

УДК 681.5

Е.С. СНЕЖИНСКАЯ, магистрант гр. ЭМЖм-1-23 (КГЭУ)  
г. Казань

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Современные методы и алгоритмы управления электроприводами, особенно в системах с синхронными двигателями с постоянными магнитами, играют важную роль в обеспечении точности, надежности и эффективности работы различных транспортных систем. Наземный электрический транспорт, включая электромобили, трамваи и электробусы, требует высокой скорости отклика, точности управления тяговыми электроприводами, низкого энергопотребления и надежности в любых условиях эксплуатации.

Одним из распространенных методов управления электроприводами наземного электрического транспорта является векторное управление двигателями с постоянными магнитами. Этот метод основан на точной математической модели двигателя, которая позволяет управлять скоростью, крутящим моментом и положением ротора с высокой точностью [1]. Векторное управление делит статор и ротор двигателя на две координационные системы, упрощая контроль за токами. Через преобразование токов статора в двухосную систему координат удается более точно управлять магнитным потоком и крутящим моментом, что особенно важно для транспортных систем, где требуется высокая динамическая точность при разгоне, торможении и маневрировании.

Одной из ключевых задач при векторном управлении является правильный выбор регуляторов для контроля тока и скорости двигателя. Традиционно для этих целей используются пропорционально-интегральные (PI) регуляторы, которые позволяют улучшить динамические характеристики системы. Однако при работе в условиях нелинейности или изменяющихся характеристик системы PI-регуляторы могут оказаться недостаточно эффективными. Здесь на помощь приходят более сложные методы управления, такие как нечеткие PID-контроллеры и алгоритмы оптимизации, которые позволяют адаптироваться к динамическим изменениям условий эксплуатации.

PID-контроллеры широко используются в системах управления благодаря своей простоте и универсальности. В транспортных электроприводах они регулируют параметры системы, такие как скорость и крутящий момент, поддерживая стабильную работу даже при изменяющихся внешних условиях. Однако традиционные PID-контроллеры имеют ряд недостатков в системах, которые работают в нелинейных режимах или при из-

меняющихся условиях. Они требуют ручной настройки параметров, что затрудняет их применение в сложных динамических системах, таких как электроприводы наземного электрического транспорта.

Нечеткие PID-контроллеры представляют собой усовершенствованную версию классического PID-управления, которая включает элементы нечеткой логики. В отличие от традиционных PID-контроллеров, нечеткие контроллеры способны автоматически адаптироваться к изменениям в системе и корректировать параметры управления в реальном времени. Это позволяет значительно повысить точность и устойчивость работы электропривода. Нечеткий контроллер отслеживает ошибки системы и скорость их изменения, затем применяет заранее определённые правила для динамической коррекции параметров PID-регулятора. Этот подход особенно полезен для транспортных систем, где необходимо учитывать множество внешних факторов, таких как изменения нагрузки, погодные условия и состояние дороги.

Несмотря на улучшения, которые предлагаются нечеткие PID-контроллеры, эффективность их работы сильно зависит от корректно выбранных начальных параметров. В реальных приложениях, таких как электроприводы наземного транспорта, эти параметры могут быть сложно подобрать вручную, что требует значительных усилий и времени. Для автоматизации и улучшения процесса настройки активно применяются методы оптимизации, которые позволяют автоматически находить оптимальные значения параметров управления [2].

Одним из эффективных инструментов оптимизации параметров в системах управления является алгоритм поиска на основе усиков жука (BAS, Beetle Antennae Search). Этот алгоритм основан на биологической модели поиска пищи жуками, использующими свои усики для ориентации в пространстве. BAS применяется для минимизации функции, включая оптимизацию параметров PID-контроллера. В сравнении с другими алгоритмами, такими как генетический алгоритм (GA), BAS отличается низкой вычислительной сложностью и требует меньше ресурсов для выполнения [3].

Алгоритм BAS применяется для автоматической настройки параметров PID-контроллера в системах управления электроприводами на базе PMSM. BAS генерирует начальные данные и последовательно корректирует параметры управления для минимизации ошибок. Это позволяет значительно улучшить точность и стабильность системы управления электроприводом наземного электрического транспорта.

В транспортных системах, таких как электромобили или трамваи, использование улучшенного алгоритма BAS в сочетании с нечетким PID-контроллером позволяет достичь высокого уровня управления. Алгоритм BAS оптимизирует начальные параметры PID-контроллера, что дает возможность адаптировать систему к изменяющимся условиям эксплуатации,

а нечеткий контроллер корректирует управление в реальном времени на основе текущих данных. Это особенно важно для транспортных систем, где требования к точности и быстродействию управления высоки.

Такая система управления обеспечивает возможность регулирования отклонений между целевыми и фактическими параметрами, например скоростью и положением двигателя. Алгоритм BAS минимизирует ошибки, а нечеткий контроллер обеспечивает быстрый отклик и устойчивость к внешним помехам.

Комбинация векторного управления, нечеткого PID-контроллера и алгоритма BAS решает множество задач, стоящих перед современными транспортными системами. Этот подход обеспечивает высокую точность управления с адаптацией параметров в реальном времени, быстрое реагирование на изменения внешних условий, устойчивость к помехам, автоматическую оптимизацию без ручной настройки, а также энергоэффективность и надежность работы электроприводов [4].

Современные системы управления электроприводами наземного электрического транспорта требуют использования передовых методов и алгоритмов для обеспечения высокой точности, быстродействия и надежности. Применение векторного управления, нечетких PID-контроллеров и алгоритмов оптимизации, таких как BAS, позволяет создавать системы, которые успешно справляются с проблемами, возникающими при эксплуатации в сложных и изменяющихся условиях. Это особенно важно в электромобилях, трамваях, электробусах и других транспортных системах, где стабильность и эффективность управления играют ключевую роль в обеспечении безопасной и экономичной эксплуатации.

#### Список литературы:

1. Методика определения интегрального показателя надежности разрабатываемой электротехнической системы / Р. С. Литвиненко, А. Э. Аухадеев, Б. И. Сафиуллин и др. // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 1(50). – С. 50-57
2. Подход к определению интегрального показателя надежности технических систем на этапе разработки / Р. С. Литвиненко, А. Э. Аухадеев, А. Н. Хуснутдинов и др. // Вопросы электротехнологии. – 2021. – № 1(30). – С. 52-61.
3. Шайхлисламов И. Р., Корнилов В. Ю. Интеллектуальное управление системой электропривода //Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. – 2022. – С. 235-239.
4. Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления / А.А. Богуславский, Г.К. Боровин, В.А. Карташев и др. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2019. – 228 с.

**VII Международная молодежная научно-практическая  
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

318-4

**24-26 октября 2024 г.**

---

**Информация об авторе:**

Снежинская Ева Сергеевна, магистрант гр. ЭМЖм-1-23, КГЭУ,  
420066 г. Казань ул. Красносельская, д. 51, s.theses@mail.ru