: URL: <http://mmtt.sstu.ru/mmtt-37.nsf/pages/ConfereceTheme>

Устные выступления:

а) тема доклада «К определению структуры модели знаний о методах решения задач управления в условиях неопределенности исходных данных»

Публикация:

Степанов, М.Ф. К определению структуры модели знаний о методах решения задач управления в условиях неопределенности исходных данных / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 6. – С. 88-92. – EDN IZANPT.

б) тема доклада «К учёту интервальной параметрической неопределенности операторных моделей динамических систем в модели знаний о методах решения задач управления»

Публикация:

Степанов, М.Ф. К учёту интервальной параметрической неопределенности операторных моделей динамических систем в модели знаний о методах решения задач управления / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 7. – С. 70-73. – EDN CAQEUS.

в) тема доклада «Разработка в системе ГАММА-3 пакета программ синтеза астатических систем управления»

Публикация:

Наталичев В.В., Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Разработка в системе ГАММА-3 пакета программ синтеза астатических систем управления // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. - № 8. - С. 64-70.

3. Международная научная конференция «**Cyber-Physical Systems**» Казань, 02–05 июня 2024 года. Казанский (Приволжский) федеральный университет

Устное выступление с докладом «Towards definition of the structure of the knowledge model on methods for solving tasks of control plants with parametric uncertainty»

Публикация:

Stepanov, M.F., Stepanov, A.M., Stepanova, O.M. Towards definition of the structure of the knowledge model on methods for solving tasks of control plants with parametric uncertainty // Alla Kravets et al. (Eds.) Frontiers of Industrial Cyber-Physics. Studies in Systems, Decision and Control. Springer Nature Switzerland AG 2026. Vol. 623. Pp. 141-157. DOI: 10.1007/978-3-32-02716-0_12

4. **Десятая международная конференция по когнитивной науке.** Пятигорск, 26-30 июня 2024 г.

Сайт конференции:

URL: <https://lomonosov-msu.ru/rus/event/8145/>

URL: https://pgu.ru/events/?ELEMENT_ID=999906

Стендовый доклад «**Исследование влияния неопределенности состояния оператора на успешность решения задач принятия решений**»

Публикация:

Исследование влияния неопределенности состояния оператора на успешность решения задач принятия решений / М.Ф. Степанов, А.М. Степанов, О.М. Степанова // Десятая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. Пятигорск, 26-30 июня 2024 г. В двух частях. Часть II / Отв. ред. Киреев М.В. - Пятигорск, 2024. – С. 385-386.

5. **Всероссийская научная конференция «Императив академика А.А. Ухтомского — мозг и его самопознание» 15 апреля 2025 - 18 апреля 2025.** Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург

Сайт конференции: URL: <https://ucp.academy/events/uhtomskiy2025>

Стендовый доклад «Самообучение нейросетевого решателя задач интеллектуальной системы автоматического управления на основе моделирования самообучения мозга»

Публикация:

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Самообучение нейросетевого решателя задач интеллектуальной системы автоматического управления на основе моделирования самообучения мозга //Всероссийская научная конференция «Императив академика А. А. Ухтомского — мозг и его

самопознание». Тезисы докладов и материалы. Санкт-Петербург, 15–18 апреля 2025 г. — СПб.: СПбГУПТД. — С. 171-172.

5. Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-38 (ММТТ-38)». г. Самара, 2 июня – 6 июня 2025 г. Самарский государственный технический университет.

Сайт конференции:

URL: <http://mmtt.sstu.ru/mmtt-38.nsf/pages/ConfereceTheme>

Устное выступление:

а) тема доклада **«Подход к представлению параметрической неопределённости системы управления в пространстве состояний»**

Публикация:

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Подход к представлению параметрической неопределённости системы управления в пространстве состояний // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 1. С. 42-46.

Устное выступление:

в) тема доклада **«О подходе к автоматическому планированию действий нейросетевым решателем для решения декларативно поставленных задач управления с неопределённостью, решаемых итерационными методами с использованием циклов на фиксированное количество повторений»**

Публикация:

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. О подходе к синтезу планов решения декларативно поставленных задач, решаемых итерационными методами // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 8. С. 93-98.

Устное выступление:

г) тема доклада **«Синтез итерационных планов решения декларативно поставленных задач робастной стабилизации»**

Публикация:

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Синтез итерационных планов решения декларативно поставленных задач робастной стабилизации // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 9. С. 102-107.

Устное выступление:

д) тема доклада **«Подход к автоматическому планированию решения задач управления с неопределённостью, решаемых итерационными методами»**

Публикация:

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М. Подход к автоматическому планированию решения задач управления с неопределённостью, решаемых итерационными методами // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 11. С. 52-56.

6. II Всероссийская научно-практическая конференция «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ» (Решения для пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов и направления развития бортового радиоэлектронного оборудования) КБПА-2025, Саратов, 11-12 сентября 2025 г. АО «КБПА»

Устное выступление

а) тема доклада «Подход к структуризации понятий многоаспектной модели представления знаний предметной области кибер-физических систем»

Публикация:

Степанов М.Ф., Степанов А.М., Степанова О.М., Ткаченко А.В. Подход к структуризации понятий многоаспектной модели представления знаний предметной области кибер-физических систем // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 2. С. 159-165.

7. Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-38 (ММТТ-38)». Белоруссия, г. Гродно. 27-29 октября 2025 г.

Сайт конференции:

URL: <http://mmtt.sstu.ru/mmtt-38.nsf/pages/ConfereceTheme>

Пленарный доклад: «О самоорганизации интеллектуальных систем управления».

8. Четырнадцатый Национальный Суперкомпьютерный Форум. г. Переславль-Залесский. 25 ноября – 28 ноября 2025 г.

Сайт конференции:

URL:

Устное выступление с докладом: «Программная система поддержки принятия проектных решений задач управления в условиях неопределенности».

Возникли исключительные права на результаты интеллектуальной деятельности, созданные при выполнении проекта:

1. Программа для ЭВМ "Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-4 прототип (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4 прототип)". Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688593. Автор: М.Ф.Степанов. Заявка № 2025687891. Дата поступления 14 октября 2025 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21 октября 2025 г., РФ

2. Программа для ЭВМ "Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-4 прототип. Сервер приложений (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4 прототип. Сервер приложений)". Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688583. Автор:

М.Ф.Степанов. Заявка № 2025687556. Дата поступления 14 октября 2025 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21 октября 2025 г., РФ

3. Программа для ЭВМ "Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-4 прототип. Клиентское приложение (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-4 прототип. Клиентское приложение)". Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025690080. Автор: М.Ф.Степанов. Заявка № 2025689228. Дата поступления 23 октября 2025 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 05 ноября 2025 г., РФ