

## **Исследование эффективности алгоритмов наведения и стабилизации системы управления ракетно-космического комплекса «Старт-1»**

**Аминова Ф.Э.**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*e-mail: fatima.e.aminova@gmail.com*

***Статья поступила 01.07.2019***

### **Аннотация**

Исследование посвящено оптимизации процесса тестирования алгоритмов информационно-управляющих систем сложного объекта – на примере алгоритмов наведения и стабилизации информационно-управляющей системы бортового комплекса системы управления легкой ракеты-носителя семейства «Старт». Актуальность и новизна исследования состоит в том, что впервые применяются международные стандарты по тестированию, ранее не использовавшиеся в аэрокосмической отрасли. С этой целью проведен анализ международных и российских стандартов по тестированию программного обеспечения и экспериментальная отработка модели тестирования на алгоритмах наведения и стабилизации, результаты которых позволили прийти к выводу: внедрение рекомендаций по тестированию является актуальным и подтверждает практическую значимость.

**Ключевые слова:** алгоритмы наведения, алгоритмы стабилизации, тестирование ПО, информационные системы, оценка качества ПО, российские стандарты, международные стандарты, ГОСТы, ISO, МЭК.

По мере развития процессов разработки информационно-управляющих систем и их программных реализаций в соответствии с усложняющимися со временем новыми требованиями увеличения эффективности, надежности, безопасности, и оптимизации процесса разработки происходит исследование и разработка теоретических основ и накопление огромного практического опыта в этой области.

При этом, любое новшество или коррекция ошибки на каждом последующем этапе во много раз увеличивают стоимость и сроки получения программного продукта из-за вовлечения в процесс производства все большего количества специалистов, оборудования и усложнения самого объекта исследований.

Разрабатываются новые алгоритмы, модели, создаются принципы и стандарты, совершенствуются рекомендации и методологии, модифицируются специализированные программные продукты и их нотации [1-3].

Проблема выбора методологии разработки программного обеспечения является предметом исследования специалистов в сфере проектного управления, анализа, информационных технологий, методологии и многих других [4-8].

Каждому из аспектов, отражающих компоненты процесса разработки информационно-управляющих систем и их программных реализаций посвящено большое количество исследовательских работ. Несколько меньше работ, которые отражают исследования и сравнительный анализ самих компонентов процессов

разработки информационно-управляющих систем и их программных реализаций. И совсем незначительно исследована проблема оптимального сочетания имеющихся компонентов процессов разработки информационно-управляющих систем и их программных реализаций.

Процесс разработки информационно-управляющей системы актуализирует участников проектирования и разработки в виде комплекса, состоящего из соответствующих специалистов их компетенций и средств разработки.

На принятие решений разработчиков воздействует большое количество требований к методикам реализации, CASE-средств и стандартов программного обеспечения. Эффективность разработки информационно-управляющей системы и надежность соответствующего программного обеспечения, зависит не от технологии разработки программного обеспечения, а от сложившейся практики, либо опыта и квалификации участников проекта.

Актуальность темы исследования обусловлена значительным распространением исследуемого явления и заключается в необходимости разработки рекомендаций по совершенствованию работы в рассматриваемой области. [9,10]

Научная новизна работы заключается в том, что впервые применяются международные стандарты по тестированию, ранее не использовавшиеся в аэрокосмической отрасли.

Практическая значимость исследования заключается в применении подходов по совершенствованию процессов тестирования алгоритмов наведения ракетно-

космического комплекса на базе международных стандартов, не применяемых ранее в аэрокосмической отрасли.

Проблема исследования - эффективность разработки информационно-управляющей системы и надежность соответствующего программного обеспечения, зависит от сложившейся практики, либо опыта и квалификации участников проекта. Исследуемая проблема выражает основное противоречие - актуализирует факт несоответствия накопленного практического опыта и сложности выбора оптимального сочетания имеющихся компонентов процессов разработки информационно-управляющих систем и их программных реализаций.

Объектом исследования являются информационно-управляющие системы, в качестве примера рассматривается система управления бортового комплекса системы управления легкой ракеты-носителя семейства «Старт».

Предметом исследования являются оптимизация процесса тестирования алгоритмов информационной управляющей системы сложными организационно-техническими объектами - на примере тестирования алгоритмов наведения и стабилизации ракетно-космического комплекса «Старт-1».

Целью исследования является получение ожидаемого конечного результата исследования, предполагающего разрешение заявленного противоречия путем разработки модели тестирования и рекомендаций по проведению тестовых испытаний.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Анализ российских и международных стандартов, определяющих процесс тестирования

2. Анализ международных стандартов, не имеющих соответствия среди российских стандартов, выбор метода и инструментального средства для моделирования процесса тестирования ИУС.

3. Построение модели процесса тестирования ИУС и разработка рекомендаций по проведению тестовых испытаний.

4. Применение модели тестирования и рекомендаций по проведению тестовых испытаний к алгоритмам наведения и стабилизации.

Гипотеза исследования – создание и применение рекомендаций по тестированию, основанных на международных стандартах, позволит повысить управляемость процесса тестирования ИУС.

Методологической основой исследования являются теория систем, системный и процессный анализ.

В ходе написания работы были использованы следующие методы исследования: общенаучные (анализ, синтез, индукция, дедукция, аналогия, восхождение от абстрактного к конкретному и наоборот), специальные методы (логический, сравнительный, системный и процессный анализ, моделирование), а также экспериментальные методы.

В качестве инструментальных средств использовались программы: ВРwin, Erwin Process Modeler (CASE-средства для моделирования процессов на основе стандартов описания процессов IDEF0 (функциональная модель)), РТС Mathcad 15 (система компьютерной алгебры класса систем автоматизированного

проектирования), пакет MATLAB (пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и моделирования).

Одной из особенностей развития процессов разработки (включая процесс тестирования), является развитие проблематики выбора методологии разработки информационно-управляющих систем и их программных реализаций, аспектов, отражающих компоненты процесса разработки и оптимального сочетания имеющихся компонентов процессов разработки, служащей отправным источником или мерой оценки оптимальности процессов разработки информационно-управляющих систем и их программных реализаций. Проблема оптимизации процессов разработки информационно-управляющих систем находится в ряду актуальных проблем, решение которых представляется сложной теоретической и методологической задачей. Анализ имеющихся концепций показывает, что при решении этой задачи исследователи сталкиваются с трудностями, проистекающими из сложности изучаемого предмета, что, конечно, не может являться непреодолимым препятствием на пути исследований, требующих для своего объяснения новых подходов, актуализирующих текущие практики разработки. Работы, посвященные рассматриваемой проблеме разнообразны [11-14]. Отличия в направленности того или иного исследования обуславливаются характером поставленных задач и аспектами рассмотрения, методами и применяемым для этого инструментарием. Заявленная тема исследования предполагает освещение аспектов, связанных с разрабатываемыми в научной литературе тематическими направлениями, выражаемыми в понятиях: стандарты качества, стандарты

тестирования, рекомендации к тестированию, а также выявление особенностей соотношения вышеуказанных тематических направлений друг с другом. [15-18]

Процесс тестирования должен быть верифицирован на предмет соответствия российским и международным стандартам (Таблица 1), а также своду знаний SWEBOOK (часть 4).

Применение ИСО, МЭК, МСЭ обязательно для стран-участниц, тем не менее, использование стандартов широко распространено в мире так как, позволяет снять технические ограничения в торговле, и используется как основа национальных технических регламентов.

ГОСТы Р обязательны к использованию всеми предприятиями РФ, утверждаются Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. [19]

Проанализируем соответствие международных и российских стандартов, охватывающих процесс тестирования, представленное в таблице 1 [20-35].

Международный стандарт	Российский стандарт	Рассматривая область	Различия
IEEE 829-1998 Standard for Software Test Documentation	-	Определяет требования к документации, разрабатываемой для тестирования программного обеспечения.	Аналог среди российских стандартов отсутствует. Стандарт представлен только на английском языке.
ISO/IEC 25010:2011 (пересматривается – будет заменен разрабатываемым и ISO/IEC CD 25010-1, ISO/IEC CD 25010-2, ISO/IEC CD 25010-3)	ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93	Модели качества систем и программного обеспечения.	Российский аналог хоть и является действующим в России, устарел. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 является переводом международного стандарта ISO/IEC 9126-91 1991 года.

Международный стандарт	Российский стандарт	Рассматривая область	Различия
ISO/IEC 25022:2016	-	Измерение качества использования.	Пришел на смену ISO/IEC TR 9126-4:2004
ISO/IEC 25023:2016	-	Измерение качества системы и программного продукта.	Пришел на смену ISO/IEC TR 9126-2:2003, ISO/IEC TR 9126-3:2003
ISO/IEC 25000:2014	ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021-2014	Гид по оценке систем и программного обеспечения.	
ISO/IEC/IEEE 29119-3:2013	ГОСТ Р 56922-2016	Требования к документации.	

Международный стандарт	Российский стандарт	Рассматривая область	Различия
ISO/IEC/IEEE 29119-1:2013	ГОСТ Р 56920-2016	Понятия и определения процесса тестирования программного обеспечения	Отсутствуют. ГОСТ является переводом международного стандарта.
ISO / IEC 12207:2008	ГОСТ Р ИСО / МЭК 12207-2010		Отсутствуют. ГОСТ является переводом международного стандарта.

Т  
аблиц  
а 1 –  
Сопос  
тавлен  
ие  
между  
народ  
ных и  
росси  
йских  
станда

ртов по тестированию

Рассмотрим требования стандарта IEEE 829-1998 Standard for Software Test Documentation.

Процесс тестирования включает в себя разработку плана тестовых испытаний, разработку спецификации тестовых испытаний, подготовку отчета о проведенных испытаниях (рисунок 1).

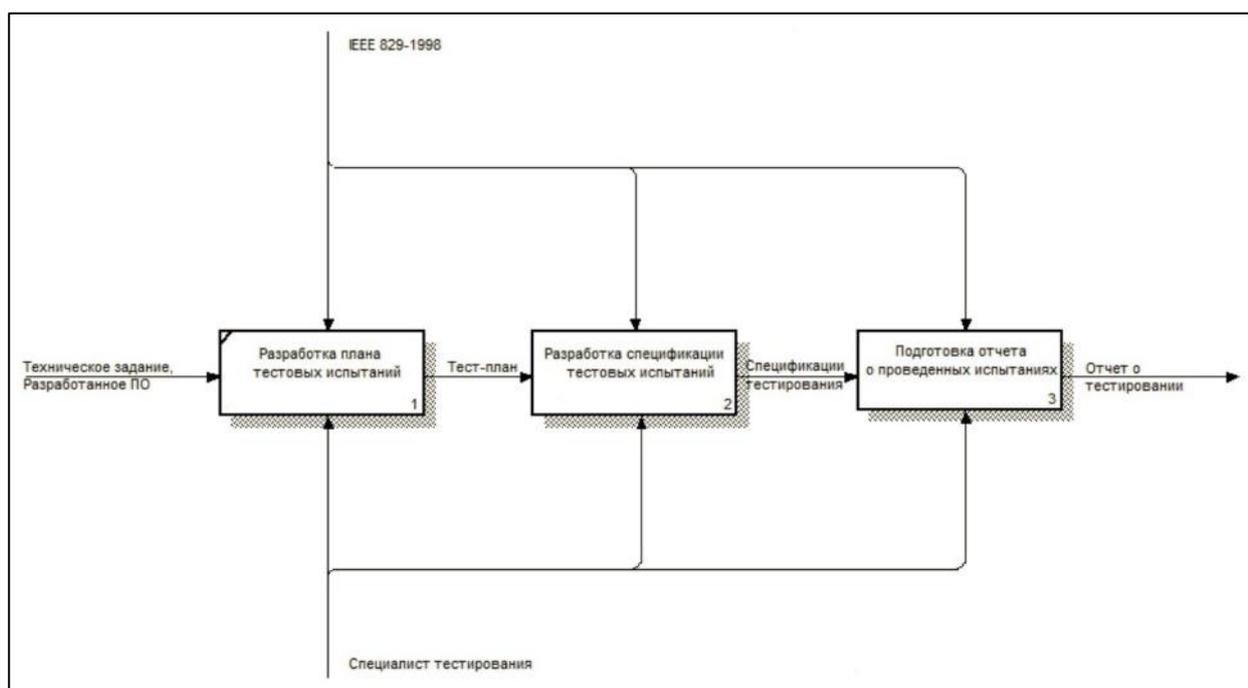


Рисунок 1 – Комплекс мероприятий по тестированию

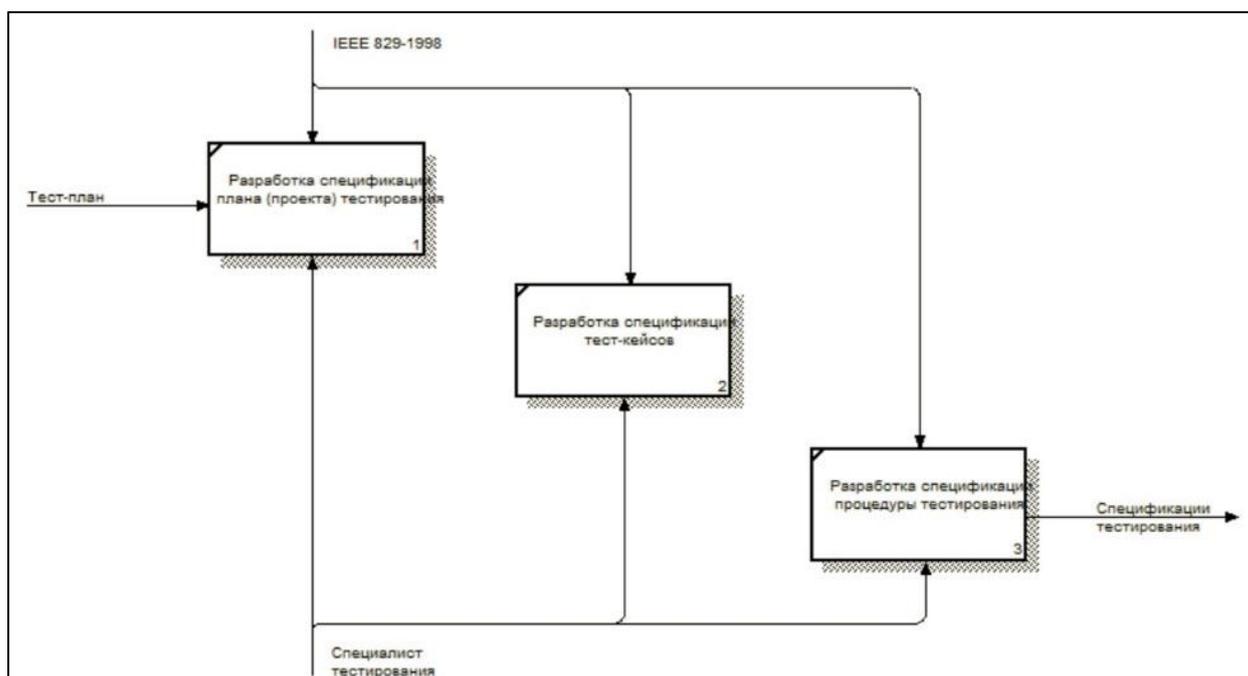
План испытаний должен иметь следующую структуру:

- уникальный идентификатор плана испытаний;
- введение (описание тестируемых элементов и функций ПО).

Ссылки на документацию по открытию проекта, план проекта, план обеспечения качества, план управления конфигурацией, соответствующие политики и стандарты, при наличии, приводятся в плане тестирования самого высокого уровня);

- тестовые задания;
- характеристики, подлежащие проверке;
- особенности, которые не должны быть проверены;
- подход;
- критерии прохождения / отказа изделия;
- критерии приостановки и требования возобновления;

- тестовые результаты;



тестовые задания;

- экологические потребности;
- обязанности;
- кадровые и учебные потребности;
- расписание;
- риски и непредвиденные обстоятельства;
- допущения.

Если часть или все содержимое раздела описывается в другом документе, то должна быть указана ссылка на указанный документ. Ссылочный материал должен быть прикреплен к плану тестирования или доступен для пользователей плана. В многоуровневых планах тестирования каждый план более низкого уровня должен ссылаться на следующий план более высокого уровня.

### Спецификация тестовых испытаний

## Рисунок 2 – Разработка спецификации тестовых испытаний

Спецификация тестовых испытаний покрывается 3 типами документов:

- спецификация проекта тестирования, уточняет подход к тестированию и определяет особенности, которые должны быть охвачены тестированием и связанными с ним испытаниями. В спецификации также указываются тест-кейсы и процедуры тестирования, при наличии, необходимые для выполнения тестирования, и указаны критерии приемки тест-кейсов (прохождения / не прохождения тест-кейса).

- спецификация тест-кейсов, в документе фиксируются фактические значения, используемые для ввода и ожидаемые результаты. В рамках тест-кейсов определяются ограничения на тестовые процедуры, возникающие в результате использования этого конкретного тест-кейса. Тестовые наборы отделены от тестовых проектов, что позволяет использовать их более чем в одном проекте и позволяет повторно использовать их в других ситуациях.

- спецификация процедуры тестирования определяет все этапы, необходимые для работы ПО и выполнения указанных тест-кейсов, чтобы реализовать соответствующий проект тестирования. Процедуры испытаний отделены от спецификаций проекта испытаний, так как они предназначены для пошагового выполнения и не должны содержать посторонних деталей.

После подготовки спецификаций тестовых испытаний специалист тестирования приступает к выполнению тестирования.

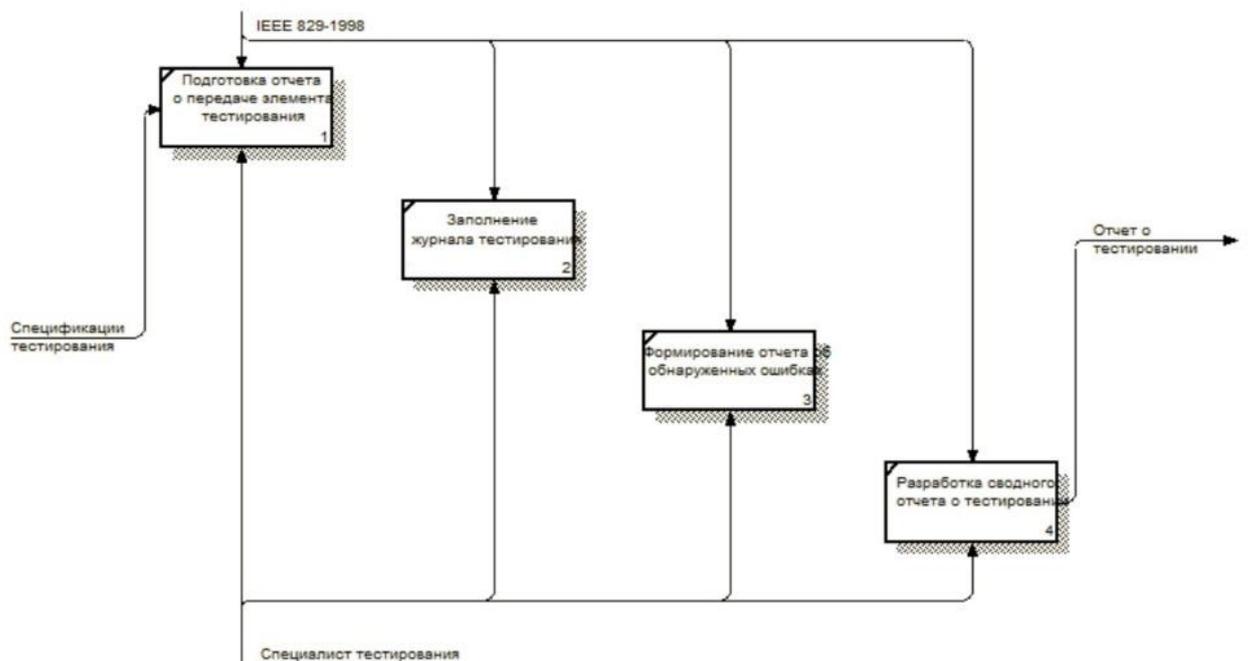
Результатом тестирования является отчет о проведенных испытаниях.

Рисунок 3 – Подготовка отчета о проведенных испытаниях.

Отчет о проведенных испытаниях покрывается 4 типами документов (рисунок 3):

- Отчет о передаче предмета (элемента) тестирования, идентифицирует предметы (элементы) тестирования, передаваемые для тестирования, если участвуют отдельные группы разработчиков и тестовые группы или если требуется формальное начало выполнения теста.

- Журнал тестирования, документ, используемый для записи событий,



произошедших при выполнении теста.

- Отчет об ошибках, обнаруженных в процессе тестирования, фиксирует любое событие, требующее дальнейшего расследования и корректировки на этапе анализа / разработки / тестирования.

- Сводный отчет о тестировании отражает агрегированную информацию о действиях по тестированию, связанных с одной или несколькими спецификациями проекта тестирования.

Рассмотрим применение рекомендаций по тестированию для алгоритмов стабилизации.

На рисунке 4 представлена структурная схема алгоритмов угловой стабилизации ракетно-космического комплекса «Старт-1» с традиционным алгоритмом стабилизации [36].

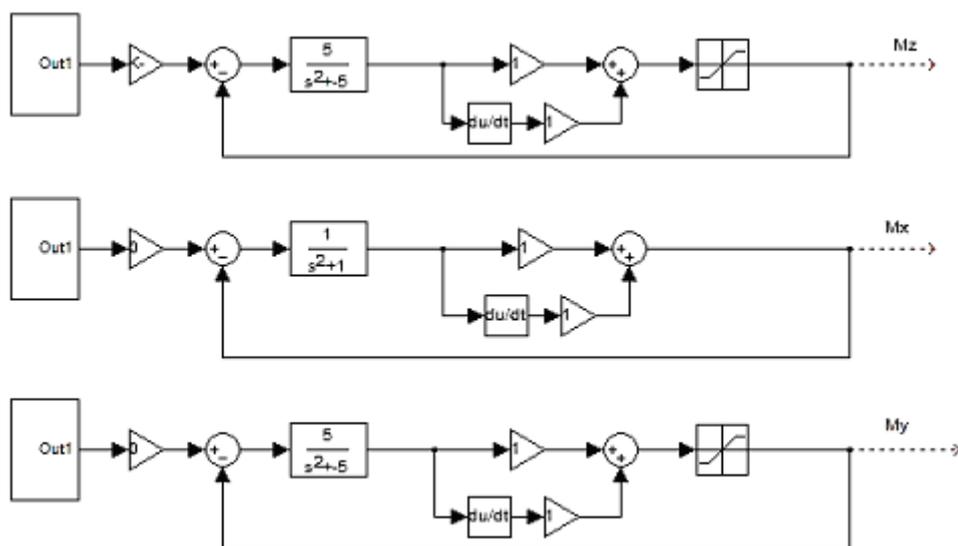


Рисунок 4 – Структурная схема угловой стабилизации с традиционным алгоритмом стабилизации

Переходный процесс, построенный на основе данной структурной схемы приведен на рисунке 5.

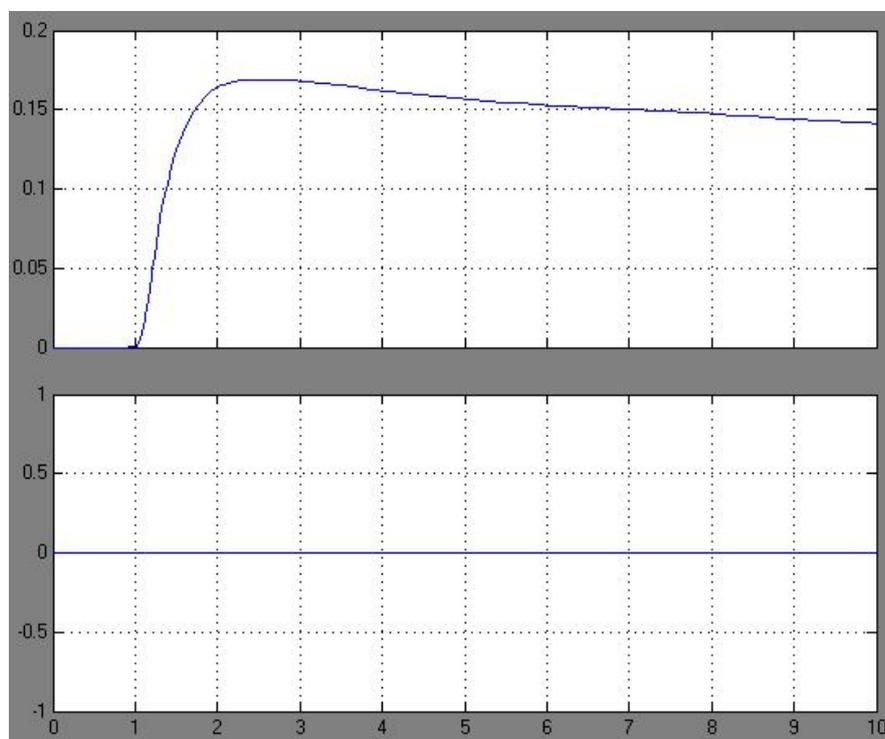


Рисунок 5 – График моментов угла тангажа и угла вращения, создаваемых рулями при воздействии на ракету возмущений

При воздействии на ракету градиентных возмущений система угловой стабилизации с традиционным алгоритмом стабилизации может стать неустойчивой из-за наличия ограничения типа насыщение в рулевой машине, что приводит к ограничению создания управляющего момента по каналу тангажа

При малом значении времени действия градиентных возмущений система стабилизации может находиться на границе устойчивости из-за ограничения управляющего момента, создаваемого по каналу тангажа.

При больших градиентных возмущениях система угловой стабилизации с традиционным алгоритмом стабилизации становится неустойчивой так как рули канала тангажа ложатся на упоры, ограничивая тем самым создаваемый управляющий момент по каналу тангажа.

В результате тестирования были усовершенствованы алгоритмы стабилизации путем включения в алгоритм наведения дополнительного члена, обеспечивающего повышение качества переходного процесса.

Использование подобного подхода позволило улучшить структурную схему системы стабилизации (приведена на рисунке 3) и как подтверждение получить соответствующие значения переходных процессов (рисунок 4).

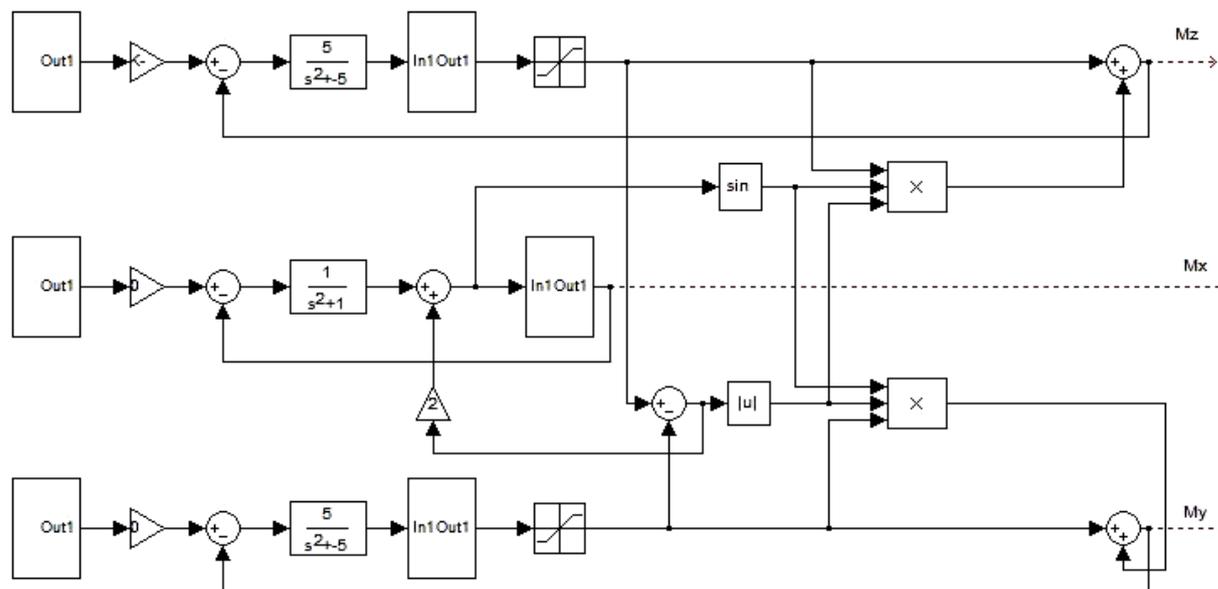
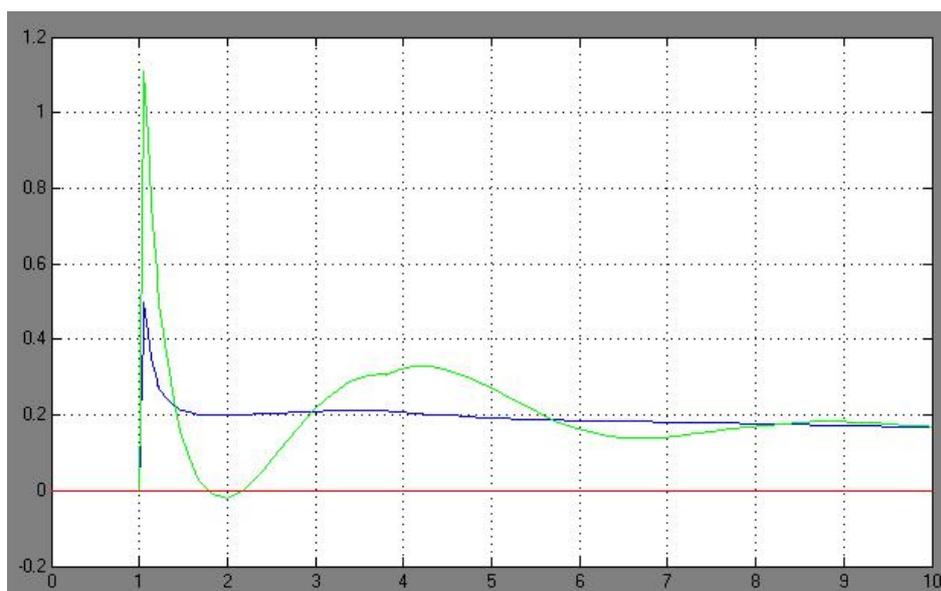


Рисунок 3 – Схема моделирования алгоритма системы угловой стабилизации повышенной устойчивости



Рисунок

4

График момента угла тангажа и рыскания, создаваемого рулями системы угловой стабилизации

Также было проведено тестирование алгоритмов наведения и получены усовершенствованные алгоритмы наведения.

Таким образом, выполнено моделирование динамики алгоритмов стабилизации и наведения, а также моделирование динамики указанных алгоритмов с учетом рекомендаций по тестированию. Проведенное моделирование показало, что при применении рекомендаций по тестированию время регулирования относительно динамики ракеты-носителя с традиционной схемой стабилизации сокращается на 10 %, время перерегулирования - на 5 %. Процедура тестирования сложных алгоритмов, связанных с ракетно-космической техникой, позволяет добиться требуемого качества процесса управления.

Для достижения цели исследования были решены следующие задачи:

1. Проанализированы российские и международные стандарты, определяющие процесс тестирования

2. Выполнено исследование международных стандартов, не имеющих соответствия среди российских стандартов, выбраны методы и инструментальные средства для моделирования процесса тестирования ИУС.

3. Построена модель процесса тестирования ИУС и разработаны рекомендации по проведению тестовых испытаний.

4. Модель тестирования и рекомендаций по проведению тестовых испытаний применены к алгоритмам наведения и стабилизации.

В результате исследования:

1. Получена модель тестирования, разработаны шаблоны документации по проведению тестовых испытаний.

2. Шаблоны применены к алгоритмам наведения и стабилизации системы управления ракеты-носителя «Старт-1».

3. Применение рекомендаций по проведению тестовых испытаний подтвердило, что система управления ракеты-носителя «Старт-1» обладает всеми заявленными характеристиками:

- время регулирования сокращено на 10 %;
- время перерегулирования сокращено на 5 %.

В ходе проведенного исследования сделаны выводы:

1. В сфере проектирования информационно-управляющих систем отсутствует система общепринятых принципов:

- построения информационно-управляющих систем, учитывающих предметную деятельность, цели, динамику развития организации и архитектуру приложений и используемого программного обеспечения;

- разработки программных реализаций информационно-управляющих систем, что представляет на практике определенные риски по эффективности разработки информационно-управляющих систем и надежности программных реализаций информационно-управляющих систем.

2. На принятие решений разработчиков ИУС воздействует большое количество требований к методикам реализации, CASE-средств и стандартов программного обеспечения. Риски по эффективности разработки ИУС и надежности соответствующего ПО зависят в меньшей степени от технологии разработки ИУС, и в большей степени – от опыта и квалификации специалистов.

3. В результате анализа российских и международных стандартов по проведению тестовых испытаний, определены ключевые аспекты тестирования модели информационно-управляющей системы:

- процесс тестирования информационно-управляющих систем должен быть верифицирован с актуальными стандартами и сводами знаний, охватывающими область тестирования;

- требования к тестированию модели информационно-управляющей системы должны сочетаться с требованиями к проектированию и программному продукту информационно-управляющей системы;

- включение в процесс тестирования информационно-управляющей системы рекомендации, основанных на международных стандартах по тестированию, ранее не учитываемых в государственных стандартах, отвечает запросам оптимизации процесса тестирования и улучшения характеристик информационно-управляющей системы.

4. Разработка моделей наведения и стабилизации и введение в алгоритмы наведения и стабилизации дополнительного члена, отражающего рекомендации по тестированию, позволили:

- обеспечивать ожидаемые характеристики переходных процессов;

5. Проведенный анализ позволяет вывести следующие ключевые показатели:

- время регулирования сокращено на 10 %;

- время перерегулирования сокращено на 5 %.

Таким образом, внедрение рекомендаций по тестированию является актуальным и подтверждает практическую значимость.

Оптимизация алгоритмов наведения и стабилизации за счет изменения процесса тестирования отражает потенциал исследований в данной области. В связи с не проработанностью исследований не только в части этапа тестирования жизненного цикла разработки информационно-управляющих систем, но и в части этапов анализа, разработки и сопровождения, особый интерес представляют исследования всех этапов жизненного цикла информационно-управляющей системы. Перспективным представляется разработка многофакторной модели управления процессом разработки [37] и включение рекомендаций по повышению показателей качества системы управления ракетно-космического комплекса «Старт-1».

### **Библиографический список**

1. Bruno G. Business process models and entity life cycles // International Journal of Information Systems and Project Management, 2019, vol. 7, no. 3, pp.65 - 77.
2. Juhani Otra-Aho V., Iden J., Hallikas J. The Impact of the Project Management Office Roles to Organizational Value Contribution // International Journal of Information Technology Project Management, 2019, vol. 10, no 4, pp. 79 – 99.
3. Hornstein H.A. The integration of project management and organizational change management is now a necessity // International Journal of Project Managemen, 2015, vol. 33, no. 2, pp.291 - 298. DOI: 10.1016/j.ijproman.2014.08.005

4. Fernandes G., Ward S., Araújo M. Identifying useful project management practices: A mixed methodology approach // International Journal of Information Systems and Project Management, 2013, vol. 1, no. 4, pp. 5 - 21. DOI: 10.12821/ijispm010401
5. Khodadadi E., Aghabeigi M. A Novel Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy DEMATEL, ANP, and Fuzzy VIKOR for Selecting the Best Project Managers // International Journal of Information Technology Project Management, 2018, vol. 9, no. 2, pp. 38 - 64. DOI: [10.4018/IJITPM.2018040103](https://doi.org/10.4018/IJITPM.2018040103)
6. Damasiotis V., Fitsilis P., O'Kane J.F., Modeling Software Development Process Complexity // International Journal of Information Technology Project Management, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 17 - 40.
7. Hani S.U., Alam A.T. Software Development for Information System - Achieving Optimum Quality with Security // International Journal of Information System Modeling and Design, 2017, vol. 8, no. 4, pp. 1 - 20. DOI:10.4018/IJISMD.2017100101
8. Nyarirangwe M., Babatunde O.K. Megaproject complexity attributes and competences: lessons from IT and construction projects // International Journal of Project Management, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 77 - 99.
9. Аминова Ф.Э. Системное исследование методологий разработки программного обеспечения // VII Всероссийская научно-практическая конференция «Современное непрерывное образование и инновационное развитие»: сборник трудов (Серпухов, 13 апреля 2017). - Серпухов, МОУ «ИИФ», 2017. - 1056 с.
10. Зайцев А.В. Методический аппарат подготовки специалистов в области робототехнических комплексов // 15-ая Всероссийская научно-техническая

конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». (Москва, 14 марта 2017): тезисы докладов. — М.: ФГБОУ ВО МГППУ, 2017. — С. 22. URL: <http://www.permai.ru/files/16.04.2017.pdf>

11. Геращенко Н.Н. Некоторые методические подходы к управлению ресурсными бизнес-процессами предприятия авиакосмической промышленности // Труды МАИ. 2006. № 23. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=34089>

12. Виноградов А.В., Борукаева А.О., Бердиков П.Г. Математическая модель движения баллистического летательного аппарата и алгоритмов расчета номинальных и возмущенных параметров движения баллистического летательного аппарата // Труды МАИ. 2019. № 109. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=111430>. DOI: [10.34759/trd-2019-109-25](https://doi.org/10.34759/trd-2019-109-25)

13. Поляков А.А., Защирицкий С.А. Использование виртуального пространства для проведения макетно-конструкторских испытаний по электронному макету космического аппарата // Труды МАИ. 2019. № 107. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=107877>

14. Бадалов А.Ю., Разумов Д.А. Методика моделирования в жизненном цикле большой автоматизированной системы космодрома уровня Smart City // Труды МАИ. 2019. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93491>

15. Аминова Ф.Э. Analysis of management methodologies for development of information and management systems and related software implementations // Нобелевский конгресс – 11 Международная встреча-конференция лауреатов Нобелевских премий и нобелистов (Тамбов, 24-28 октября 2017): сборник трудов №

6. – Тамбов: Изд-во Международного Информационного Нобелевского Центра «Нобелистика», 2017. С. 505 – 508.

16. Аминова Ф.Э. Модель управления процессом разработки интеллектуальной информационно-управляющей системы // 17-ая Всероссийская научно-техническая конференция «Нейрокомпьютеры и их применение» (Москва, 19 марта 2019): тезисы докладов. - М.: МГППУ, 2019. С. 113 – 114.

17. Зайцев А.В., Лупанчук В.Ю., Аминова Ф.Э. Информационные процессы в задачах навигации подвижного кластера сложных технических систем // Информационные системы и процессы: сборник статей. – Тамбов: Изд-во Международного Информационного Нобелевского Центра «Нобелистика», 2018. С. 28 – 37.

18. Аминова Ф.Э. Управление процессом разработки модели информационно-управляющей системы // XLIV Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения – 2018» (Москва-Байконур-Ахтубинск, 17-20 апреля 2018): тезисы докладов. - М.: Изд-во МАИ, 2018. Т. 2. С. 194.

19. Аминова Ф.Э. Анализ российских и международных стандартов по проектированию информационно-управляющих систем и разработке программного обеспечения // XXXVI Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» (Серпухов, 29 - 30 июня 2017): сборник трудов. Ч. 2. - Серпухов: Изд-во Военной академии РВСН имени Петра Великого, 2017, С. 186 – 190.

20. 829-1998 - IEEE Standard for Software Test Documentation, Montreal, available at:

<https://standards.ieee.org/standard/829-1998.html>

21. ISO/IEC JTC 1 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirement and Evaluation. System and software quality models. Montreal, available at: <https://www.iso.org/standard/35733.html>

22. Информационные технологии. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. - М: Стандартиформ, 1994. - 12 с.

23. ISO/IEC JTC 1 9126-91. Software engineering. Product Quality. Montreal, available at: <https://www.iso.org/standard/16722.html>

24. ISO/IEC 25022:2016. Systems and software engineering. Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE). Measurement of quality in use. Montreal, available at: <https://www.iso.org/ru/standard/35746.html>

25. ISO/IEC TR 9126-4:2004. Software engineering. Product quality. Part 4: Quality in use metrics. Montreal, available at: <https://www.iso.org/ru/standard/39752.html>

26. ISO/IEC 25023:2016. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Measurement of system and software product quality. Montreal, available at: <https://www.iso.org/standard/35747.html>

27. ISO/IEC JTC 1 TR 9126-2:2003. Software engineering. Product Quality. Part 2: External metrics. Montreal, available at: <https://www.iso.org/standard/22750.html>

28. ISO/IEC JTC 1 TR 9126-3:2003. Software engineering. Product Quality. Part 2: Internal metrics. Montreal, available at: <https://www.iso.org/standard/22891.html>

29. ISO/IEC JTC 1 25000:2014 Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirement and Evaluation. Guide to SQuaRE. Montreal, available at: <https://www.iso.org/standard/64764.html>
30. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения. Элементы показателя качества. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021-2014. - М.: Стандартинформ, 2015. - 52 с.
31. ISO/IEC JTC 1/SC 7 29119-3:2013. International Standard. Software and systems engineering. Software testing. Part 3: Test Documentation. Montreal, available at: <https://standards.ieee.org/standard/29119-3-2013.html>
32. ISO/IEC JTC 1/SC 7 29119-1:2013. International Standard. Software and systems engineering. Software testing. Part 1: Concepts and definitions. Montreal, available at: <https://www.iso.org/standard/45142.html>
33. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Тестирование программного обеспечения. Понятия и определения. ГОСТ Р 56920-2016. - М.: Стандартинформ, 2015. - 54 с.
34. ISO/IEC JTC 1 12207:2008. Systems and software engineering. Software lifecycle processes. Montreal, available at: <https://www.iso.org/ru/standard/43447.html>
35. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. ГОСТ Р ИСО / МЭК 12207-2010. – М.: Стандартинформ, 2006. - 57 с.

36. Зайцев А.В., Канушкин С.В., Волков А.В., Тое В.Т. Алгоритм оптимального управления летательного аппарата с учетом влияния внешних возмущений // Транспортное дело России. 2015. № 5. С. 158 – 161.
37. Аминова Ф.Э. Исследование возможностей теоретического конструктора для проектирования информационно-управляющей системы // 18-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2019». (Москва, 18-22 ноября 2019): сборник тезисов. – М.: Логотип, 2019. С. 79 – 80.