

**ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА**  
**на диссертационную работу Эден Әлішер Ерболұлы**  
**на тему: «Разработка метода синтеза параметров нелинейной системы управления**  
**ориентацией спутника на основе ее математической модели в линейной форме»,**  
**представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности**  
**8D07105 – «Космическая техника и технологии»**

Научное исследование Эден Әлішер Ерболұлы посвящено разработке аналитического метода синтеза параметров закона управления ориентацией спутника с маховичными исполнительными органами, основанного на использовании линейной формы исходной нелинейной математической модели. Данное направление исследований является приоритетным в области проектирования систем управления космическими аппаратами и наноспутниками, что в значительной мере определяет его научную и практическую значимость в рамках специальности «Космическая техника и технологии» Республики Казахстан.

Актуальность исследования определяется необходимостью разработки аналитического метода синтеза параметров системы управления ориентацией спутников маховичными исполнительными органами, позволяющего установить прямую связь между инерционными характеристиками спутника, параметрами PD-закона управления и исполнительных органов, учитывая одновременно требования устойчивости, оптимальности, формы переходного процесса, быстродействия и физические ограничения исполнительного органа системы управления.

Цель и задачи исследования сформулированы корректно и соответствуют тематике исследования. Подробное описание задач и методов их решения свидетельствует о тщательном планировании исследовательской работы и адекватном использовании современных методов исследования.

В диссертационной работе показано, что одновременное обеспечение требуемой формы и заданного быстродействия системы управления сводится к решению трансцендентных уравнений, которые не имеют аналитического решения. Эта проблема решена на основе разработки метода декомпозиции задачи синтеза на две последовательно решаемые подзадачи: (i) получение оптимальной формы переходного процесса в нормированном времени и (ii) определения масштаба перехода к реальному времени, сохраняя оптимальную форму переходного процесса.

Разработанный метод декомпозиции задачи синтеза на две подзадачи обеспечивает прямую аналитическую связь между инерционными характеристиками спутника, параметрами закона управления и ограничениями исполнительных органов. Это открывает возможности для существенного сокращения сроков, качества и стоимости проектирования системы управления ориентацией спутников.

В качестве критерия оптимальности формы переходного процесса принят максимум степени устойчивости системы управления. Для случая нулевого начального кинетического момента использовано свойство разложимости характеристического полинома усечённой системы на три идентичных множителя второго порядка. Это позволило получить аналитические выражения оптимальных параметров закона управления и избежать неопределённостей и трудоёмкости итерационных методов решения нелинейной системы уравнений.

Разработанный в работе метод синтеза параметров системы управления учитывает инженерные ограничения по максимальным управляющим моментам и угловым скоростям маховиков. Получены соотношения масштабирования максимумов моментов и скоростей при переходе от относительного времени к реальному, на основе чего сформирован алгоритм определения масштаба перехода во времени, гарантирующий выполнение ограничений и согласование оптимальности с физическими пределами приводов.

Диссертация имеет большое практическое значение, так как предложенный метод синтеза параметров закона управления позволяет аналитически, без поиска начальных условий и итерационных процедур, определять параметры регулятора непосредственно на основе инерционных характеристик космического аппарата и физических ограничений двигателей исполнительных органов.

Обширный материал, представленный в работе, а также публикации автора в международных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, в изданиях крупных международных издательств, а также в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, и сборниках международных научно-практических конференций, свидетельствуют о высоком научном уровне и значимости диссертационной работы в академическом сообществе.

В период выполнения диссертационной работы Эден Әлішер Ерболұлы показал хорошую подготовку в области теории автоматического управления, динамики космических аппаратов, математического моделирования и имитационного анализа. Автор уверенно работает с расчетными моделями, умеет связывать аналитические результаты с физическими ограничениями объекта и доводить теоретическую схему до проверки в программной среде моделирования.

Диссертационная работа Эден Әлішера Ерболұлы представляет собой завершённое научное исследование. Полученные результаты имеют научную новизну и практическое значение для разработки систем управления ориентацией спутников. Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а ее автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07105 – «Космическая техника и технологии».

**Научный консультант,  
Главный научный сотрудник  
РГП на ПХВ «Институт механики  
и машиноведения  
им. академика У.А. Джолдасбекова»  
КН МНВО РК,  
доктор технических наук,  
профессор,  
академик НАН РК**

**М.М. Молдабеков**

Подпись *Молдабеков М.М.*  
Заверяю *Аврышев*



*Молдабеков*