

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель исполнительного директора-
главный конструктор, д.т.н., профессор



Горохов В.Д.

2020 г

Отзыв ведущей организации

АО «Конструкторское Бюро Химавтоматики»
(АО КБХА)

на диссертационную работу Гончарова Владислава Борисовича «Аппаратно-алгоритмические средства повышения точности систем определения уровня топлива в баках ракетоносителей на основе волноводного метода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Актуальность работы. Одной из проблем повышения экономии компонентов топлива, за счет реализации более точных пропорций во время работы двигателя, и как следствие увеличение массы полезной нагрузки и снижения веса ракетоносителя, является применение в большинстве современных ракетоносителей с жидкостными ракетными двигателями распределенных емкостных и индуктивных уровнемеров. Емкостные уровнемеры, помимо дискретной точности, подвержены влиянию электромагнитных помех, также необходимо применять специальные меры для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности. Поплавковые и индуктивные уровнемеры имеют недостатки: подвижные части индуктивных

уровнемеров значительно снижают надежность, также необходимо принимать специальные меры для предотвращения заклинивания поплавка. Поэтому тема данной диссертационной работы, посвященной разработке аппаратно-алгоритмических средств, которые позволяют повысить точность измерения уровня компонентов топлива в современных ракетоносителях, является актуальной.

Целью диссертационной работы является разработка прецизионного уровнемера на основе волноводного метода для систем определения уровня топлива в баках ракетоносителей. Применение такого уровнемера позволит достичь экономии компонентов топлива, реализуя более точные пропорции компонентов топлива во время работы двигателя.

На защиту выдвинуты следующие основные положения:

1. Функциональная схема уровнемера компонентов ракетного топлива, основанная на демпфировании бурлящей поверхности, позволяющая получить отраженный сигнал независимо от диэлектрических свойств и колебаний среды, что дает возможность унифицировать, повысить точность, массогабаритные показатели применяемой в настоящее время системы контроля заправки и управления расходованием топлива.

2. Алгоритм измерения волноводным уровнемером компонентов ракетного топлива, основанный на непрерывном вейвлет-преобразовании с механизмом подбора вейвлета согласно теореме об ординарности потока отказов, позволяющий получить результаты обработки сигнала с шумом от бурлящей поверхности компонентов топлива, совпадающие с результатами отражения от идеальной поверхности. Возможно применение алгоритма для фильтрации различных частотных сигналов.

3. Математическая модель волноводного уровнемера жидкости, учитывающая диэлектрическую проницаемость измеряемой среды и характеристики волновода, которая позволяет получить обоснование повышенной точности измерения уровня компонентов ракетного топлива по сравнению с применяемыми в данный момент уровнемерами, благодаря чему

достигаются заданные пропорции окислителя и горючего на каждом этапе полета ракетоносителя.

4. Методика определения характеристик волновода необходимых для корректного отраженного сигнала от сред с малой диэлектрической проницаемостью, которая позволяет выбрать тип и размер волновода, значение частоты задающего генератора, учитывая габариты баков компонентов топлива.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

- предложена функциональная схема волноводного уровнемера компонентов топлива ракетоносителя, позволяющая получить отраженный сигнал независимо от диэлектрических свойств и колебаний среды за счет демпфирования бурлящей поверхности, что дает возможность достичь экономии компонентов топлива, реализуя более точные пропорции во время работы двигателя;
- разработана математическая модель уровнемера, учитывающая диэлектрическую проницаемость измеряемой среды и характеристики волновода, которая позволяет получить корректный для обработки сигнал отражения от среды с малой диэлектрической проницаемостью, синтезировать параметры уровнемера;
- разработан алгоритм вычисления уровня топлива, основанный на непрерывном вейвлет-преобразовании с механизмом подбора вейвлета, позволяющий снизить влияние помех, за счет чего реализуются более точные пропорции компонентов топлива во время работы двигателя и достигается их экономия.

Полученные результаты изложены во введении, пяти главах и заключении диссертации, которая по существу состоит из трех частей.

В первой части, включающей **введение, первую и вторую** главу, сформулирована общая постановка задачи, в которой необходимо устранить основные недостатки применяемой в данный момент системы контроля заправки и управления расходованием топлива (СКЗУРТ). Система решает

задачу контроля положения компонентов топлива в баках современных ракетоносителей в процессах заправки, полета, стоянки, слива, а также выдачу сигналов в систему управления.

Проанализированы все распространенные методы измерения уровней жидкостей и с учетом высоких требований к разрабатываемому уровнемеру был выбран волноводный, работа которого основана на сверхвысокочастотном методе.

Рассмотрена температурная зависимость диэлектрической проницаемости компонентов ракетного топлива и проведен анализ частотного метода измерения уровня волноводным уровнемером.

Во второй части диссертации в третьей главе были представлены функциональная и принципиальная электрическая схемы уровнемера компонентов ракетного топлива на высокочастотной элементной базе. Условно уровнемер можно представить в виде трех блоков: передающий блок генератора, приемная часть генератора и блок обработки с микроконтроллером.

Выбран прямоугольный волновод для обеспечения минимального уровня потерь и большой предельной мощности, а также простоты конструкции и расчетов.

Проведено моделирование влияния частоты задающего генератора волноводного уровнемера на различные параметры прямоугольного волновода. Более значительное влияние частоты наблюдается у волновода с меньшими сторонами.

Рассчитаны основные параметры электромагнитной волны H_{10} в прямоугольном волноводе, учитывая диэлектрические проницаемости сред керосин и жидкий кислород. Диэлектрическая проницаемость оказала влияние на характеристическое сопротивление и коэффициент затухания, но с увеличением частоты это влияние можно снизить.

Проведено моделирование трех типов антенн. Учитывая ширину диаграммы направленности, коэффициент направленного действия и габариты, была выбрана волноводно-щелевая антенна.

Предложена функциональная схема уровнемера с поплавком внутри волновода, что позволило получить идеальный отраженный сигнал от поверхности в форме сечения волновода независимо от диэлектрических свойств среды, исключить влияние отражения части частотного сигнала от дна бака и свести к минимуму погрешности от колебаний измеряемой поверхности.

В третьей части диссертации в главах **четыре** и **пять** рассмотрены вопросы цифровой фильтрации и минимизации погрешностей. Предложен вариант, лишенный недостатков преобразования Фурье – непрерывное вейвлет-преобразование. Главное преимущество которого - получение представления о всем сигнале, когда частотный состав гармоник меняется со временем.

Представлен метод вычисления уровня компонентов топлива, позволяющий снизить влияние помех, в баках ракетоносителя с помощью непрерывного вейвлет-преобразования и последующего определения сигнала разностной частоты.

Результаты моделирования зашумленного линейно-частотно модулированного сигнала с волноводного уровнемера компонентов топлива ракетоносителя демонстрируют преимущества вейвлет-преобразования перед преобразованием Фурье.

С помощью обратного вейвлет-преобразования проведена фильтрация сигнала волноводного уровнемера. Вейвлет-преобразование великолепно подходит для устранения шумов, сравнительно небольшой шум с амплитудой 1 В идеально очищен.

Разработана функциональная модель сверхвысокочастотного волноводного уровнемера, обеспечивающая измерение уровня компонентов жидкого топлива ракетоносителей. На основе функционального разделения

на блоки модель уровнемера включает: блок генератора, блок приема – отраженного сигнала, блок смесителя и блок вычислителя. Были составлены математические модели каждого блока и наложены соответствующие ограничения. Разработана математическая модель уровнемера компонентов ракетного топлива, обеспечивающая возможность корректировки и фильтрации выходного сигнала. Проведено моделирование для различных случаев с влиянием помех и без, а также для различных параметров волновода и среды. Применен разработанный алгоритм, основанный на непрерывном вейвлет-преобразовании и на механизме подбора вейвлета, согласно теореме об ординарности потока отказов.

Исследованы погрешности уровнемеров компонентов топлива современного ракетоносителя, а также повышение точности, которое достигается применением разработанной математической модели уровнемера компонентов ракетного топлива. Проведено сопоставление телеметрических данных каждого из баков системы уровнемеров ракетного топлива с результатами моделирования, полученными с помощью математических моделей уровнемеров с отражением от поплавка в волноводе и отражением от бурлящей поверхности. Данные, полученные с помощью математических моделей, точно подтверждают время срабатывания каждой измерительной точки емкостных уровнемеров, определенное на летных испытаниях ракетоносителя. С помощью применения математических моделей получен непрерывный сигнал, который исключает мертвые зоны между чувствительными элементами емкостных уровнемеров. Благодаря линейности результатов измерений математической модели уровнемера легко получить значение уровня в любой момент времени, что делает систему более информативной и позволяет заменить применяемые в данный момент уровнемеры. На основе анализа критичных источников погрешностей волноводных уровнемеров предложены различные методы уменьшения погрешностей и обоснован наиболее точный для измерения уровня компонентов топлива – метод, основанный на определении

экстремумов энергетической плотности коэффициентов с применением алгоритма непрерывного-вейвлет преобразования, который превосходит по точности самый распространенный и эффективный метод спектрального анализа.

Особого внимания достойна предложенная функциональная схема волноводного уровнемера с поплавком внутри волновода.

На основании полученных результатов моделирования в работе удалось определить параметры уровнемера, необходимые для выполнения непростой задачи и реализовать их в виде аппаратной и программной части.

В заключении приводятся основные результаты работы.

Практическая ценность проведенных исследований состоит в том, что с помощью предложенной математической модели волноводного уровнемера и алгоритма удается сократить время изготовления и стоимость стендового оборудования, имитирующего процесс заправки топливных баков окислителя и горючего ракетоносителей, повысить точность применяемых в данный момент уровнемеров компонентов топлива ракетоносителей. Вследствие этого, с помощью системы управления двигателями поддерживается оптимальное соотношение компонентов топлива и корректная работа двигателей в полете, определяются оптимальные запасы окислителя и горючего, заправляемые на стартовой позиции, необходимые для выполнения задач, достижения максимального быстродействия, снижения веса и увеличения максимальной полезной нагрузки ракетоносителя, а также увеличения максимального пройденного расстояния в полете и экономии компонентов топлива ракетоносителя.

Достоверность основных научных положений и выводов обосновывается сопоставлением полученных теоретических и экспериментальных результатов, а также с результатами других авторов.

Наряду с отмеченными достоинствами в работе имеются следующие недостатки:

- 1) Под данные критерии выбора волновода попадает также круглый тип, автор не дает детальное сравнение, а сразу делает расчеты для прямоугольного.
- 2) В работе произведено моделирование параметров волновода только для электромагнитной волны H_{10} , на основе этих данных сделаны выводы и ничего не сказано про исследование других типов волн.
- 3) В качестве возмущающих воздействий в процессе полета автор задает шумовое воздействие на выходной сигнал уровнемера, что не объясняет именно такие параметры искажения сигнала при реальных измерениях.
- 4) В принципиальной электрической схеме было бы рациональней сделать управление варикапом с помощью микроконтроллера, таким образом использовать его довольно большие возможности.
- 5) Предложенный вариант конструкции с поплавком внутри волновода противоречит требованиям, предъявленным во введении.

Указанные недостатки не снижают ценность полученных результатов, достигнутых за счет внедрения принципиально нового для ракетостроения уровнемера. В целом диссертационная работа является законченным научным исследованием, посвященным решению важной практической задачи повышения точности измерения компонентов топлива в современных ракетоносителях.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, относящемуся к специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления». Полученные результаты можно рекомендовать к использованию в ОАО РКК «Энергия», ГКНПЦ им. М.В. Хруничева и в других организациях занимающихся производством и внедрением уровнемеров.

По теме диссертации опубликовано 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК. В целом считаем, что диссертационная работа удовлетворяет основным требованиям и заслуживает положительной оценки, а ее автор Гончаров Владислав Борисович – присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании отдела конструкторского по средствам метрологического измерения №125 «25» февраля 2020 г., протокол №2.

Результаты голосования – за 10, против нет, воздержалось нет.

Начальник отдела 125



Чайка Ю.А.

Чайка Юрий Анатольевич
394006, Воронеж, ул. Ворошилова, 20
Телефон: (473) 263-46-85