

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Виноградова Юрия Анатольевича «Аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации объектов, движущихся в атмосфере», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа Виноградова Ю.А. посвящена разработке принципиально нового аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации для детектирования, определения места падения движущихся в атмосфере объектов различной природы.

Актуальность темы диссертационных исследований.

В настоящее время экологическая безопасность вдоль трасс запусков космических аппаратов и в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей является одной из первостепенных задач космической отрасли. Это связано в первую очередь с большими площадями районов падения отделяемых частей различных ракет-носителей, существенная часть которых находится в районах активной хозяйственной деятельности. Кроме того, ряд трасс запусков космических аппаратов с космодрома «Байконур» проходит вблизи территории восточного Казахстана, где находится большое количество ответственных объектов, например, инфраструктура бывшего ядерного Семипалатинского полигона, исследовательские атомные реакторы, хвостохранилища, добывающие предприятия, а также в этом районе возможно размещение площадки под строительства АЭС. Кроме того, некоторые ракеты-носители, например, «Протон» и «Днепр» в качестве ракетного топлива используют высокотоксичный несимметричный диметилгидразин. Для минимизации экологических проблем в районах падения отделяемых частей ракет-носителей необходим оперативный поиск, фиксация и утилизация фрагментов, детоксикация почвы в местах падения и ликвидация возникающих пожаров. Отметим, что важным элементом безопасности является сокращение площадей районов падения отделяемых частей ракет-носителей. Часть районов падения находится на зарубежных территориях - в Казахстане, Туркмении, Монголии, в связи этим проблема обеспечения безопасности при запусках ракет-носителей в космос обсуждается на уровне высшего руководства.

Известен факт, что 26 июля 2006 г. в 23 часа 43 мин. по московскому времени с площадки 109 космодрома Байконур стартовала ракета-носитель «Днепр», через 86 с после запуска произошла авария, точное место падения ракеты-носителя в первые двое суток было неизвестно. По сейсмическим данным сети ИГИ НЯЦ РК удалось определить время падения, координаты места падения, а также энергию сейсмических волн, выделившуюся при этом событии. Инфразвуковая станция IS31 записала запуск ракеты-носителя, момент изменения азимута полета, а также интенсивные сигналы от падения и взрыва ракеты-носителя. Следует отметить, что обнаружение сигналов было на пределе возможности регистрации сейсмической сети, а эллипс ошибок был достаточно велик. Тем не менее, результаты, полученные с использованием сейсмических и инфразвуковых записей, были переданы в специально созданную комиссию по расследованию причин падения ракеты – носителя «Днепр» и помогли в поиске места ее падения. В связи с этим, создание специализированного аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации для пеленгации объектов, движущихся в атмосфере, позволяющего с использованием 2-х и более мобильных инфразвуковых групп с хорошей точностью определять места падений, как одиночных, так и летящих группой многочисленных объектов, и осуществление мониторинга в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей является одной из самых актуальных задач. Результаты применения работы имеют существенный экономический эффект и вносят вклад в минимизацию экологических последствий запусков.

Разработанный мобильный автономный аппаратно-программный комплекс используется в составе измерительных средств, обеспечивающих безопасность пусков ракеты-носителя «Ангара». Следует отметить, что комплексы пассивной инфразвуковой локации, успешно используются для решения других практических задач, таких как мониторинг откола айсбергов, мониторинг схода снежных лавин, определение места и причин катастрофы вертолета МИ-8 на архипелаге Шпицберген. Комплекс может использоваться в будущем для мониторинга болидов, извержения вулканов, мониторинга ядерных испытаний и многих других задачах. Таким образом, он может использоваться для ряда практических задач космической отрасли, для прикладных задач геофизики, а также для фундаментальных исследований.

Диссертационная работа Виноградова Ю.А. связана с рядом международных проектов, в которых изучалось распространение инфразвука в атмосфере от карьерных взрывов, коммерческих договоров по определению мест падения фрагментов второй ступени ракеты-носителя «Протон» при запуске спутников различного назначения и др., в которых Виноградов Ю.А. являлся ответственным исполнителем и руководителем.

Диссертация состоит из введения, 5 основных разделов, заключения, списка литературы.

Во введении раскрыты актуальность темы, цель и задачи исследований, защищаемые положения, новизна, практическая ценность, реализация и апробация работы.

В первой главе приводится литературный обзор инфразвукового метода мониторинга и современное состояние исследований в мире. Описана история инфразвуковых исследований, начиная с начала XX века в Японии, показана роль глобальной международной сети мониторинга (МСМ), в рамках «Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний» (ДВЗЯИ), в организации непрерывного мониторинга инфразвука от природных и техногенных явлений.

Автором рассмотрено многообразие различных источников инфразвука, наиболее распространенными из которых являются взрывы различного типа: при проведении горновзрывных работ, калибровочных и исследовательских взрывов, при строительстве различных инженерных сооружений военного назначения, аварийные взрывы газопроводов и т.д. Подробно рассмотрены инфразвуковые сигналы движущихся объектов, например, вызванные стартом, пролетом и снижением ракет. Показано, что акустические волны и шумы от ракет можно разделить на следующие категории: акустические шумы от работающих двигателей ракет при стендовых испытаниях; акустические шумы от работающих двигателей ракет при старте и полете; акустические волны от звуковых ударов, возникающих при прохождении ракетой через звуковой барьер. Показано отличие сигналов, вызванных полетом ракет-носителей, и вызванных запусками баллистических ракет с кораблей. Исследованы инфразвуковые сигналы, вызванные пролетом и взрывом метеоритов в атмосфере.

Автором приводится краткий обзор современных моделей атмосферы, от правильной модели атмосферы зависит точность расчета распространения инфразвукового сигнала от источника до точки приема, что соответственно отражается на точности определения координат мест падения фрагментов ракет-носителей. В разделе приводятся основы теории распространения инфразвука в атмосфере, описаны основные тенденции развития инфразвукового метода мониторинга.

Во второй главе производится анализ имеющейся аппаратуры для регистрации инфразвука, приводится обоснование выбора инфразвуковых датчиков. Описаны микробарографы Charparal, МВ-2000, МВ-03, низкочастотные микрофоны свободного поля, современные микробарографы, выполненные с применением MEMS-датчиков. Рассмотрены основные параметры аппаратуры, приведены АЧХ.

Автор детально описал техническую часть аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации, его составные части и взаимодействие между собой. Генезис развития аппаратной части включал несколько этапов: первоначально мобильная инфразвуковая группа была спроектирована как проводная, состояла из двух частей: подсистемы регистрации и поляризованных микрофонов МРА-201 и дигитайзера на основе

АЦП E-24 фирмы L-card и мини-ПК со специализированным ПО, привязка к мировому времени производится посредством GPS. Использование конструкции инфразвуковой группы с проводным подключением микрофонов оказалось неудобным в ходе полевых работ, так как необходимо было развешивать длинные проводные соединения и последующего их демонтажа по окончании работ. В связи с этим на следующем этапе была разработана модернизированная инфразвуковая группа, которая являлась беспроводной. Сигнал от микрофонов передается на дигитайзер по радиоканалу, что позволяет отказаться от кабельных линий. Сенсором в каждом из трех модульных радиомикрофонов является поляризованный микрофон свободного поля МРА-201, используемый совместно с микрофонным усилителем, АЦП построен на базе микросхемы, представляющей собой 24-битный преобразователь последовательного приближения (SAR).

И, наконец, третий этап развития конструкции комплекса регистрации инфразвука был существенно модернизирован. Для быстрого и успешного поиска фрагментов ракет начал использоваться беспилотный летательный аппарат (БПЛА). Конструкция модернизированного комплекса состояла из поляризованных микрофонов свободного поля МРА-201, АЦП построен с использованием микросхемы AD7766-2, представляющей собой 24-битный преобразователь последовательного приближения (SAR). Результат преобразования через блок гальванической развязки посредством интерфейса SPI поступает в контроллер управления радиомикрофона. В работе приводятся схемы взаимодействия частей комплекса между собой. Приведено описание программного обеспечения для обработки данных, характеристика формата.

В третьей главе описывается методика пеленгации движущихся целей, основные алгоритмы для выделения инфразвуковых сигналов от движущихся источников, описание структуры матобеспечения, назначение основных программ, входящих в состав комплекса.

Автор приводит основные методы обработки инфразвуковых сигналов, используемых в мировой практике: частотно-волновой анализ (F-K анализ) или метод взаимной корреляционной функции (PMCC –Progressive Multichannel Correlation), использующие сложные алгоритмы расчета.

Для ускорения решения задачи детектирования был разработан и реализован алгоритм, основанный на методе «beamforming», важно, что был предложен алгоритм разделения и детектирования сигналов, сгенерированных однотипными фрагментами, летящими рядом друг с другом. Для корректного решения задачи локации производятся следующие математические операции: моделирование распада аппарата; моделирование движения фрагментов в атмосфере; моделирование распространения звука в атмосфере; сравнение экспериментальных и теоретических параметров инфразвуковых сигналов.

Для реализации алгоритмов инфразвуковой локации диссертантом был разработан специализированный программный комплекс, состоящий из программы подготовки атмосферных данных МА, программы трассировки звука через атмосферу RAYVELMOD; программы детектирования импульсных сигналов IMPDET, программы генерирования и подбора траекторий СТ, программы-интегратора IPL для автоматизации процесса обработки за счет упрощенного обмена данными между всеми программами комплекса.

В четвертой главе рассмотрены результаты физического моделирования по определению аэродинамических характеристик типовых фрагментов конструкции РН «Союз». Описана методика создания базы данных инфразвуковых сигналов, генерируемых снижающимися фрагментами отделяющихся ступеней ракет-носителей. Существенно, что в базе хранятся сведения о метеорологических условиях в местах наблюдений и записи волновых форм. Использование этой базы данных позволяет по результатам инфразвукового мониторинга без осуществления наземного поиска идентифицировать тип фрагмента (элементы двигателей, обтекателя и т.д.), благодаря чему можно существенно упростить планирование и организацию работ по очистке районов падений от упавших фрагментов.

В пятой главе приводятся некоторые примеры практического применения аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации и для определения мест падения снижающихся фрагментов 1-й и 2-й ступеней ракет-носителей в штатных районах падения.

Описаны результаты полевых исследований в течение 2009–2014 гг., когда производилась отладка технологии инфразвуковой локации снижающихся фрагментов первой и второй ступеней ракет-носителей для 14 реальных пусков ракет-носителей «Протон», «Союз» и «Ангара». В 2014 г. были проведены работы по проверке мобильного автономного аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации для определения мест падения фрагментов первой ступени РН «Ангара–А5.1Л» в штатном районе падения на территории Республики Коми. Полученные данные очень важны для планирования последующих мест падений фрагментов и послужат основанием для уменьшения площади РП. Обнаруженные фрагменты ОЧ РН были каталогизированы, пополнена база данных волновых форм фрагментов ракет-носителей, погрешность отклонения фактических координат от расчетных составила 0.7–2 км.

В заключении делаются основные выводы по результатам работы и рассматриваются перспективы по ее возможному применению и развитию.

Научные результаты и их новизна в рамках требований к диссертациям.

В диссертации автором предложен принципиально новый метод прогнозирования районов падения фрагментов ракет-носителей с учетом механизмов их разрушения, кинематических параметров их полета, данных о состоянии атмосферы и др. Сформулированы модели и алгоритмы программного обеспечения, позволяющие с хорошей точностью осуществлять пеленгацию мест генерации инфразвуковых сигналов, распознавать и классифицировать типы источников на основе корреляционного анализа с эталонными волновыми формами. Был разработан, внедрен и протестирован для большого количества запусков ракет носителей действующий портативный аппаратно-программный комплекс, предназначенный для решения широкого круга научных и прикладных задач. Отметим, что испытание пилотного аппаратно-программного комплекса проводилось для запусков различных типов ракет-носителей (Протон, Союз, Ангара), пуск которых осуществлялся с различных стартовых площадок, а падение фрагментов осуществлялось в зонах с разнообразным рельефом и сложным влиянием атмосферных явлений. Результаты диссертационной работы вносят важный вклад в решение проблем экологии, служат повышению эффективности ракетно-космической деятельности России. Применение разработанного диссертантом метода позволяет существенно уменьшить площадь поиска упавших фрагментов ракет-носителей, значительно снизить экономические затраты поисковых групп.

Степень обоснованности и достоверности каждого результата (научного положения), вывода и заключения соискателя, сформулированных в диссертации.

Научные и практические результаты, полученные в диссертационной работе, достоверны и обоснованы, что подтверждается экспериментальными данными. Используя полевую аппаратуру мониторинга, системы инфразвуковой локации и разработанные автором алгоритмы были обнаружены фрагменты ракет-носителей, погрешность отклонения фактических координат от расчетных была незначительной.

Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода и заключения.

В диссертационной работе описан аппаратно-технический состав мобильного автономного аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации, разработанный и внедренный в состав измерительных средств, обеспечивающих безопасность при проведении пусков ракет-носителей различного типа, в том числе «Ангара». Применение комплекса в районах падений первых и вторых ступеней ракет-носителей позволяет с хорошей точностью определять места падения фрагментов этих ступеней. Впервые для целей ракетно-космической отрасли предложен новый эффективный метод инфразвуковой пеленгации движущихся в атмосфере объектов, позволяющий с использованием 2-х и более мобильных инфразвуковых групп, надежно определять места падений, как одиночных, так и летящих группой многочисленных объектов, снижающихся в атмосфере со сверхзвуковой скоростью. Для повышения эффективности, быстроты и безопасности поиска мест падения фрагментов

ОЧ РН, в составе комплекса были использованы беспилотные летательные аппараты для передачи информации, связи, фото и видео-фиксации.

Полученные в диссертационной работе результаты являются принципиально новыми. Основные результаты докладывались на различных международных научно-технических конференциях, специальных семинарах в заинтересованных организациях, и заслужили высокую оценку специалистов из разных стран.

Оценка внутреннего единства полученных результатов

Внутреннее единство полученных в ходе исследований результатов является одним из основных достоинств диссертации. Диссертант разработал, обосновал, создал, протестировал и внедрил пилотный аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации, для детектирования, определения места падения движущихся в атмосфере объектов различной природы. Диссертант изложил схему комплекса, обосновал выбор оборудования, методику детектирования сигналов и локализации, алгоритмы, мат. обеспечение, тестирование комплекса в реальных условиях, рекомендации по минимизации экономических затрат и др. Выводы хорошо обоснованы и подтверждены различными независимыми методами. Разработанный комплекс внес существенный вклад в развитие космических технологий РФ и в задачи минимизации экологических последствий запусков.

Направленность полученных результатов на решение соответствующей актуальной проблемы, теоретической или прикладной задачи

Полученные в диссертационной работе Виноградова Ю.А. результаты позволяют решить ряд практических задач по поиску фрагментов космических тел, оперативно классифицировать типы источников сигналов инфразвуковых волн, изучать траектории источников инфразвуковых сигналов в атмосфере. Разработанный диссертантом аппаратно-программный комплекс доказал свою высокую эффективность для целей ракетно-космической отрасли. Применение разработанного метода позволяет существенно уменьшить площади поиска упавших фрагментов ракет-носителей, минимизировав экологические последствия.

Также комплекс может быть использован для мониторинга вулканической активности, болидов, лавин, айсбергов, ядерных испытаний, техногенных катастроф и др.

Полнота публикаций основных положений, результатов и выводов диссертации

Основные научные результаты по теме диссертации опубликованы в большом количестве статей в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus. По результатам работы получены 3 патента РФ, 1 авторское свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 2 акта внедрения результатов работы.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат полностью соответствует диссертации.

Недостатки по содержанию и оформлению диссертации.

1. В разделе 1.1. автором приводятся сведения об истории инфразвуковых наблюдений от мониторинга вулканической деятельности в Японии в начале XX века до создания Международной системы мониторинга ДВЗЯИ, приводится краткое описание инфразвукового метода мониторинга и современное состояние исследований. Однако не приведено описание сетей инфразвукового мониторинга, созданных в мире для обнаружения и распознавания воздушных ядерных испытаний в 50-60е XX века. Так, сеть ССК СССР состояла из 25 инфразвуковых сейсмических станций на территории СССР, достаточно большая сеть инфразвуковых станций существовала в то время и США. Исследования, проведенные в эпоху проведения ядерных испытаний в атмосфере, позволили получить принципиально новые данные о распространении инфразвука, возможностях обнаружения и локализации событий, особенностях волновой картины инфразвуковых сигналов от источников различной природы и др.

2. Диссертантом рассмотрена возможность детектирования и локализации фрагментов ракет-носителей в штатных районах падений. К сожалению, как любой сложный технологический процесс, запуск ракеты-носителя иногда бывает неудачным. Трассы полета ракет с космодромов «Байконур», «Плесецк» проходят по суше над территориями ряда

областей, поэтому вопросы экологии в случае аварийных запусков приобретают особое значение. К сожалению, в диссертации не отражен важный вопрос: возможно ли использовать разработанный комплекс для определения координат места падения ракеты-носителя на землю, а при взрыве в воздухе – высоту взрыва и координаты для аварийного запуска с учетом того, что траектория может отклониться от стандартной. Кроме того, для оперативной оценки последствий аварийного запуска необходима возможность оценки объема выброшенного при нештатной ситуации топлива, который может быть рассчитан на основе определения мощности взрыва и знания остатков топлива на момент взрыва.

В диссертации Виноградова Юрия Анатольевича описывается пионерный мобильный автономный аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации, разработанный автором и успешно внедренный в ракетно-космической отрасли. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям ВАК к докторским диссертациям.

Считаю, что диссертационная работа Виноградова Юрия Анатольевича по своему содержанию и форме полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

В целом, выполненная работа является оригинальной, а разработанные методы, математические модели и реализующие их программные комплексы, и аппаратные средства удовлетворяют критериям новизны и существенных отличий. В работе приведены авторские разработки и результаты, имеющие существенное научное и практическое значение. Диссертация соответствует критериям, определенным в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., а ее автор, Виноградов Юрий Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

СОКОЛОВА Инна Николаевна
Филиал «Институт геофизических исследований»
Республиканского Государственного предприятия
Национальный ядерный Центр Республики Казахстан,
Руководитель группы анализа и научных исследований,
доктор физико-математических наук
Казахстан, г.Алматы, ул. Чайкиной 4.
Тел. +7 (727) 2631330
E-mail: sokolova@kndc.kz

Def
19.04.2022

Подпись Соколовой Инны Николаевны удостоверяю
Инспектор по кадрам Молдоева Зауре Турсуновна

