

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Актуальность темы диссертации. Дискретные емкостные и индуктивные уровнемеры компонентов топлива, используемые в данный момент в большинстве ракетоносителей с двухкомпонентными жидкостными двигателями, не всегда могут удовлетворять требованиям по точности. Это не позволяет реализовать более точные пропорции компонентов во время работы двигателя и приводит к неэкономичному расходованию топлива, снижению массы полезной нагрузки и увеличению веса ракетоносителя. При использовании индуктивных датчиков часто используются подвижные поплавковые элементы, что снижает надежность, в том числе из-за возможности заклинивания поплавка. Недостатками емкостных датчиков является необходимость применения специальных мер для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности, подверженность влиянию электромагнитных помех. Современные системы управления ракетоносителями предъявляют к уровнемерам также требование обеспечения непрерывного измерения уровня компонентов ракетного топлива как при заправке, так и в полете. Решение этих задач возможно при использовании волноводного метода измерения уровня. Однако, такие уровнемеры хорошо работают с жидкостями с большой диэлектрической проницаемостью, а у компонентов топлива она достаточно мала.

Поэтому тема данной диссертационной работы, посвященной разработке средств повышения точности определения уровня топлива в баках ракетоносителей на основе волноводного метода и использования сверхвысокочастотных сигналов, которая позволяет повысить точность измерения уровня компонентов топлива, является актуальной.

Рассмотрение содержания диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5-и глав, заключения, списка используемых источников и 3-х

приложений. Работа изложена на 209 страницах, в том числе 183 страницах основного текста, включающего 71 рисунок и 12 таблиц, список используемых источников 167 наименований, и 13-и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и решаемые задачи, обоснованы научная новизна, практическая значимость и основные положения диссертации.

В первой главе приведена классификация уровнемеров жидкости, произведено сравнение методов измерения, анализ разработок в области измерителей уровня и промышленных волноводных уровнемеров, сформулирована задача адаптации волноводного метода к условиям измеряемой среды с малым значением диэлектрической проницаемости.

Во второй главе приведен анализ волноводных уровнемеров, зависимости диэлектрической проницаемости компонентов ракетного топлива от различных факторов. Проведен анализ волноводного метода измерения уровня и математических моделей волноводных уровнемеров.

Третья глава посвящена разработке передающего, принимающего и обрабатывающего блоков генератора, выбору и обоснованию типа волновода. Произведены моделирование характеристик прямоугольного волновода, расчет характеристик электромагнитного поля в прямоугольном волноводе, моделирование характеристик и выбор антенны, разработка функциональной схемы волноводного уровнемера с идеальной отражающей поверхностью.

В четвертой главе рассмотрены вопросы цифровой обработки сигналов. Предложен вариант обработки на основе вейвлет-преобразования, которое позволяет эффективно анализировать сигналы волноводного уровнемера. Произведена разработка алгоритма определения уровня топлива с помощью непрерывного вейвлет-преобразования. Проведено моделирование обработки с помощью преобразования Фурье и вейвлет-преобразования зашумленного линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала волноводного уровнемера компонентов топлива ракетоносителя; произведена ЛЧМ сигнала волноводного

уровнемера компонентов топлива ракетоносителя с помощью вейвлет-преобразования. Разработаны функциональная модель волноводного уровнемера компонентов ракетного топлива, математическая модель уровнемера компонентов ракетного топлива для отражения сигнала от поплавка с идеальной отражающей поверхностью и для отражения сигнала от бурлящей поверхности. Произведен анализ погрешностей математической модели уровнемера компонентов ракетного топлива и проведено моделирование работы предложенного алгоритма. Показано, что наиболее точные результаты достигаются при применении вейвлета Хаара.

Пятая глава содержит исследование погрешностей уровнемеров компонентов топлива современного ракетоносителя, сопоставление телеметрических данных системы управления расходом топлива с данными математической модели уровнемера компонентов ракетного топлива, анализ погрешностей волноводного метода измерения уровня, расчет экономической эффективности уровнемера компонентов ракетного топлива.

В заключении приведен перечень основных результатов диссертационной работы.

Содержание диссертации соответствует указанной специальности.

Научная новизна полученных результатов. К новым научным результатам, полученным в работе, следует отнести:

- математическую модель уровнемера, учитывающую диэлектрическую проницаемость измеряемой среды и характеристики волновода, которая позволяет получить корректный для обработки сигнал отражения от среды с малой диэлектрической проницаемостью, синтезировать параметры уровнемера;

- алгоритм вычисления уровня топлива, основанный на непрерывном вейвлет-преобразовании с механизмом подбора вейвлета, позволяющий снизить влияние помех, что обеспечивает более точные пропорции компонентов топлива во время работы двигателя и их экономию.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Предложенные в диссертации модели и алгоритмы теоретически обоснованы и не

противоречат известным положениям. Достоверность полученных в работе результатов и выводов подтверждается результатами математического моделирования, сравнением с экспериментальными данными и результатами других авторов.

Результаты, полученные в диссертационной работе, прошли апробацию на международных и межрегиональных семинарах и конференциях, достаточно отражены в 3 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК, получено 1 свидетельство о регистрации программ.

Практическая и научная ценность выводов и результатов. Практическая значимость работы заключается в том, что с помощью предложенной математической модели волноводного уровнемера и алгоритма обработки информации удается повысить точность уровнемеров компонентов топлива ракетоносителей, а также сократить время изготовления и стоимость стендового оборудования, имитирующего процесс заправки топливных баков окислителя и горючего ракетоносителей. Практическая значимость научных результатов подтверждена внедрением в АО «ГосНИИП» (Акт о внедрении от 07.06.18 г.) и «МИРЭА – Российский технологический университет» (Акт внедрения в учебный процесс от 29.10.18 г.).

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, верно отражает основные положения и выводы диссертационной работы.

Замечания по диссертации и автореферату:

- 1) не приведен в явном виде состав «аппаратно-алгоритмических средств», которые разрабатываются в работе для повышения точности систем определения уровня;
- 2) функциональная схема волноводного уровнемера для бурлящей жидкости с отражением волн от поплавка использует известный способ успокоения колебаний жидкости с помощью поплавка (п. 3.6, рис. 3.18).

- 3) на схеме волноводного уровнемера (рис. 3.1) разностная частота отражённого и излученного сигналов приведена в виде $\Delta F = (f_1 + f_2)$, что требует пояснения;
- 4) отсутствует обоснование состава бортовых программно-аппаратных средств для реализации предложенного алгоритма обработки с использованием непрерывного вейвлет-преобразования в реальном масштабе времени;
- 5) в явном виде не приведена функция преобразования волноводного уровнемера;
- 6) экспериментальное исследование волноводного уровнемера проведено в виде численного моделирования и сравнения с экспериментальными данными системы определения уровня топлива в баках ракетоносителей;
- 7) имеются неточности редакционного вида: - название главы 2 «Исследование волноводных уровнемеров» слабо отражает ее содержание, которое посвящено, в основном, анализу волноводных уровнемеров; - в работе используются различные словосочетания для определения одного и того же объекта: «система определения уровня топлива», «система контроля заправки и управления расходованием топлива», «система уровнемеров контроля заправки и расхода топлива».

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не являются определяющими при оценке диссертационного исследования.

Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК. В целом представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи разработки аппаратных средств и алгоритмов повышения точности измерения уровня компонентов жидкого топлива в ракетоносителях, имеющей существенное значение для увеличения полезной нагрузки и пройденного расстояния в полете; автор диссертационного

исследования Гончаров Владислав Борисович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент

Бусурин Владимир Игоревич, доктор технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», профессор.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993.

Профессор кафедры "Системы автоматического и интеллектуального управления".

Телефон: +7 499 158-25-71, +7 499 158-29-77

Электронная почта: mai@mai.ru, ybusurin@mai.ru

« 04 » марта 2020 г.

В.И. Бусурин

Подпись официального оппонента Бусурина Владимира Игоревича, д.т.н., профессора, профессора кафедры "Системы автоматического и интеллектуального управления" МАИ «заверяю».

Зам. нач. Управления по работе с персоналом

 М.А.Иванов