

## ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ МОДУЛЯМИ ДВИЖЕНИЯ В СРЕДЕ SIMINTECH

*Закиров И.Р., Корнилов В.Ю.*

*Казанский государственный энергетический университет, Казань*

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, мехатронные системы, интеллектуальные системы, управление мехатронными системами.

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблематика перехода в машиностроении к мехатронным технологиям. Показана актуальность интеллектуализации мехатронных технологий. Проанализирована особенность различных методов искусственного интеллекта, которые на текущий момент представляют наибольший интерес для создания мехатронных объектов. Изучены особенности динамического моделирования интеллектуальных систем контроля и управления мехатронными модулями движения в среде SimInTech.

## DYNAMIC SIMULATION OF INTELLIGENT MECHATRONIC MOTION CONTROL SYSTEMS IN THE SIMINTECH ENVIRONMENT

*Zakirov I.R., Kornilov V.Yu.*

*Kazan State Power Engineering University, Kazan*

**Keywords:** artificial intelligence, mechatronic systems, intelligent systems, mechatronic system control.

**Abstract.** The article deals with the problem of transition to mechatronic technology in mechanical engineering. The relevance of mechatronic technology intellectualisation is shown. The peculiarities of various artificial intelligence methods, which at the moment are of the greatest interest for the creation of mechatronic objects, are analysed. The features of dynamic modeling of intelligent control and management systems of mechatronic motion modules in SimInTech environment are studied.

С точки зрения автоматизации стратегию интеллектуального управления можно интерпретировать достаточно гибко. Его концепция отличается от классической обратной связи тем, что она динамически реализуется в режиме реального времени, пока система выполняет полезные функции. Таким образом, классическое адаптивное управление можно считать интеллектуальным, если закон управления постоянно обновляется. С точки зрения классификации такие системы можно отнести к пограничным [1]. Развитие методов, берущих начало из вычислительной математики, затем перешедших в область программирования, обработки и анализа больших данных и, в последнее время, активно используемых в управлении техническими системами, хорошо прослеживается при анализе источников по интеллектуальным подходам к управлению для мехатроника. Взрывной рост литературы приходится на начало 2010-х и не перестает снижаться.

В робототехнике и мехатронике используются различные подходы и направления искусственного интеллекта, такие как машинное обучение, искусственные нейронные сети (НС), нечеткая логика, эволюционные вычисления, генетические алгоритмы. Область машинного обучения включает

такие методы, как классическое обучение (с учителем и без учителя), ансамблевые методы, обучение с подкреплением, нейронные сети и глубокое обучение. Алгоритмы интеллектуального управления используют различные оптимизационные, статистические и вероятностные методы для извлечения эффективных закономерностей из предпринимаемых действий и анализа больших наборов данных [2]. Классическое обучение и ансамбли в основном используются для обработки и классификации наборов данных по сравнению с нейронными сетями, а обучение с подкреплением подходит для использования в области автоматического управления, планирования и логистики [3-5]. В то же время НС особенно эффективны при работе со сложными данными и неразмеченными признаками. Важным вопросом является надежность и безопасность использования интеллектуальных алгоритмов управления в автономных системах, взаимодействующих с физическим миром. Этому вопросу посвящена обзорная статья [6], где рассмотрен неасимптотический анализ (за конечное время) сходимости алгоритмов интеллектуального управления.

Моделирование ПИД-регулятора выполнялось в программе SimInTech. SimInTech (Simulation In Technic) – среда динамического моделирования технических систем, предназначенная для вычислительной верификации систем управления сложными техническими объектами. SimInTech выполняет моделирование объектов с одновременным моделированием системы управления. Это позволяет повысить качество проектирования системы управления за счет проверки принимаемых решений на любой стадии проекта. SimInTech предназначен для детального исследования и анализа процессов в системах автоматического управления, следящих приводах и роботах, а также в любых технических системах. Описание динамики объектов должно быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и/или реализовано методами структурного моделирования. Основные области применения SimInTech – создание моделей, проектирование алгоритмов управления, их отладка на объектной модели, генерация исходного кода на языке C для программируемых контроллеров.

В исследовании [1] предлагается управление, основанное на пропорционально-дифференциальном (PD) управлении с компенсацией силы тяжести, чтобы показать надежность этой схемы управления в промышленных приложениях робота-манипулятора. Алгоритм управления разработан с использованием недорогой платы типа Raspberry Pi (RPI), на которой установлена операционная система робота (ROS). Новизна этого подхода заключается в разработке новых функций в ROS для управления ЧР с гравитационной компенсацией в недорогих системах. В [2] представлена общая структура управления для ограниченного управления системами из нескольких тел, приводимыми в действие векторизованными двигателями. Предлагается схема каскадного управления, дополненная блоком обеспечения соблюдения ограничений, для стабилизации системы при обеспечении постоянного удовлетворения ограничений. Каскадный контроллер состоит из внутреннего контура и внешнего контура, которые связаны друг с другом подходящим отображением. Внутреннему циклу поручено контролировать положение

векторизованных двигателей. Внешний цикл предназначен для управления конфигурацией задачи системы в нужное положение, в то же время предоставляя внутреннему циклу желаемое положение посредством отображения. В [3] предлагается конструкция гибридного контроллера с итеративным обучением для роботизированного манипулятора механической обработки (РММ) с четырьмя степенями свободы (DOF). Он сочетает в себе нелинейное насыщенное (насыщенное) пропорциональное + интегральное + производное (ПИД) управление с требуемой гравитационной компенсацией (dgc) и пропорциональное + производное (PD) на основе итеративного управления обучением (ILC). Спутниковое (PID) управление является основным компонентом, который поддерживает локальную стабильность всей системы RMM, а компонент PDILC обеспечивает устойчивость к изменениям параметров и неопределенностям в динамике робота. Проведена глобальная асимптотическая устойчивость предложенного алгоритма управления с использованием прямого метода Ляпунова и принципа инвариантности Ла-Саллеса.

В зависимости от веса робота необходимо было скорректировать оптимальные ПИД-коэффициенты исполнительного механизма. Структурная схема привода с настройкой коэффициентов регулятора представлена на рисунке 1. На рисунке 1 представлена принципиальная схема АД с ПИД-регулятором, датчиком веса, моделью двигателя и программой для установки коэффициентов регулятора в зависимости от веса груза. На рисунке 2 представлена принципиальная схема с АД, червячным редуктором (R), к которому крепилось колесо (W), и датчиком угловой скорости (S), микроконтроллером с АЦП и ЦАП. На рисунке 3 показаны передаточные функции асинхронного двигателя с преобразователем частоты (ПЧ). На рисунке 4 показана модель асинхронного двигателя с ПИД-регулятором в программе SimInTech с блоком оптимизации для настройки его коэффициентов.

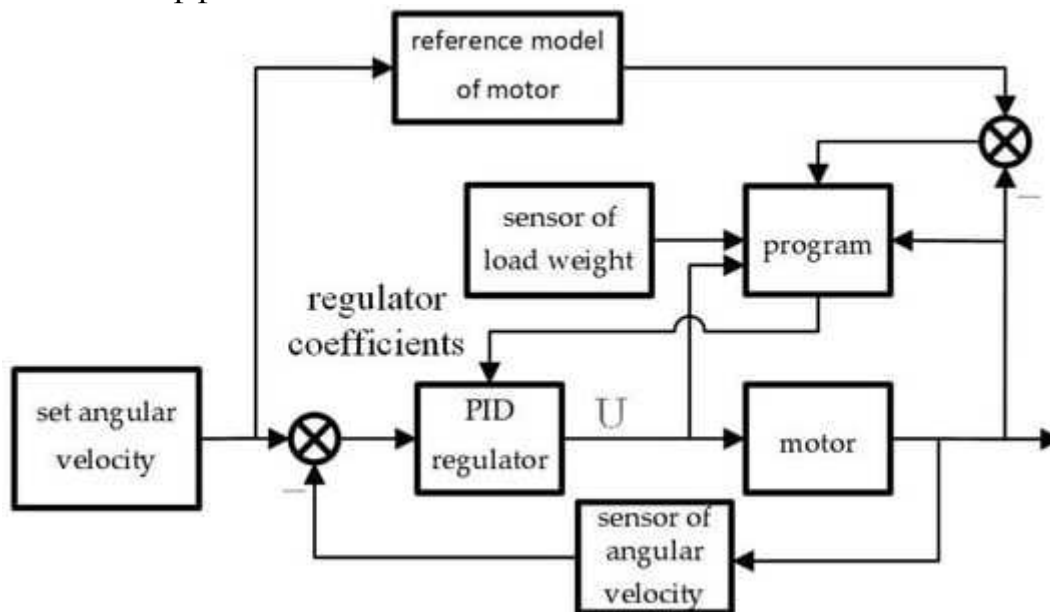


Рис. 1. Структурная схема привода

Принципиальная схема привода представлена на рисунке 2. Он включает в себя АД, одноступенчатый червячный редуктор (R), к которому крепилось колесо

(W), и датчик угловой скорости (S), сигнал с которого подавался на вход АЦП. Управление двигателем осуществлялось с помощью автономного инвертора напряжения (АВН) в соответствии с алгоритмом управления контроллера по выходному сигналу ЦАП через аналоговый потенциальный вход АИН, который на схеме представлен в виде виртуального согласующего преобразователя (ВМС). MCU – это микроконтроллерный блок.

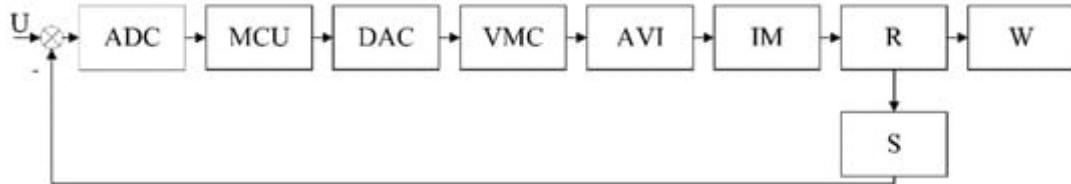


Рис. 2. Принципиальная схема электропривода.

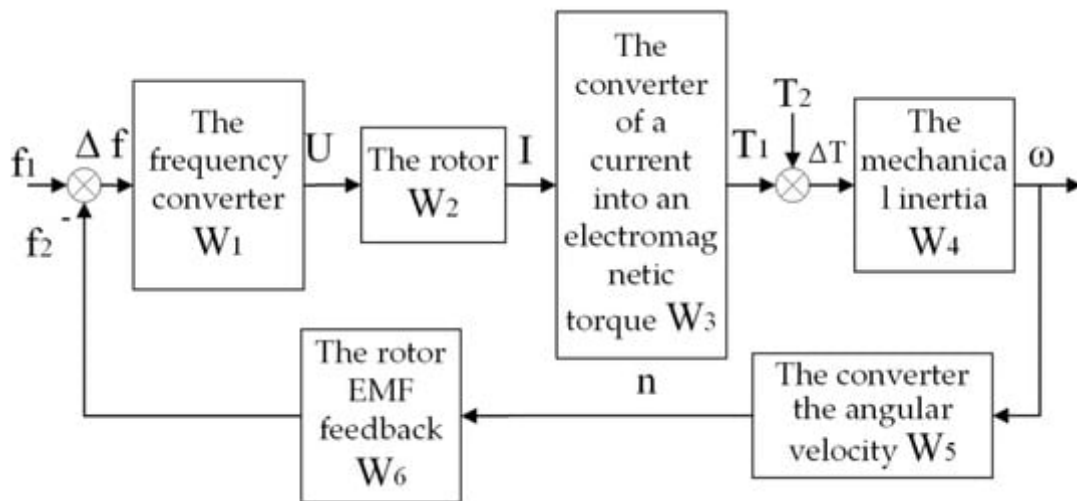


Рис. 3. Структурная модель ПЧ-АД:  $\omega$  – угловая скорость привода, рад/с;  $n$  – частота вращения двигателя, об/мин;  $f_2$  – частота, Гц, эквивалентная скорости двигателя;  $f_1$  – частота напряжения обмотки статора, Гц;  $U$  – напряжение обмотки статора, В;  $I$  – ток ротора, наведенный на обмотку статора;  $T_1$  – электромагнитный момент, создаваемый ротором двигателя, Н·м;  $T_2$  – момент нагрузки, Н·м

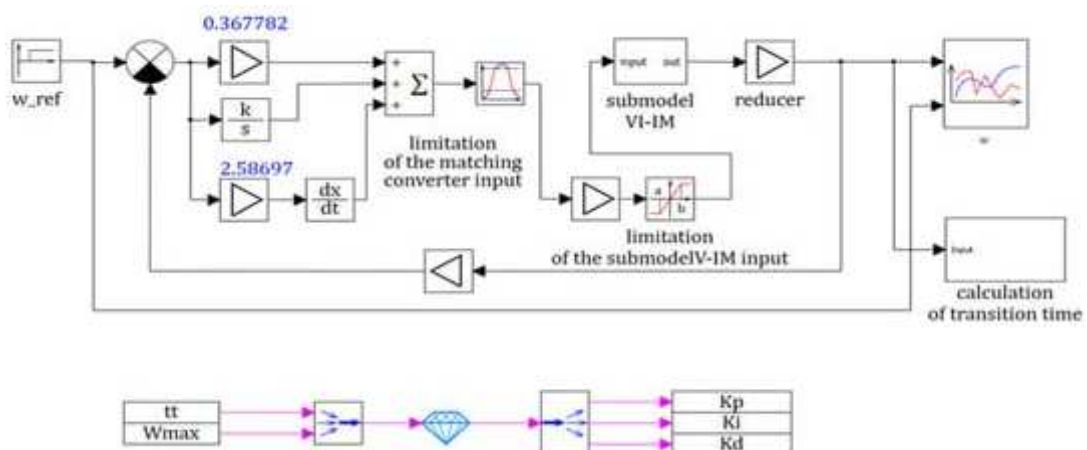


Рис. 4. Схематическое окно с моделью для параметрического синтеза непрерывного закона ПИД-регулирования

Модуль движения обеспечивал управление скоростью вращения колеса с помощью задающего сигнала  $U$ , формируемого в микроЭВМ верхнего уровня программно. В схему была включена необходимая информация и параметры элементов (рис. 2).

В отдельный класс задач входят задачи прогнозирования состояния системы, требующие обширного сбора и последующей обработки информации с измерительных датчиков.

Прогнозирование потенциальных отказов продольно-резательных станков выполняется с использованием методологии анализа временных рядов, называемой авторегрессией скользящего среднего. Часто в системы включаются превентивные меры, такие как аварийное отключение нагрузки при скачках рабочей частоты в энергосистеме. Эта проблема решается путем обучения модели прогнозирования на заранее подготовленной базе данных и последующего применения ее в режиме реального времени. Актуальной проблемой для обрабатывающих станков является износ инструмента. Предложен подход к созданию модели процесса шлифования для управления съемом материала с помощью, роботизированной ленточной шлифовальной машины, способной отслеживать изменения условий работы и точно прогнозировать съем материала. Основная идея состоит в том, чтобы построить начальную модель регрессии опорных векторов на основе данных шлифования в качестве обучающих выборок. Обученная модель модифицируется в соответствии с данными измерений в реальном времени, и рассчитываются параметры управления машиной. Предсказание геометрической формы оказалось необходимым компонентом управления мягким роботом.

Наилучшие результаты показали рецидивные НН и в пчелиной семье. В [7] на основе измерений пьезорезистивных датчиков предложена основа для прогнозирования трехмерной конфигурации мягкого робота с помощью глубокого обучения.

Данные собирались с помощью динамометра, измеряющего нагрузку на насосную штангу, и обрабатывались с помощью специализированного программного комплекса для разработки и обеспечения работы в реальном масштабе времени систем сбора и обработки информации об объекте мониторинга. Таким образом, реализация прогноза на основе машинного обучения является современным и эффективным способом предотвращения аварий на производстве, снижения затрат на техническое обслуживание и улучшения общего производственного процесса.

Помимо классификации статей по алгоритмам машинного обучения, несколько обзоров посвящены изучению приложений для конкретной технологии.

Рассмотренная тема является очень актуальной, так как внедрение ИИ значительно облегчает жизнь человека, естественно, что МС также может дать сбой, могут возникать ошибки, необходимо учитывать и эти факторы. С каждым днем научно-технический прогресс не стоит на месте, а идет вперед, а с ним и развитие ИИ, который всё прочнее внедряется в нашу жизнь.

#### **Список литературы**

1. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – М.: Машиностроение, 2007. – 256 с.
2. Шалабаев Е.В. Теоретические и практические проблемы развития мехатроники // Современные технологии. – СПб.: СПбГИТМО-ТУ, 2001. – С. 46-67.

3. Шалобаев Е.В., Юркова Г.Н., Ефименко В.Т., Ефименко А.В. Лазерные стимуляторы // Датчики и системы. – 2001. – №8. – С. 58-59.
4. Кулиш И.А., Подураев Ю.В., Шомко Й. Интеллектуальное управление мобильными роботами на основе комбинации нейросетевого и нечеткого методов // Мехатроника. – 2001. – №5. – С. 8-11.
5. Лохин В.М. Интеллектуальные системы управления // Мехатроника. – 2001. – №1. – С. 28.
6. Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 348 с.
7. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки. – СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 711 с.
8. Теряев Е.Д., Филимонов Н.Б. Наномехатроника: состояние, проблемы, перспективы // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 1. – С. 2-14.
9. Кочетов В.В., Колобов А.А., Омельченко И.Н. Инженерная экономика. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 669 с.
10. Герман-Галкин С.Г., Карташов Б.А., Литвинов С.Н. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 494 с.

Сведения об авторах:

*Закиров Ильсур Рафкатович* – аспирант;

*Корнилов Владимир Юрьевич* – д.т.н., профессор.