

## **ГИБРИДНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

**Гу Пэнхао**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Благодаря способности к вертикальному взлету и посадке, простоте механической конструкции и высокой маневренности, мультироторные БПЛА нашли широкое применение в военной разведке, точном земледелии, логистике и спасательных операциях. Однако данные системы обладают существенно нелинейной динамикой, сильной связанностью каналов и являются недоопределенными. В сочетании с параметрическими возмущениями, внешними ветровыми нагрузками и изменением полезной нагрузки это создает серьезные вызовы при проектировании систем управления.

Традиционные ПИД-регуляторы, благодаря простоте реализации, остаются основным инструментом в промышленности. Однако их параметры обычно настраиваются для конкретных условий эксплуатации. При изменении условий полета или задачи качество управления может значительно ухудшиться, требуя повторной ручной настройки. Для решения этой проблемы в последние годы были предложены различные продвинутые стратегии: скользящие режимы, модельно-прогнозирующее управление, метод обратной задачи и активное подавление возмущений (ADRC).

Метод активного подавления возмущений рассматривает внутреннюю неопределенность модели и внешние возмущения как "обобщенное возмущение", которое оценивается расширенным наблюдателем состояния и компенсируется в обратной связи. Это снижает требования к точности математической модели и обеспечивает высокую робастность. Однако эффективность ADRC критически зависит от настройки параметров наблюдателя и регулятора, которые обычно подбираются эмпирически.

В то же время, экстремальное управление представляет собой метод адаптивного управления, не требующий знания модели. Путем введения пробных сигналов он позволяет в реальном времени искать оптимальные параметры, минимизирующие заданный функционал качества, что открывает новые возможности для автоматической настройки регуляторов.

Основная особенность данного подхода заключается в следующем: 1) предложена гибридная структура, объединяющая способность системы к онлайн-оптимизации с помехоподавляющими свойствами; 2) построена полная динамическая модель квадрокоптера и сделан вывод закона управления; 3) проведено сравнение путем моделирования предложенного метода с традиционными подходами с точки зрения точности слежения и адаптивных свойств.