

---

**МОДЕЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

---

**Введение.** Рост вычислительных возможностей систем управления электроприводами сопровождается расширением их функций. Тенденции развития систем управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором свидетельствуют о значительно возросших возможностях аппаратной базы электропривода, в то время как основные затраты приходится не на создание аппаратной части контроллера, а на разработку алгоритмического и программного обеспечения [1].

По мере роста быстродействия микропроцессорной техники основной алгоритм ПИД-управления занимает все меньшую долю процессорного времени, тогда как, например, реализация эффективного цифрового наблюдателя, предполагающего решение в реальном времени системы дифференциальных уравнений, описывающих движение электропривода, может стать основной нагрузкой на процессор или даже потребовать применения отдельного процессора. Т.е. имеем ситуацию, когда вспомогательные задачи «съедают» гораздо больше ресурсов микропроцессора, чем собственно алгоритм формирования управляющей функции.

ПИД-управление, будучи методом, ориентированным изначально на синтез односвязных линейных систем, в более сложных применениях должно быть заменено более совершенным методом, который будет способен легко масштабироваться от односвязных объектов к многосвязным, учитывать все возможные нелинейности и перекрестные связи в структуре объекта, ограничения на переменные состояния и управляющие функции, обеспечивать решение многокритериальных задач оптимизации.

**Постановка задачи исследования.** Целью работы является анализ возможности применения модельного прогнозирующего управления (МПУ) в современных электромеханических системах, где в качестве электромеханического преобразователя чаще всего используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

**Материалы исследования.** Метод МПУ относится к классу методов ограниченного оптимального управления. МПУ – наиболее динамично развивающаяся исследовательская область, где теория поддерживает практику гораздо более явно, чем в большинстве других сфер управления [2]. Одним из наиболее перспективных и бурно развивающихся подходов в решении данной задачи является теория управления с удаляющимся горизонтом прогноза. Достоинствами МПУ являются:

- решение задачи ограниченного оптимального управления независимо от сложности объекта (нелинейный, имеет сложные внутренние связи);
- многокритериальная оптимизация;
- учет текущих и будущих ограничений на переменные состояния и управляющую функцию;
- простое масштабирование принципа построения алгоритма управления с односвязной системы на многосвязную, с линейной на нелинейную;
- реализация наблюдателя состояния на базе той же самой модели, которая используется для прогноза движения объекта;
- реализация наблюдателя внешних возмущений на базе той же самой модели, которая используется для прогноза движения объекта;
- возможность применения как непрерывных, так и разрывных управляющих функций;
- четкая детерминированность алгоритма (в отличие от нейронных сетей), отсутствие необходимости в предварительном обучении.

Существование МПУ составляет схема управления динамическим объектом по принципу обратной связи [3]:

1) динамическая модель управляемого объекта инициализируется фактическими значениями переменных, полученными с помощью датчиков; недоступные для измерения переменные должны быть инициализированы значениями, полученными с помощью наблюдателя состояния;

2) для некоторого возможного набора программ управления выполняется численное интегрирование уравнений модели объекта, что дает прогноз движения объекта на некотором конечном отрезке времени (горизонте прогноза);

3) выбирается «лучшая» программа управления, которая на интервале прогноза обеспечивает минимум выбранного критерия оптимальности среди всех рассматриваемых программ. Оптимизация осуществляется с учетом всего комплекса ограничений, наложенных на управляющие и регулируемые переменные;

4) на шаге вычислений, составляющем фиксированную малую часть горизонта прогноза, реализуется найденное оптимальное управление (применяется управление, соответствующее первому интервалу найденной «лучшей» программы управления);

5) горизонт прогноза сдвигается на шаг вперед, и повторяются пункты 1 - 4 данной последовательности действий.

Благодаря инициализации модели на каждом такте квантования в соответствии с измеряемыми значениями координат объекта, получаем замыкание системы обратной связью по состоянию объекта.

Структурная схема системы с МПУ-регулятором приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема системы с МПУ-регулятором

Предлагаемая структура имеет следующие особенности:

1) многокритериальность оптимизации движения системы на интервале прогноза заключается в задании нескольких критериев оптимизации, минимум которых должно обеспечивать управление на интервале прогноза. Подчиненный принцип управления здесь реализуется путем ранжирования критериев по их приоритету;

2) при выборе структуры МПУ-регулятора проектировщик вправе выбирать, какие координаты объекта будут измеряться при помощи датчиков, а какие могут быть получены в самом МПУ-регуляторе в процессе моделирования движения объекта, выполненного на предыдущем такте квантования (в процессе численного интегрирования уравнений модели объекта значения наблюдаемых переменных запоминаются на интервале прогноза и в следующем такте квантования берутся их значения, полученные для «лучшей» программы управления на момент времени, соответствующий началу нового такта квантования). Таким образом, та же самая модель выполняет функции наблюдателя состояния.

В современной теории автоматического управления наблюдается тенденция перехода от синтеза алгоритмов управления на стадии проектирования системы («offline»-реализация) к синтезу управлений в процессе функционирования («online»-реализация). Синтез управлений в реальном времени получает все большее распространение в связи с постоянным ростом вычислительной мощности микропроцессорных устройств и минимизацией инерционности датчиков.

**Выводы.** Вышеуказанные обстоятельства делают МПУ принципиально возможным для применения в электромеханических системах [4]. Применительно к электромеханическим системам и, в частности, к выбранному объекту управления, можно указать на следующие проблемы, имеющие место при синтезе алгоритма управления, решение которых делает возможной «online»-реализацию алгоритма МПУ: максимальное упрощение прогнозирующей модели для возможности ее быстрого численного интегрирования в режиме реального времени, минимизация горизонтов управления и прогноза, минимизация множества допустимых управлений.

#### Литература.

1. Козаченко В.Ф. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам //Chip News.-1999.-№1(34).-С.2-9.
2. Morari, M. and J.H. Lee “Model Predictive Control: Past, Present and Future,” Computers and Chemical Engineering, 23, 667-682 (1999).
3. Проектирование систем управления / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребен, М.Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
4. Geyer, T. and G. Papafotiou. Direct Torque Control for Induction Motor Drives: A Model Predictive Control Approach based on Feasibility. In Morari, M. and L. Thiele (editors): Hybrid Systems: Computation and Control, volume 3414 of Lecture Notes in Computer Science, pages 274–290. Springer-Verlag, 2005.