

**Письменный отзыв официального рецензента
на диссертационную работу Оразалы Еркина Ермаковича**

на тему: «Разработка метода анализа устойчивости нелинейной системы управления ориентацией спутника на основе ее математической модели в линейной форме»,

представленную на соискание степени доктора философии PhD по образовательной программе

«8D07105 – «Космическая техника и технологии»»

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы) 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (Передовое производство, цифровые и космические технологии)	Диссертационная работа относится к направлению космической техники, динамики и автоматического управления космическими аппаратами. Исследование соответствует приоритетному направлению развития науки, связанному с информационными, коммуникационными и космическими технологиями, поскольку направлено на повышение расчетной обоснованности систем управления ориентацией спутников с маховичными исполнительными органами. Работа имеет научно-прикладной характер: полученные условия устойчивости и расчетные области параметров PD-закона управления могут использоваться при проектировании космических аппаратов.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u> /не раскрыта	Диссертационная работа Оразалы Е.Е. вносит существенный вклад в развитие методов анализа устойчивости систем управления ориентацией спутников. Важность исследования раскрыта через проблему нелинейности динамики системы «спутник–маховики», ограничения применения локальной линеаризации и необходимость получения аналитически проверяемых условий устойчивости. Автор предлагает рассматривать исходную нелинейную СУОС через линейную форму с переменными коэффициентами, что расширяет область применения классических методов теории автоматического управления.

3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>Высокий;</u> 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет 	<p>Уровень самостоятельности докторанта оценивается как высокий. Автором выполнены анализ современных методов исследования устойчивости СУОС, построение математической модели, преобразование исходных нелинейных уравнений в линейную форму, исследование асимптотических свойств кинетического момента, вывод условий устойчивости, расчетные проверки по критериям Соколова–Липатова, Гурвица и Михайлова, а также экспериментальная проверка выбранной структуры управления на макетном образце СУОС.</p>
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>Обоснована;</u> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована. <p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>Отражает;</u> 2) Частично отражает; 3) Не отражает <p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>соответствуют;</u> 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют <p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует <p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 	<p>Актуальность диссертации обоснована. Содержание работы отражает заявленную тему: первая глава формирует постановку задачи через обзор методов анализа устойчивости СУОС; вторая глава содержит математическую модель, линейную форму исходной нелинейной системы и необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости; третья глава посвящена построению областей устойчивости и расчетной проверке результатов; четвертая глава подтверждает работоспособность структуры управления экспериментально. Цель и задачи соответствуют теме, разделы логически связаны, критический анализ известных подходов выполнен не формально, а через сопоставление локальных, нелинейных и коэффициентных методов анализа.</p>

		3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов	
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p> <p>5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p> <p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые</u>; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Научные результаты и положения диссертации являются новыми. Новизна состоит в представлении нелинейной динамики СУОС с маховиками в линейной форме с переменными коэффициентами при сохранении связи с исходными уравнениями движения, в использовании асимптотических свойств кинетического момента для построения предельной линейной системы, а также в получении условий устойчивости в пространстве параметров PD-закона управления. Выводы диссертации являются новыми и основаны на собственных расчетных и экспериментальных результатах. Технические решения, связанные с макетным образцом СУОС и методикой испытаний, являются частично новыми и обоснованными.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>	<p>Основные выводы диссертационной работы основаны на весомых научных доказательствах. Они вытекают из математической модели вращательного движения, кватернионной кинематики, анализа кинетического момента, характеристического полинома предельной системы и проверки устойчивости несколькими независимыми критериями. Расчетные результаты сопоставлены с численными решениями нелинейной и линейной систем, а практическая работоспособность выбранной структуры системы управления подтверждена испытаниями по каналам yaw, roll и pitch, включая режим внешнего возмущающего воздействия.</p>
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u>; 2) скорее доказано;</p>	<p>Положение 1 о представлении исходной нелинейной системы СУОС в линейной форме доказано, не является тривиальным, является новым, имеет широкий уровень применения и подтверждено публикациями по теме исследования.</p>

		<p>3) скорее не доказано; 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u></p> <p>7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u>; 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u></p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) нет</p>	<p>Положение 2 о методе анализа устойчивости на основе линейной формы доказано, не является тривиальным, является новым, имеет широкий уровень применения и доказано в статьях.</p> <p>Положение 3 о коэффициентном методе определения области устойчивости с учетом начального кинетического момента доказано расчетами, не является тривиальным, является новым, имеет средний и широкий уровень применения для СУОС с маховиками и подтверждено публикациями.</p> <p>Положение 4 о численном и экспериментальном подтверждении работоспособности подхода доказано, не является тривиальным, является новым в рамках выполненной реализации, имеет практический уровень применения и отражено в результатах диссертации.</p>
8.	<p>Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u>; 2) нет</p> <p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u>; 2) нет</p> <p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим</p>	<p>Методология исследования обоснована и подробно описана. Результаты получены с использованием современных методов динамики твердого тела, теории автоматического управления, кватернионного описания ориентации, численного моделирования и компьютерной обработки экспериментальных данных. Теоретические выводы и выявленные закономерности подтверждены расчетами и экспериментами на макетном образце СУОС. Важные утверждения подкреплены актуальной научной литературой; литературный обзор достаточен и охватывает современные подходы к нелинейному, робастному, оптимальному и коэффициентному анализу систем ориентации.</p>

		<p>наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p><u>1) да;</u> 2) нет</p> <p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены</u> ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p> <p>8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны/не достаточны</u> для литературного обзора</p>	
9.	Принцип практической ценности	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p><u>1) да;</u> 2) нет</p> <p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:</p> <p><u>1) да;</u> 2) нет</p> <p>9.3 Предложения для практики являются новыми?</p> <p>1) полностью новые; 2) <u>частично новые</u> (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Диссертация имеет теоретическое значение, поскольку развивает аналитический аппарат исследования устойчивости нелинейной СУОС через линейную форму с переменными коэффициентами.</p> <p>Практическое значение состоит в возможности использования полученных условий при предварительном выборе коэффициентов PD-регулятора, анализе влияния начального кинетического момента, настройке систем ориентации космических аппаратов и подготовке лабораторных испытаний.</p> <p>Предложения для практики являются частично новыми и имеют высокую вероятность применения в задачах проектирования спутников.</p>
10.	Качество написания и оформления	<p>Качество академического письма:</p> <p><u>1) высокое;</u> 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.</p>	<p>Качество академического письма оценивается как высокое. Диссертация написана в научно-техническом стиле, материал изложен последовательно, терминология в основном выдержана, формулы, таблицы и рисунки встроены в логику доказательства. Оформление соответствует характеру диссертационной работы по техническому</p>

			направлению, существенных замечаний к структуре и представлению результатов нет.
11.	Замечания к диссертации		<p>1. В главе 3 заявлено построение областей устойчивости системы управления ориентацией спутника с маховиками. Однако представленные графические результаты, по-видимому, демонстрируют применение отдельных критериев устойчивости или поведение системы при фиксированных параметрах, но не показывают собственно области устойчивости. Под областью устойчивости в данном случае следовало бы понимать множество значений параметров регулятора или системы, при которых все корни характеристического уравнения имеют отрицательные действительные части. Поэтому целесообразно представить графики в плоскости выбранных параметров, например $K_p - K_d$, $a_1 - a_0$ или $\theta_0 - \omega_0$, с явным выделением устойчивой и неустойчивой областей, а также с указанием граничных кривых перехода через потерю устойчивости.</p> <p>2. Поскольку в работе указан конкретный исполнительный узел на базе двигателя Nidec 24H, параметры численной модели должны быть связаны с реальными характеристиками этого двигателя и инерционного диска. В противном случае значения J_m, d и p выглядят произвольно заданными. Это особенно важно, поскольку устойчивость и качество управления системой ориентации с маховиками зависят от момента инерции маховика, максимального момента двигателя, скорости насыщения, трения и динамики драйвера. Авторам следует либо обосновать выбор указанных параметров, либо провести идентификацию реальных параметров маховичных узлов. Использовать условные параметры можно для теоретического примера. Но если работа заявляет конкретный полунатурный экспериментальный образец с Nidec 24H, то модель должна быть параметризована реальными данными двигателя, диска и драйвера. Иначе численные эксперименты не подтверждают работоспособность реального макета.</p> <p>Вышеуказанные замечания не являются принципиальными и не влияют на положительную оценку диссертационной работы.</p>
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты)		Работа представлена в виде диссертации

