

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Демидовой Галины Львовны на тему «Разработка и исследование регуляторов с нечеткой логикой для следящих электроприводов оптико-механических комплексов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в технических системах)»

На отзыв представлены:

– диссертационная работа объемом 210 с, включая 139 рисунков, 30 таблиц, список литературы включает 132 источника, в том числе 60 на иностранном языке;

– автореферат диссертации на 20 с, в котором отражены актуальность темы исследований и степень ее разработанности, цель работы и методы исследования, научная новизна, практическая значимость, степень достоверности научных положений и апробация результатов и кратко изложены результаты исследования и выводы по работе.

Представленный материал по объему и содержанию соответствует требованиям ВАК РФ.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Проблема оптимального управления сложными динамическими системами привлекает внимание ученых и специалистов уже более полувека, оставаясь актуальной в связи с большим разнообразием, возрастающей сложностью и все более жесткими требованиями к показателям качества этих систем. Особое место при этом занимают электромеханические системы комплексов высокоточных наблюдений, которые характеризуются сложностью, уникальностью и наличием целого ряда ограничений на показатели и характеристики систем управления их электроприводов.

К автоматизированным следящим электроприводам (СЭП) опорно-поворотных устройств (ОПУ), составляющих основу оптико-механических комплексов высокоточных наблюдений, предъявляются повышенные требования к уровню их точности, быстродействия и устойчивости. Эти требования могут быть обеспечены в процессе решения задач структурно-параметрического синтеза систем управления электропривода, основанных на достижениях теории интеллектуального управления техническими объектами.

Учитывая вышеизложенное можно заключить, что диссертационная работа Демидовой Г. Л., посвященная разработке и исследованию регуляторов с нечеткой логикой для следящих электроприводов оптико-механических комплексов, безусловно, является актуальной.

### **Научные результаты диссертационного исследования и их новизна**

1) На основе анализа литературных источников проведено исследование основных типов регуляторов систем управления электроприводов и синтезированы регуляторы на основе нечеткой логики для управления СЭП (ОПУ) оптико-механических комплексов (ОМК), исключающие автоколебания при движении на инфранизких скоростях.

2) Показано, что структурой нечеткого регулятора следящего электропривода ОПУ ОКМ для работы во всем диапазоне скоростей движения и при условии исключения «шагового» режима, является структура адаптивного регулятора на основе нечеткой логики (РНЛА).

3) Предложена оригинальная методика оценки частотных характеристик электропривода оптической оси телескопа при замкнутой системе его управления.

3) Разработана база правил и на ее основе синтезирован РНЛА для управления следящим электроприводом ОПУ ОКМ, позволяющий не только исключить автоколебания при движении на инфранизких скоростях, но и обеспечить заданные параметры слежения в широком диапазоне скоростей движения осей ОПУ.

4) Показано, что использованный генетический алгоритм оптимизации коэффициентов РНЛА позволяет получить унифицированный алгоритм настройки данного типа РНЛ.

К результатам работы следует также отнести проведенные экспериментальные исследования на испытательном стенде и полученные на их основе выводы.

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается строгостью используемых математических методов, хорошей сходимостью результатов численных расчетов и моделирования с экспериментальными данными, полученными на макете электромеханического модуля ОПУ, а также апробацией полученных результатов в большом числе публикаций в рецензируемых отечественных и иностранных изданиях, индексируемых SCOPUS, выступлениях на региональных, всероссийских и международных научных конференциях.

## Практическая значимость работы

Заключается в разработке рекомендаций по выбору структуры, алгоритма синтеза нечетких регуляторов, а также их настройки с помощью генетических алгоритмов для построения информационной подсистемы электроприводов оптико-механических комплексов, обеспечивающей высокую точность наведения телескопов в широком диапазоне скоростей слежения, включая инфранизкие скорости, в условиях неопределенности различного характера.

## Общая оценка диссертационной работы

Диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложены решения актуальной научно-технической задачи разработки методик синтеза регуляторов следящих, прецизионных электроприводов опорно-поворотных устройств оптико-механических комплексов на основе интеллектуальных технологий, позволивших обеспечить требуемую точность отработки заданных координат осей этих устройств в условиях внешних воздействий и обеспечить снижение чувствительности системы управления электропривода к вариациям ее параметров в процессе эксплуатации.

В первой главе изложено назначение оптико-механических комплексов телескопов траекторных измерений (ТТИ) и перечислены требования, предъявляемые к СЭП осей ОПУ ОМК для обеспечения заданной точности слежения и наведения. Описываются основные конструктивные особенности оптико-механических комплексов ТТИ, способы расчета и анализа их характеристик, необходимых для построения системы управления СЭП осей ОПУ ОМК.

Во второй главе приведены основные положения теории нечетких множеств, необходимые для синтеза системы управления на их основе. Дана классификация нечетких регуляторов и описываются основные принципы их построения. Рассмотрена универсальная структура блока нечеткой логики, на базе которой строились различные типы РНЛ прямого действия. Осуществлено математическое моделирование работы электропривода с адаптивным регулятором на основе нечеткой логики.

В третьей главе приведена классификация и описаны особенности эволюционных алгоритмов, на основе анализа которых был выбран генетический алгоритм. Вычислены коэффициенты адаптивного регулятора на основе нечеткой логики и выполнено имитационное моделирование позиционной системы с учетом момента сухого трения и ветровой нагрузки при пятикратном изменении суммарного приведенного к валу двигателя момента инерции.

Четвертая глава посвящена проведению и анализу экспериментальных исследований рассматриваемых в работе систем управления на физическом макете азимутальной оси ОПУ испытательного стенда кафедры Электротехники и прецизионных электромеханических систем Университета ИТМО.

Работа написана технически грамотным языком, хорошо оформлена, использован современный математический аппарат. Особо следует выделить полноту и обстоятельность проведенного математического и физического моделирования, которое подтвердило полученные в диссертации результаты и выводы, а также научную квалификацию автора.

Основные результаты и выводы диссертации являются вполне обоснованными и достоверными.

Следует отметить солидную апробацию материалов диссертационного исследования, достаточно большое число публикаций автора и практическую направленность работы.

Автореферат достаточно точно отражает содержание диссертационной работы. Выводы по главам и заключение по работе дают полное представление о научных результатах и практическом применении диссертационных исследований.

### Замечания по работе

- 1) Второй и третий пункты новизны работы следует объединить.
- 2) В главе 1 отмечается, что механическая часть оптико-механического комплекса является сложной многомассовой системой. Вместе с тем, расчетная схема механической части системы без должного обоснования сведена к двухмассовой системе, в которой, к тому же, не учитываются коэффициенты демпфирования (внутреннего вязкого трения). Ссылка на источник (Ключев В. И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 704 с.) неубедительна, поскольку сам автор, а также другие авторы, влияние демпфирующего момента сопротивления стремятся учитывать.
- 3) Для получения коэффициента жесткости  $c_{12}$  автор использует упрощенные формулы (1.11) перехода от многомассовой системы к двухмассовой системе. Вместе с тем, в литературе известны «точные» формулы вычисления параметров эквивалентной расчетной схемы, включая коэффициенты демпфирования.
- 4) Для синтеза параметров регуляторов в случае структуры системы управления с подчиненным регулированием координат рассматриваются лишь стандартные настройки на технический и симметричный оптимум, которые имеют известные недостатки и подвергаются в публикациях последних лет заслуженной критике.

5) При синтезе регуляторов системы управления следящего электропривода рассматриваются лишь динамические показатели и в малой, недостаточной степени, робастность системы. Не учитываются энергетические показатели (такие исследования известны) и показатели параметрической надежности, например, запас работоспособности системы.

6) Из текста диссертации не ясно, каким образом были получены структура четырехконтурной системы управления (рис. 1.26) и численные значения коэффициентов ее обратных связей (с. 49).

7) Заявление о том, что математическая модель двигателя, применительно к решаемой задаче, может быть описана линейной механической характеристикой, неубедительно и вызывает большие сомнения.

8) Из работы не ясно, каким образом учитывается активный, внешний момент сопротивления ветра, имеющий стохастическую природу.

9) Автор диссертации злоупотребляет излишне подробным описанием известных положений, например, п.1.2.2 (с. 33–44), п. 2.1 (с. 65– 86).

10) В работе имеются неточности, отступления от стандарта, орфографические, синтаксические и прочие ошибки.

Неточности, отступления от стандарта:

– дисциплина «Электропривод в современных технологиях» входит в учебный план бакалавров 13.03.02, а не магистров 13.04.02;

– в формуле (1.5) не раскрыты коэффициенты;

– на с. 29 должна быть ссылка не на рис. 1.3, а на рис. 1.9;

– с. 30 первая фраза. Следует писать не «определить», а «определяют»;

– с. 42. Следует писать не системой уравнений (1.33), а (1.38).

– с. 131. В заголовке главы 3 пропущен пробел.

– обозначение коэффициента  $\beta$  (с. 42, 46, 56 и т д) выполнено курсивом, что неверно, а секунды сокращены как «сек», а не «с» и т п.

Опечатки и синтаксические ошибки, например:

– «не снижение» (с. 6), а «снижения». Отсутствуют запятые на с. 35, 42, 57, 58, 59 и др.

Неточные и неправильные фразы:

– «хорошей сходимостью...» (с. 8);

– «значительно уменьшается» (с. с.29) – нет оценки;

– «наиболее оптимальный» (с.53) – принципиально неверно;

– «хорошо известен график» (с. 59) – вызывает большое сомнение;

– «для получения наилучшего качества» (с. 90), аналогично (с. 130);

– «моделирование ... доказало надежность ...» (с. 125).

Сделанные замечания не являются принципиальными, в своем большинстве носят частный характер и не снижают уровень научной значимости и практической полезности результатов работы.

