



**РОСЖЕЛДОР**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ростовский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО РГУПС)

---

Научно-техническая библиотека

# **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**аналитический обзор научной литературы**



Ростов-на-Дону  
2022

**Составитель: М.О. Гельгор, ведущий библиотекарь отдела обслуживания и читального зала НТБ**

Математическое моделирование технических систем и процессов используется в технологии автоматизированного проектирования относительно давно. Однако в настоящее время, в связи с широкой доступностью мощных компьютерных устройств, можно существенно повысить адекватность и универсальность разрабатываемых математических моделей благодаря более детальному описанию процессов и, как следствие, быстро и качественно определить столь необходимые в общем процессе проектирования структуру и внутренние параметры разрабатываемой системы. Причиной все более расширяющегося применения моделей является то, что процессы, происходящие в модели, можно регистрировать, проверять их соответствие результатам теоретического анализа, заменять аналитические расчеты процессов их непосредственным наблюдением, т. е. эффективно решать все основные задачи экспериментального исследования.



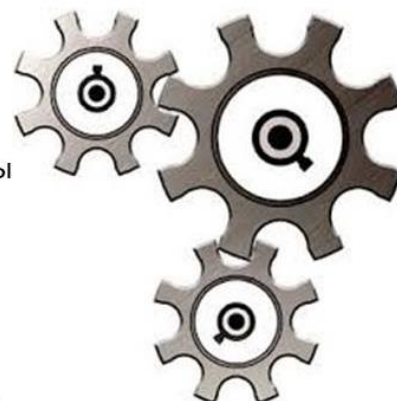
Нижепредставленный обзор охватывает монографии и статьи отечественных и иностранных авторов, опубликованных как в российских, так и зарубежных источниках. Представленные материалы датируются двумя последними годами: 2021-м и 2022-м. Предлагается к рассмотрению 31 публикация по исследуемой тематике.

Особое внимание в обзоре уделено статьям зарубежных авторов, собранным в НЭБ Scopus. Авторы статей с разных позиций раскрывают методы построения и анализа математических моделей машин, технических

устройств, механизмов и систем применительно к интеллектуальным системам управления.



Техническая система включает станки, оборудование, компьютеры, комплектующие изделия и материалы. Набор возможных решений в технической системе ограничен, и последствия решений обычно predetermined. Варианты этих решений отражены в инструкциях, положениях, приказах. Качество и эффективность принятого и выполненного решения определяется профессионализмом принимающего и исполняющего решение в технической системе.



В первую очередь рассмотрим статьи, непосредственно относящиеся к теме «Моделирование технических систем и производств».

Статья «Улучшенный алгоритм firefly с обучением ухаживанию для несвязанной задачи планирования параллельной машины с зависящим от последовательности временем настройки» [6] предлагает решение проблемы планирования несвязанных параллельных машин (UPMSP) с зависящим от последовательности временем настройки, широко применяемых для облачных вычислений, пограничных вычислений и так далее. В работе предложен улучшенный алгоритм firefly с обучением ухаживанию. Данный алгоритм обладает конкурентоспособной производительностью при работе с UPMSP с зависящим от последовательности временем настройки, что показывают экспериментальные результаты.

В статье «Интеллектуальная система планирования для автоматического согласования производственных линий на основе DSSM-XGBoost)» [18] представлена интеллектуальная модель для производства и планирования двигателей. На основе алгоритма XGBoost необходимая производственная линия помечается для установления связи между производственным контентом и производственной линией и реализации автоматического сопоставления. После классификации среднее рабочее время и другие сведения оцениваются по установленной логике. Результаты планирования этой интеллектуальной модели планирования могут быть получены всего за несколько секунд, что экономит время и затраты в процессе планирования.

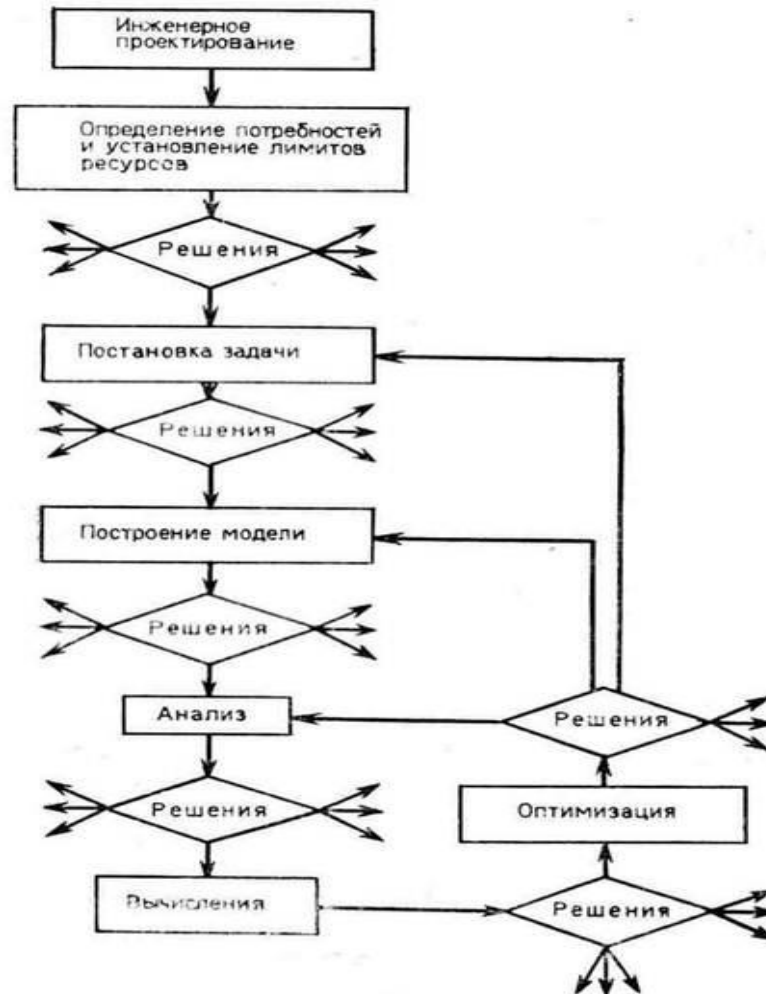


В статье «Оптимизация модели рациональных функций на основе метаэвристических алгоритмов Swarm Intelligence» [11] основное внимание уделяется применению последних метаэвристических алгоритмов на основе роевого интеллекта для оптимизации RFM, что кажется эффективным подходом к решению проблемы в области картографических и фотограмметрических исследований. В исследовании предложен параллельный гибридный метаэвристический алгоритм оптимизации, сочетающий в себе генетический алгоритм и концепции оптимизации роя частиц для преодоления интеллектуальных ограничений роя для оптимизации RFM. Результаты показали, что предложенный метод является более точным по сравнению с предложенными протестированными метаэвристическими методами, основанными на рое.



Статья «Методы метамоделирования для оптимизации проектирования на основе моделирования с интенсивным использованием процессора: обзор» [10] говорит сама за себя: в ней рассматриваются стратегии, направленные на повышение эффективности оптимизации на основе суррогатов, включая ROM, метамоделирование с высокой точностью и стратегии обогащения DOE. Следует отметить, что эффективная априорная выборка расчетного пространства быстро становится дорогостоящей при использовании высокоточных (высокочастотных) имитаторов, особенно в больших размерах. С другой стороны, в таких приложениях, как авиационное проектирование, для одной и той же задачи часто доступны несколько инструментов моделирования, как правило, со степенью точности, обратно пропорциональной стоимости процессора. Таким образом, концепция

мультиточности предлагает объединить различные уровни точности в рамках одной модели с контролируемой дисперсией. Основанный на новейших методах моделирования с уменьшенным порядком (ROM) альтернативный подход позволяет достичь цели освоения бюджета моделирования путем замены дорогостоящих моделей их приблизительными аналогами в полном поле, предоставляя дополнительную информацию о скалярных суррогатах, построенных непосредственно из интересующих величин (QoI). Оба подхода: multi-fidelity и ROM, могут быть объединены, что обеспечивает дополнительную гибкость в выборе степени точности, требуемой в различных зонах проектного пространства.

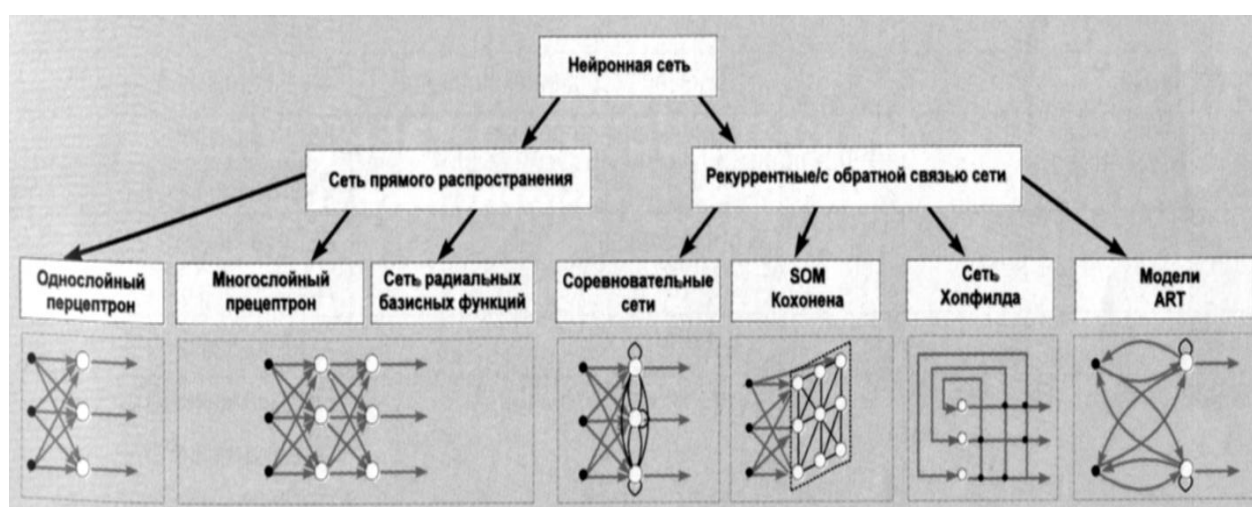


Следующая подборка публикаций отражает использование нейронных сетей в различных технических областях.

Статья «Искусственная нейронная сеть для прогнозирования тяговых характеристик автономного наземного транспортного средства на наклонном грунтовом бункере и анализ неопределенностей» [3] предлагает аналитическое исследование, направленное на разработку искусственной нейронной сети (ИНС) для оценки тягового поведения AGV на наклонном испытательном стенде в зависимости от скорости AGV, приложенного DP и наклона. Это исследование показывает, что ИНС является многообещающим, и надежным методом прогнозирования тяговых характеристик в

исследованиях тяги, а разработанные модели могут расширить возможности системы с несколькими AGV на местности с крутыми неровными склонами.

Статья «Итеративное нейронное управление на основе событий для дискретного динамического объекта» [16] дает понять, что нейронные сети вкупе с динамическим программированием и методом адаптивной критики представляют из себя передовой подход к решению задач интеллектуального управления. Это считается перспективным направлением в области искусственного интеллекта. В предлагаемом исследовании была разработана основанная на событиях структура итеративного нейронного управления для нелинейной динамики с дискретным временем. Были предоставлены примеры моделирования, чтобы проиллюстрировать отличные характеристики управления, особенно при использовании коммуникационных ресурсов.



В статье «Нелинейное моделирование процессов с помощью одномерных сверточных нейронных сетей с самостоятельным вниманием к глобальным и локальным межпеременным структурам и его применение для мониторинга процессов» [8] разрабатывается алгоритм моделирования нелинейного процесса для адаптивного сохранения характеристик как глобальных, так и локальных структур переменных, чтобы полностью использовать свойства переменных для улучшения нелинейного представления процесса. В частности, предлагается одномерная сверточная операция с механизмом собственного внимания для одновременного извлечения глобальных и локальных межпеременных структур, при этом к этим двум структурам можно адаптивно настроить различные виды внимания для их окончательной агрегации. Кроме того, взаимодействуя с расширением двумерных динамических данных, одномерная сверточная операция может представлять общую временную связь между образцами процесса. Путем объединения набора этих сверточных операций затем создается сверточная нейронная сеть в стиле ResNet для извлечения нелинейных признаков высокого порядка. Эксперименты с процессом Теннесси Истмана подтверждают эффективность предложенного алгоритма

для решения двух жизненно важных задач мониторинга процессов – обнаружения и идентификации неисправностей.

В статье «Асимптотическое управление движением насыщенных неопределенных роботов-манипуляторов на основе многослойных нейронных сетей» [17] предлагается использование нелинейных многослойных нейронных сетей для приближения к неопределенной нелинейной динамике и использование надежного адаптивного управления для борьбы с внешними возмущениями, не зная заранее их границ. Данное положение применимо для управления роботизированными манипуляторами.

В статье «Управление положением квадрокоптерного БПЛА на основе каскадной нечеткой нейронной сети» [14] предложен подход управления каскадной нечеткой нейронной сетью (FNN) для управления положением системы квадрокоптерного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с высокой связью и без сбоев. Для контура ориентации с ограниченным радиусом действия параметры контроллера FNN были обучены в автономном режиме с использованием полетных данных, тогда как для контура положения был принят метод, основанный на компенсации FNN пропорционально-интегральной производной (PID), для адаптивной настройки системы в режиме онлайн. Этот метод не только объединил преимущества нечетких систем и нейронных сетей, но и сократил объем вычислений для каскадного управления нейронной сетью.

В этой связи обратим внимание на статью «Подход к летным испытаниям для моделирования и проверки закона управления беспилотным летательным аппаратом» [5], где представлено использование нелинейного закона управления, основанного на энергии порта Гамильтона, настроенного при моделировании с использованием нелинейной модели и уточненного во время летных испытаний для улучшения отслеживания направления и отклика на возмущения. Методы реализации маневров автоматической идентификации системы, а также управления с обратной связью с использованием совместного компьютера Pixhawk и Raspberry Pi задокументированы и доступны с помощью общедоступного веб-репозитория.

Далее в обзоре коснемся темы использования робототехники и интеллектуального планирования в этой области.

Первая статья, на которой мы остановимся – это статья под названием «Применение адаптированной структуры FMEA для интеграции роботов в построенные среды» [2]. В представленном исследовании предлагается использовать адаптированный анализ режимов отказов и последствий (FMEA) в качестве структурированного инструмента для оценки уровня интеграции роботов и безопасности здания при развертывании сервисных роботов. Эта платформа FMEA, включающая роботов (RIFMEA), используется для выявления сбоев во встроенной среде, которые ставят под угрозу рабочий процесс сервисных роботов, оценки их последствий и причин, а также предоставления рекомендуемых действий для устранения этих проблем. Этот метод был подкреплен практическим примером

развертывания роботов телеприсутствия в университетском городке. Исследование пришло к выводу, что распространенные сбои были связаны с плохим дизайном мебели, отсутствием зазора и индикаторов опасности, а также неоптимальной внутренней планировкой.

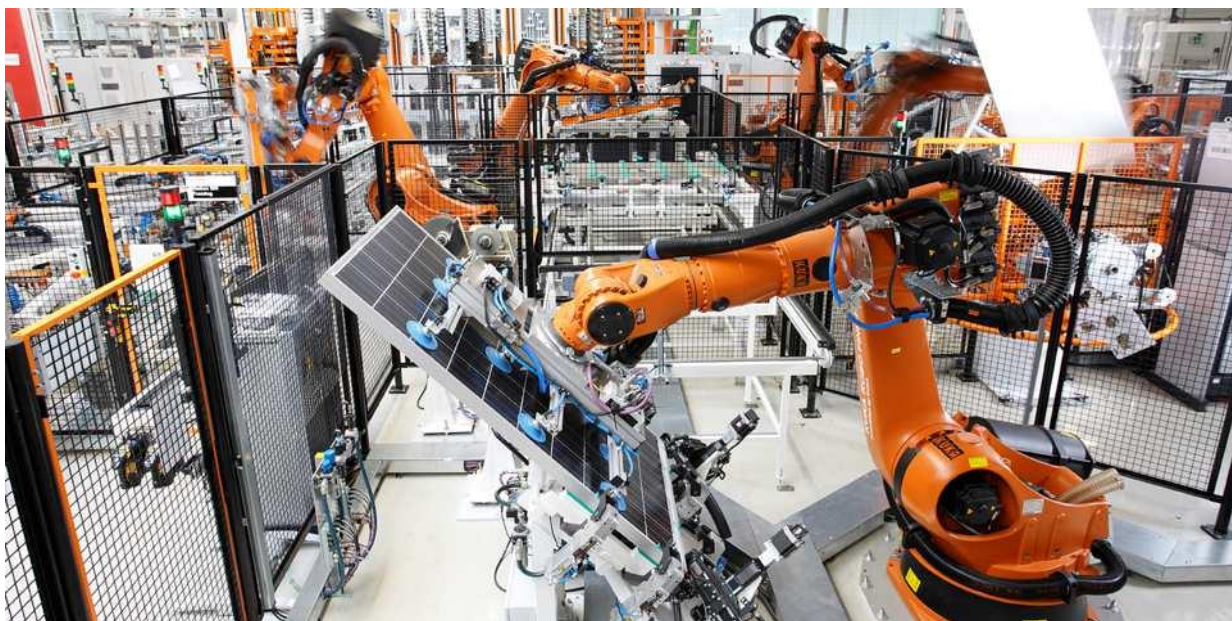


Далее вашему вниманию предложена статья «Воплощенный нейроморфный интеллект» [4], в которой предложен подход к разработке роботов, автономно взаимодействующих с окружающей средой, при помощи нейроморфной инженерии. Нейроморфная инженерия изучает принципы нейронных вычислений для разработки технологий, которые могут обеспечить вычислительную основу для создания компактных и маломощных вычислительных систем. В этом аспекте надделение роботов нейроморфными технологиями – от восприятия до управления двигателями – представляет собой многообещающий подход к созданию роботов, которые могут легко интегрироваться в общество. В статье представлены первые попытки в этом направлении, выделены открытые проблемы и предложены действия, необходимые для преодоления существующих ограничений.

Еще одна статья из этой подборки под названием «Интеллектуальное планирование траектории движения робота на основе машинного зрения» [7] показывает, как улучшить эффект интеллектуального планирования движения робота. В этой статье машинное зрение объединяется для проведения интеллектуального планирования и анализа траектории движения робота, а также для анализа траектории движения в сложных условиях. Стремясь решить проблему, состоящую в том, что примитивный алгоритм динамического движения подходит только для идеальной и фиксированной среды движения во время процесса демонстрации и обучения, в этой статье предлагается управление траекторией движения робота на основе алгоритма муравьиной колонии и дается алгоритм оптимизации муравьиной колонии с самостоятельным регулированием количества муравьев. После создания интеллектуального робота на основе



машинного зрения на основе модели планирования траектории движения в этой статье осуществляется сбор данных с помощью машинного зрения и реализуется интеллектуальное планирование и управление движением робота на основе алгоритма планирования движения. Благодаря экспериментальным исследованиям стало известно, что интеллектуальная роботизированная система, основанная на машинном зрении, представленная в этой статье, может выявлять препятствия в сложных условиях и осуществлять разумное планирование траектории.



Следующая проблема, представляющая интерес в практическом применении, это проблема использования беспилотных наземных и надводных транспортных средств. Здесь мы рассмотрим три статьи, первая из которых, под названием «B-GAP: моделирование поведения и навигация для автономного вождения» [9], позиционирует подход к решению проблемы самонаводящегося транспортного средства в смоделированных плотных транспортных средах, населенных дорожными агентами с различным поведением водителей. Авторами статьи представлен новый метод моделирования, состоящий из обогащения существующих симуляторов дорожного движения траекториями с богатым поведением, соответствующими различным уровням агрессивности. Следствием является моделирование неявным образом взаимодействия между агентами дорожного движения и тем самым вычисление безопасных траекторий для самоуправляемого транспортного средства с учетом агрессивных маневров водителя, таких как обгон, превышение скорости, маневрирование и внезапная смена полосы движения.



Отслеживанию пути интеллектуальных транспортных средств в различных средах посвящены две нижепредставленные статьи, первая из которых называется «Отслеживание пути интеллектуальных транспортных средств на основе нечеткого LQR» [13]. В ней разработан нечеткий линейно-квадратичный регулятор (LQR) с компенсацией угла поворота с использованием предварительного ПИД-регулятора для управления отслеживанием пути. Во-первых, контроллер LQR разработан на основе модели ошибки отслеживания пути, а предварительный алгоритм ПИД используется для компенсации угла поворота, устранения установившейся ошибки и повышения точности отслеживания. Затем, с целью решения проблемы плохой адаптивности к различным скоростям контроллера с фиксированными весовыми коэффициентами, предлагается стратегия нечеткой настройки весовых коэффициентов на основе скорости. Наконец, проводится испытание реального транспортного средства для проверки эффективности управления контроллером в реальных условиях. Результаты показывают, что разработанный контроллер имеет высокую точность отслеживания и может поддерживать хорошую точность и стабильность при различных скоростях транспортного средства.

Во второй статье «Координация распределенных беспилотных наземных транспортных средств с помощью методов обучения с подкреплением на основе моделей» [12] представлен алгоритм координации для организации парка беспилотных надводных аппаратов (БКА) для поиска нескольких движущихся объектов-мишеней в океанской среде. Маршруты поиска USV (unmanned surface vehicles – беспилотные надводные транспортные средства) рассчитываются с помощью алгоритма

планирования пути на основе итерации политики, в то время как столкновения между транспортными средствами избегаются за счет применения ограничений политики. Результаты проведенных экспериментов в этой области показывают, что предложенный метод является более интеллектуальным и эффективным для поиска объектов-целей.

В обзоре стоит заострить внимание еще на одном аспекте: эксплуатация энергосистем. Рассмотрим две статьи, первая из которых называется «Сравнение ПИД-регулятора, оптимизированного для PSO, для управления межзонными колебаниями во Взаимосвязанной энергосистеме» [1]. В этой статье основное внимание уделяется разработке стратегии управления для подавления межзонных колебаний для единой двухзонной гидротермальной нерегулируемой энергосистемы. Для автоматического управления генерацией (AGC) предложен оптимизированный для оптимизации роя частиц (PSO) пропорциональный интегральный производный (PID) контроллер. Проведено дальнейшее сравнение между различными вариантами PSO с дальнейшим представлением всестороннего анализа этих методов оптимизации на основе основных динамических параметров производительности, т.е. времени установления и пикового превышения.

Вторая статья «Мультиагентный подход к эффективному управлению виртуальными электростанциями с распределенной генерацией» [15] посвящена разработке системы управления виртуальной электростанцией (ВЭС) с распределенной генерацией (ДГ). Описаны общие принципы функционирования ВПП. Предложен мультиагентный подход к управлению ВЭУ, объединяющий блоки ДГ, накопители и потребители электроэнергии с использованием твердотельного трансформатора (ТПТ). Разработаны принципы взаимодействия агентов для реализации интеллектуальной системы управления VPP. На основе имитационного моделирования в программных комплексах RastrWin и Jade проведено исследование эффективности использования мультиагентной системы управления рассматриваемой ВЭС.

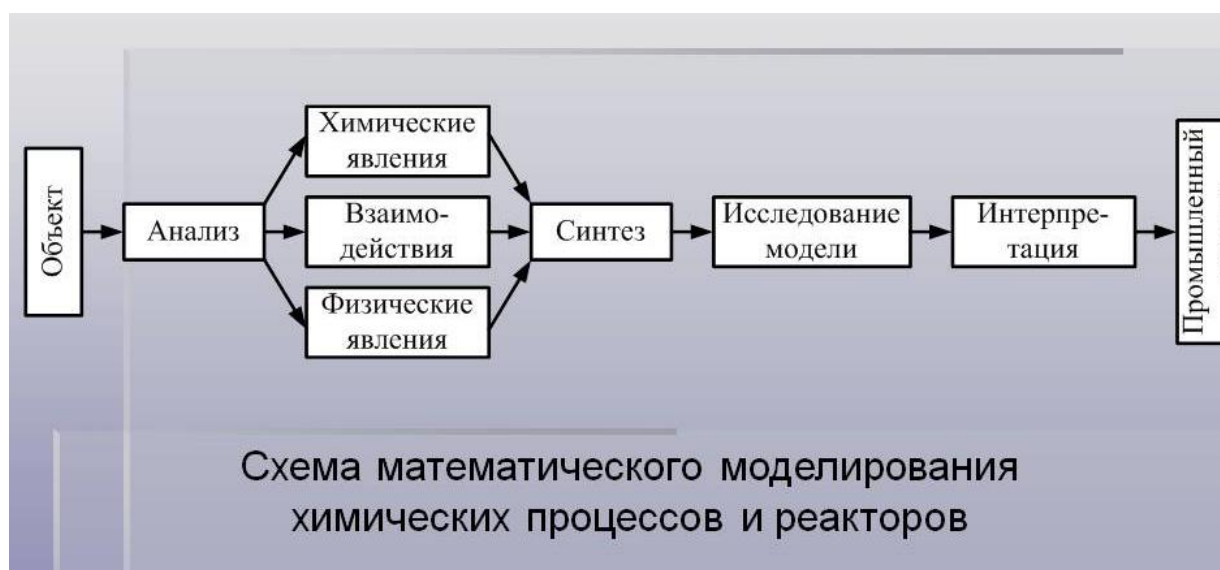
Подборку отечественной литературы начнем с представления двух монографий.

Первая монография «Математические методы пространственно-временной обработки сигналов в радио- и оптико-электронных системах» [27] знакомит читателей с математическими алгоритмами, позволяющими получать изображения объектов, оценивать их пространственное положение и параметры движения в активном, полуактивном и пассивном режимах работы радио- и оптико-электронных систем. В первой части монографии рассматриваются доплеровские радиосистемы, предназначенные для формирования трехмерного изображения местности, а также для наблюдения за движущимися воздушными объектами с целью определения их пространственных координат и параметров движения. Во второй части – радиотепловые и оптико-электронные системы видения, предназначенные для формирования изображений протяженных объектов в радио- или



оптических приемниках, а также обнаружения и оценивания пространственных координат точечных объектов в системах позиционирования нескольких приемников. В третьей части – восстановление радиотепловых и оптических изображений в условиях искажающего действия аппаратной функции приемника, а также классификация изображений объектов по принадлежности их эталонным изображениям и оценивание аппаратной функции. В четвертой части – траекторное сопровождение обнаруженных движущихся объектов на основе различных математических моделей.

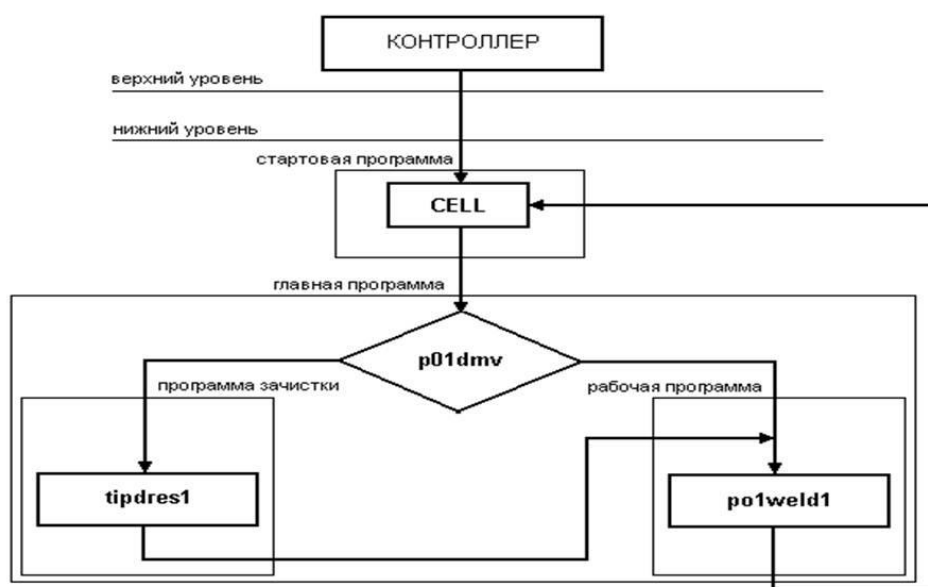
Вторая монография «Системный анализ процессов химической технологии: метод нечетких множеств» [29] излагает основы применения методологии нечетких множеств в химическом производстве. Цель монографии – изложение основ методологии нечетких множеств и показ преимуществ, дающих этот эффективный аппарат для решения задач моделирования, управления и оптимизации на всех уровнях иерархии химического производства. Работа состоит из трех частей. В первой части рассматриваются вопросы формализации и переработки качественной информации, представлены методы формализации нечетко определенных характеристик и взаимосвязей между параметрами физико-химических систем. Вторая часть посвящена особенностям математического моделирования процесса варки листового стекла, управлению процессом получения полиэтилена методом высокого давления, также даны примеры решения задач по указанным темам. В третьей части описаны методы принятия решений для оптимального функционирования химико-технологических систем в нечетко определенных ситуациях, приводятся принципы разработки алгоритмов решения задач исследования химико-технологических систем.



Среди отечественных публикаций также большое внимание уделено математическому моделированию в области робототехники.

Статья «Математические модели и алгоритмы управления движением робота балансира» [21] знакомит нас с созданием балансирующего робота, алгоритмом его работы и определением его математической модели. В статье разрабатывается алгоритм стабилизации на основе ПИД-регулятора (пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора, а также математическая модель робота, позволяющая в дальнейшем рассчитать коэффициенты ПИД-регулятора теоретически и сравнить со значениями, полученными на практике.

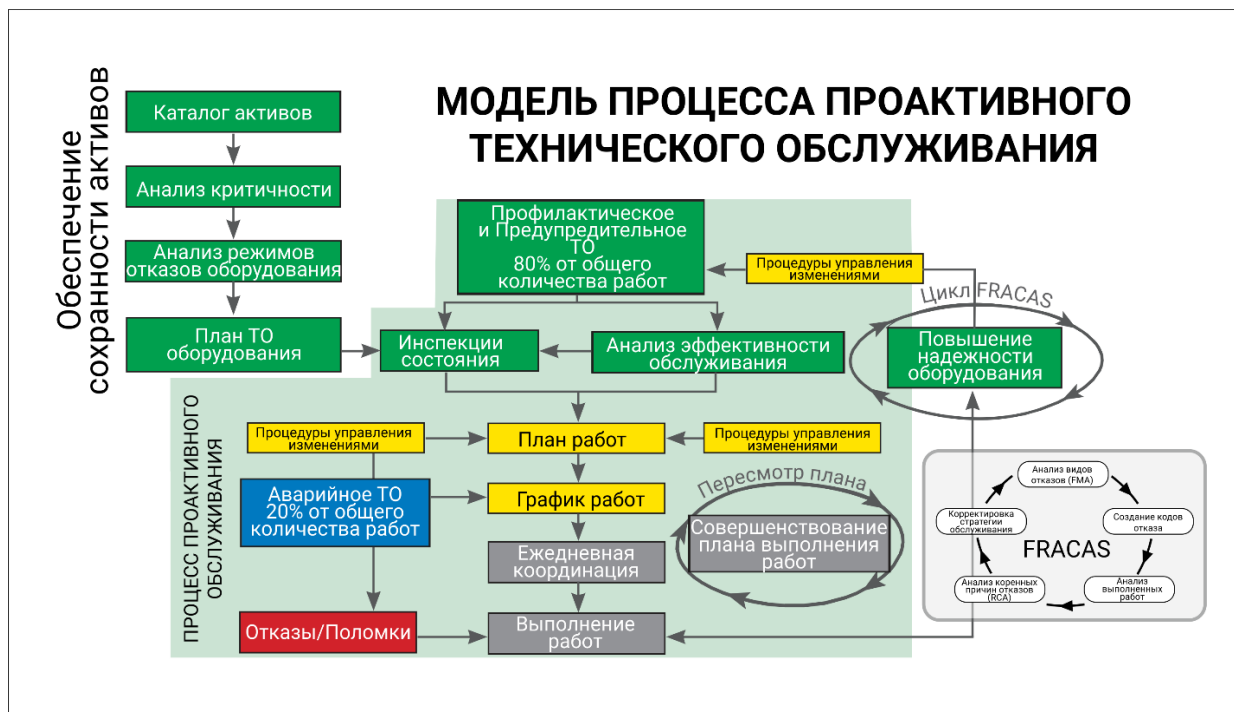
## Алгоритм управления работой робота



В статье «Специальное модельно-алгоритмическое и программное обеспечение проактивного управления групповым поведением робототехнических средств» [30] рассматривается проактивное управление групповым поведением робототехнических средств на основе поведенческих моделей, где интеллект формируется как результат поведения множества физических сущностей. Исследуемый комплекс представляет собой множество распределенных агентов, функционирующих в реальном масштабе времени в среде с возмущающими воздействиями. Для рассматриваемого сетевого объекта используется модель взаимодействия Дж. Бойда, описывающая цикл работы системы управления этого объекта. Разработанная технология позволяет опережать возможные сценарии реализации возмущающих воздействий. Используется методология комплексного предсказательного моделирования процессов проактивного управления и координации поведения самоорганизующейся группы роботов, где в качестве базовых моделей используются новые логико-динамические модели. Также разработан специализированный язык описания и исследования как задач моделирования, планирования, проактивного мониторинга и управления указанными объектами, так и задач диалогового взаимодействия, планирования вычислений, обработки данных и знаний.



Основное достоинство предложенного в статье подхода состоит в том, что задачи моделирования, планирования и управления конфигурацией и реконфигурацией робототехнических средств решаются не изолированно, а интегрировано в рамках общей проблемы проактивного управления структурной динамикой.



Техническому диагностированию динамических объектов посвящена статья «Современное состояние вопросов технического диагностирования динамических объектов» [20], в которой проанализировано состояние проблемы в области диагностирования технологических процессов, происходящих в условиях неопределенности. Проведено исследование теоретических и прикладных вопросов оценки технологических состояний сложных промышленных производств для целей создания информационной системы диагностирования технологических объектов. Осуществлен анализ методов диагностирования состояний технических объектов.

Очередная статья «Подход к проектированию программного обеспечения систем управления искусственными сущностями» [24] продолжает тему искусственного интеллекта. Цель работы – обосновать подход к разработке ПО интеллектуальных систем управления роботизированными комплексами на базе теории паттернов; разработать подход, обеспечивающий перенос эффективного опыта в систему управления роботизированными комплексами, совместимость теологического подхода и подхода, основанного на причинно-следственных связях, что важно при интеграции роботизированных комплексов и личного состава подразделений; показать, что закономерности отхода субъекта от идеального рационального выбора к субъективно рациональному связаны с особенностями идентификации и понимания состояния внешнего окружения и свойств своих

интересов. В работе использованы методы теории рефлексивных игр и теории информационного управления системами, обладающими волей и интеллектом. Показано, что выбор в условиях жесткого дефицита времени осуществляется на основе паттернов поведения, отражающих эффективный опыт. Разработана формальная модель паттерна поведения. Предложен подход к решению проблем идентификации и построения моделей паттернов, используя для этого четыре позиции обработки информации. Разработан метод логического вывода на паттернах. Приведены результаты программных решений идентификации паттерна поведения при использовании тренажерных систем нового поколения.



В связи с представленной тематикой заслуживает интереса статья «Алгоритмы паттернов интеллектуального узла в составе беспроводной сенсорной сети» [23] представляет подход к разработке ПО интеллектуальных систем управления отдельным узлом сети, обладающим заданной степенью автономии при выполнении задач применительно к использованию беспроводных сенсорных сетей (БСС) в военном комплексе. Ситуация усугубляется требованиями скрытности, миниатюризации, малого энергопотребления. В работе использованы методы теории нечетких множеств, теории построения нечетких моделей и сетей, а также подходы и алгоритмы построения бортовых интеллектуальных систем управления. Показано, что требуемые алгоритмы можно разработать, если выявить классы типовых ситуаций и успешные способы действия в реальных условиях. Предложена двухуровневая структура интеллектуальной системы управления сетью. В статье рассмотрены принципы работы БСС, определены модели индивидуального поведения автономного узла БСС. Предложены алгоритмы паттернов автономного интеллектуального устройства в составе БСС для решения следующих задач: динамическое определение структуры сети в зависимости от ее текущего состояния; оперативное определение текущих координат узлов; определение местоположения узлов кластера с учетом топологии сети; установка узла в режим обнаружения сигнатур; определение при появлении сигнатур их типа путем сверки с базой

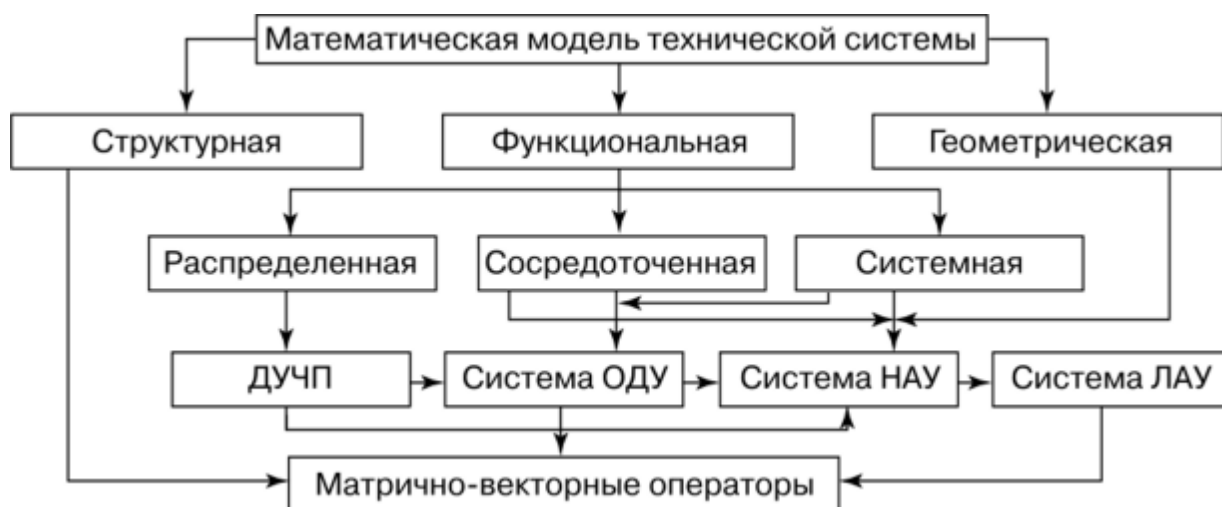
паттернов, определение направления движения и местоположения; принятие решения о необходимости отслеживания или игнорирования сигнатуры; связь с другими узлами для выработки согласованных действий.

Следующим моментом, на который мы заострим наше внимание, будет краткий обзор статей, объединенных под одной тематикой, непосредственно относящейся к теме предлагаемого обзора: математическое моделирование в технических системах. Вниманию читателей предлагаются четыре статьи, первая из которых, «Применение математического моделирования для разработки адаптивных систем управления в технических системах» [19], посвящена рассмотрению применения математического моделирования в технических системах. Следует отметить, что в реальных технических системах применяются различные математические модели, построенные на основе обучения и адаптации: адаптивные, робастные, нейронные и нечеткие модели. Наиболее широкое распространение получили адаптивные математические модели, использующие ПИД-алгоритм, в которых применяются различные математические модели, имеющие в своей основе современные достижения в области адаптивных алгоритмов и систем искусственного интеллекта. Выбор той или иной математической модели зависит от полноты описания объекта управления, возможности и точности определения его параметров и устойчивости управления.

Очередная статья «Роль моделирования и необходимость контроля сложных технических систем» [22] посвящена описанию роли моделирования и необходимости контроля сложных технических систем. Имитационное математическое моделирование позволяет получить численное решение математических соотношений, описывающих моделируемую систему, путем воспроизведения в структуре имитационной математической модели структуры моделируемой системы, а именно ее подсистем, элементов и связей между ними. Это сильно упрощает математическое описание системы, не требует сложных преобразований математических моделей структурных элементов в общую модель, но делает его в большинстве случаев более громоздким.

Далее представим статью «Применение математического моделирования в структуре комбинированной системы испытаний при освоении и серийном производстве сложных технических систем» [25], в которой рассматривается пример применения комбинированных систем испытаний при освоении и серийном производстве сложных технических систем. С использованием метода вероятностно-статистического моделирования описывается подход к формированию прогноза результатов испытаний сложной технической системы. Описываемая методика применения математического моделирования в составе комбинированной системы испытаний приводится с целью снижения материальных и временных затрат на натурные испытания. На основании полученных результатов делаются выводы о возможности моделирования работы составных частей изделия в составе сложной технической системы и возможности наглядно продемонстрировать влияние надежности отдельных

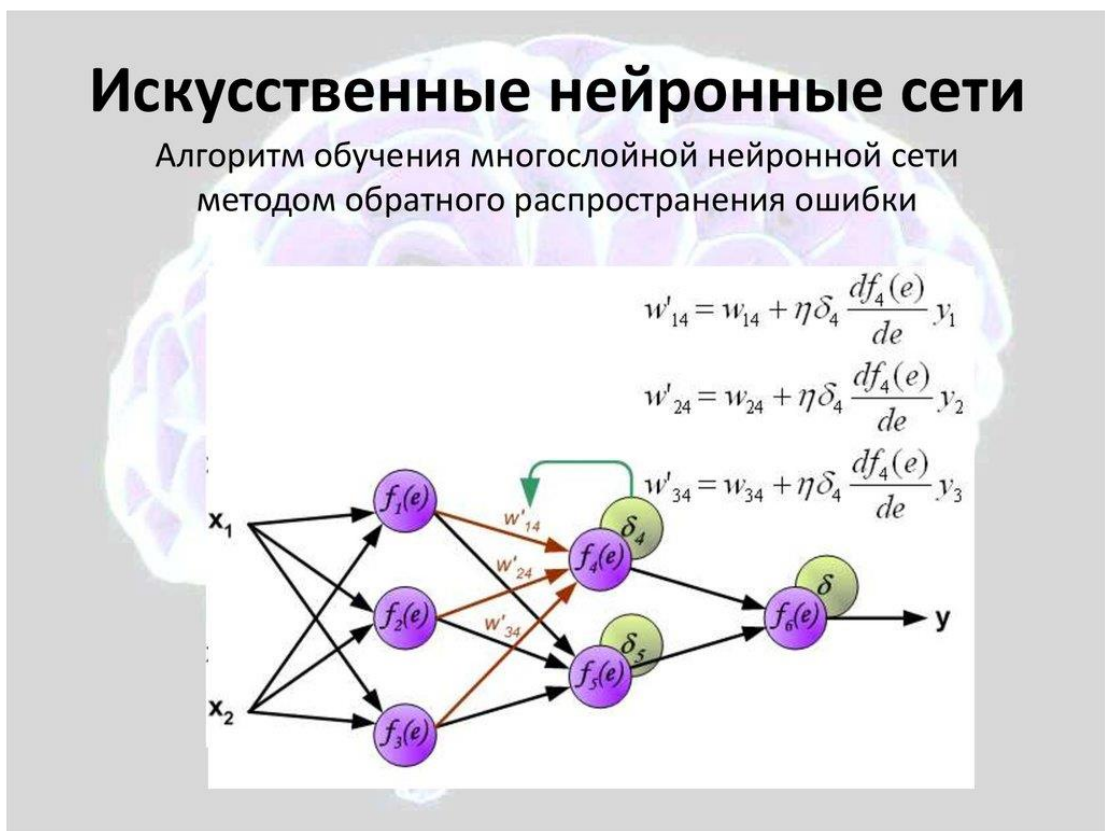
составных частей на вероятность выполнения испытания сложной технической системы в целом.



Завершит подборку статей статья «Математическая модель цифровых блоков для системы совместного моделирования технических средств и программно-микропрограммного обеспечения» [26]. В данной статье на основе анализа особенностей современных цифровых систем предлагается структура системы совместного моделирования работы технических средств и программно-микропрограммного обеспечения цифровых систем на функционально-логическом уровне. Авторы статьи предлагают математическую модель для моделирования технических средств с двузначным представлением логических сигналов на выводах блоков с учетом особенностей современных цифровых систем, а именно: наличия двунаправленных шин, высокоимпедансного состояния выводов, внутренней памяти блоков. Предлагаемая структура и математическая модель могут быть использованы при построении отечественной системы совместного моделирования технических средств и программного обеспечения на этапе проектирования для отладки и сравнительного анализа вариантов.

В завершение обзора представим две публикации сотрудников РГУПС. Первая из них – статья «Синтез нейронной сети идентификации параметров динамических систем на основе конечно-разностной аппроксимации рекуррентных алгоритмов» [28], посвящена решению проблемы, выражающейся в следующих аспектах. Современные объекты управления являются комплексными системами, характеризующимися неполнотой, а иногда и полным отсутствием информации, заранее известной, так называемой априорной. Данная проблема приводит к целому ряду теоретических и практических трудностей при построении управляющих систем. Статья предлагает решение проблемы в некоторой степени за счет предварительного изучения объекта управления и построения его модели путем анализа входных и выходных данных в условиях его функционирования, а именно, за счет идентификации (распознавания) системы. Один из наиболее распространенных подходов основывается на

принципах статистического анализа и приводит к алгоритмам адаптивной динамической фильтрации. В виде вариационных принципов рассматривается использование естественных свойств объекта, что делает возможным дальнейшее повышение алгоритмов идентификации параметров динамических систем. В качестве альтернативного подхода рассматривается применение искусственных нейронных сетей, представляющих собой математические модели, а также их программное или аппаратное воплощение, построенное по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. В статье рассматривается процедура синтеза нейронной сети идентификации параметров динамической системы, основанный на использовании структуры рекуррентных алгоритмов идентификации.



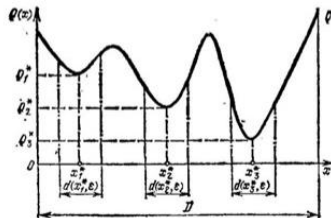
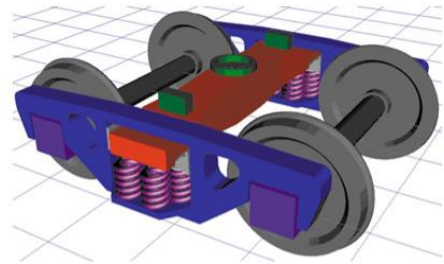
Вторая статья «Учет возмущающих моментов в задаче стабилизации угловых скоростей ЛА» [31] представляет результаты моделирования комбинированного управления угловыми скоростями летательных аппаратов с каналом компенсации возмущающих моментов, реализованного на основе алгоритма с прогнозирующей моделью. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят применение для решения задач контроля и мониторинга инфраструктуры ОАО «РЖД» в целях обеспечения высокого уровня безопасности движения на железнодорожном транспорте. БПЛА относятся к сложным техническим системам. При синтезе алгоритмов управления такими объектами большую роль играет повышение эффективности алгоритмов управления, включая управление угловыми скоростями. Оптимальные алгоритмы управления позволяют минимизировать как затраты на



управление, так и время регулирования, что, в конечном итоге, способствует достижению должного уровня безопасности движения поездов.

Последнее, что я хочу сказать в своем обзоре, математическое моделирование – это мощное средство познания природы и общества при организации производственно-хозяйственной деятельности человека в социуме. В любом производстве заложена идеальная экономико-математическая модель, с которой проводится постоянное сравнение реального положения вещей с целью приближения реальности к желаемому результату. Основной задачей исследования производственных систем и технологических процессов является задача поиска в рамках принятой модели оптимальных решений, которым отвечают экстремальные значения критерия эффективности их функционирования.

**Математическая модель** — приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.



$$\begin{cases} x - y = 10, \\ \frac{x}{2} - \frac{y}{5} = 32. \end{cases}$$

## Библиографический список

1. A Comparison on PSO Optimized PID Controller for Inter-Area Oscillation Control in an Interconnected Power System / Y. K. Bhatshvar [et al.]. – Text : electronic // Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy. – 2022. – № 7 (1). – P. 7 // *НЭБ Scopus*.
2. Application of an adapted FMEA framework for robot-inclusivity of built environments / Y. J. Ng [et al.]. – Text : electronic // Scientific Reports. – 2022. – № 12 (1). – P. 3408 // *НЭБ Scopus*.
3. Badgujar C. Artificial neural network to predict traction performance of autonomous ground vehicle on a sloped soil bin and uncertainty analysis / C. Badgujar, D. Flippo, S. Welch. – Text : electronic // Computers and Electronics in Agriculture. – 2022. – № 196. – P. 106867 // *НЭБ Scopus*.
4. Bartolozzi C. Embodied neuromorphic intelligence / C. Bartolozzi, G. Indiveri, E. Donati. – Text : electronic // Nature Communications. – 2022. – № 13 (1). – P. 1024 // *НЭБ Scopus*.
5. Flight Test Approach for Modeling and Control Law Validation for Unmanned Aircraft / J. L Gresham [et al.]. – Text : electronic // AIAA Science and Technology Forum and Exposition, AIAA SciTech Forum. – 2022. – P. 2406 // *НЭБ Scopus*.
6. Improved firefly algorithm with courtship learning for unrelated parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times / X. Huang [et al.]. – Text : electronic // Journal of Cloud Computing. – 2022. – № 11 (1). P. 9 // *НЭБ Scopus*.
7. Intelligent robot motion trajectory planning based on machine vision / Y. Liu [et al.]. – Text : electronic // International Journal of Systems Assurance Engineering and Management. – 2022 // *НЭБ Scopus*.
8. Li S. Nonlinear process modeling via unidimensional convolutional neural networks with self-attention on global and local inter-variable structures and its application to process monitoring / S. Li, J. Luo, Y. Hu. – Text : electronic // ISA Transactions. – 2022. – № 121. – P. 105-118 // *НЭБ Scopus*.
9. Mavrogiannis A. B-GAP: Behavior-Rich Simulation and Navigation for Autonomous Driving / A. Mavrogiannis, R. Chandra, D. Manocha. – Text : electronic // IEEE Robotics and Automation Letters. – 2022. – № 7 (2). – P. 4718-4725 // *НЭБ Scopus*.
10. Metamodeling techniques for CPU-intensive simulation-based design optimization: a survey / H. Khatouri [et al.]. – Text : electronic // Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences. – 2022. – № 9 (1). – P. 1 // *НЭБ Scopus*.
11. Mezouar O. Rational Function Model Optimization Based On Swarm Intelligence Metaheuristic Algorithms / O. Mezouar, F. Meskine, I. Boukerch. – Text : electronic // Lecture Notes in Networks and Systems 413 LNNS. – 2022. – P. 86-99 // *НЭБ Scopus*.
12. Miao R. Coordination of distributed unmanned surface vehicles via model-based reinforcement learning methods / R. Miao, L. Wang, S. Pang. – Text :

electronic // Applied Ocean Research. – 2022. – № 122. – P. 103106 // HЭБ Scopus.

13. Path Tracking Control of Intelligent Vehicles Based on Fuzzy LQR / J. Hu [et al]. – Text : electronic // Qiche Gongcheng/Automotive Engineering. – 2022. – № 44 (1). – P. 17-25 // HЭБ Scopus.

14. Position Control of Quadrotor UAV Based on Cascade Fuzzy Neural Network / J. Rao [et al]. – Text : electronic // Energies. – 2022. – № 15 (5). – P. 1763 // HЭБ Scopus.

15. Sosnina E. Multi-agent Approach to Efficient Management of Virtual Power Plants with Distributed Generation / E. Sosnina, A. Shalukho, N. Erdili. – Text : electronic // Lecture Notes in Electrical Engineering 857 LNEE. – 2022. – P. 68-79 // HЭБ Scopus.

16. Wang D. Event-based iterative neural control for a type of discrete dynamic plant / D. Wang. – Text : electronic // Gongcheng Kexue Xuebao/Chinese Journal of Engineering. – 2022. – № 44 (3). – P. 411-419 // HЭБ Scopus.

17. Yang G. Multilayer neural network based asymptotic motion control of saturated uncertain robotic manipulators / G. Yang, H. Wang. – Text : electronic // Applied Intelligence. – 2022. – № 52 (3). – P. 2586-2598 // HЭБ Scopus.

18. Yang S. Intelligent Scheduling System for Production Line Automatic Matching Based on DSSM-XGBoost / S. Yang, M. Feng, D. Guan. – Text : electronic // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – № 2203 (1). – P. 012072 // HЭБ Scopus.

19. Альхименко И. Н. Применение математического моделирования для разработки адаптивных систем управления в технических системах / И. Н. Альхименко, А. И. Базюк, С. Д. Хасаншин. – Текст : электронный // Актуальные проблемы информационно-телекоммуникационных технологий и математического моделирования в современной науке и промышленности : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Комсомольск-на-Амуре : КнАГУ, 2021. – С. 43-45 // HЭБ eLIBRARY.

20. Атажонов М. О. Современное состояние вопросов технического диагностирования динамических объектов / М. О. Атажонов. – Текст : электронный // Universum: технические науки. – 2021. – № 2-1 (83). – С. 45-47 // HЭБ eLIBRARY.

21. Афонин К. Ю. Математические модели и алгоритмы управления движением робота балансира / К. Ю. Афонин. – Текст : электронный // Пятая научно-техническая конференция студентов и аспирантов МИРЭА - Российского технологического университета : сб. тр. – М. : РТУ МИРЭА, 2020. – С. 253-258 // ЭБС Лань.

22. Вержаковская М. А. Роль моделирования и необходимость контроля сложных технических систем / М. А. Вержаковская, В. Ю. Аронов, Д. А. Киржаев. – Текст : электронный // Проблемы и перспективы внедрения инновационных телекоммуникационных технологий : сб. тр. VII Междунар. науч.-практ. очно-заочной конф. / ПГУТИ, филиал ПГУТИ в г. Оренбург. – Оренбург, 2021. – С. 310-317 // HЭБ eLIBRARY.

23. Виноградов Г. П. Алгоритмы паттернов интеллектуального узла в составе беспроводной сенсорной сети / Г. П. Виноградов, А. С. Емцев, И. С. Федотов. – Текст : электронный // Программные продукты и системы. – 2021. – № 1. – С. 33-46 // НЭБ eLIBRARY.

24. Виноградов Г. П. Подход к проектированию программного обеспечения систем управления искусственными сущностями / Г. П. Виноградов, И. А. Конюхов, Г. А. Шепелев. – Текст : электронный // Программные продукты и системы. – 2021. – № 1. – С. 5-18 // НЭБ eLIBRARY.

25. Вычегжанин К. О. Применение математического моделирования в структуре комбинированной системы испытаний при освоении и серийном производстве сложных технических систем / К. О. Вычегжанин, В. А. Четвергов. – Текст : электронный // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 5 (119). – С. 60-64 // НЭБ eLIBRARY.

26. Иванников А. Д. Математическая модель цифровых блоков для системы совместного моделирования технических средств и программно-микропрограммного обеспечения / А. Д. Иванников, А. Л. Стемпковский. – Текст : электронный // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2021. – № 1. – С. 2-7 // НЭБ eLIBRARY.

27. Ключко В. К. Математические методы пространственно-временной обработки сигналов в радио- и оптико-электронных системах : монография / В. К. Ключко. – Рязань : РГРТУ, 2020. – 164 с. – Текст : электронный // ЭБС Лань

28. Костоглотов А. А. Синтез нейронной сети идентификации параметров динамических систем на основе конечно-разностной аппроксимации рекуррентных алгоритмов / А. А. Костоглотов, В. О. Зехцер. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Транспорт-2021 / РГУПС ; орг. ком. конф. : пред. А.Н. Гуда и др. – Ростов-на-Дону, 2021. – Т. 1 : Технические науки. – С. 111-115 // ЭБ НТБ РГУПС.

29. Системный анализ процессов химической технологии: метод нечетких множеств : монография / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов, Е. П. Марков ; под ред. Н. М. Жаворонкова. – М. : Юрайт, 2022. – 360 с. – Текст : электронный // ЭБС Юрайт.

30. Специальное модельно-алгоритмическое и программное обеспечение проактивного управления групповым поведением робототехнических средств / О. В. Кофнов [и др.]. – Текст : электронный // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 1 (218). – С. 138-149 // НЭБ eLIBRARY.

31. Трофименко В. Н. Учет возмущающих моментов в задаче стабилизации угловых скоростей ЛА / В. Н. Трофименко, А. А. Волкова. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Транспорт-2021 / РГУПС ; орг. ком. конф. : пред. А.Н. Гуда и др. – Ростов-на-Дону, 2021. – Т. 1 : Технические науки. – С. 189-193 // ЭБ НТБ РГУПС.