

ОТЗЫВ

официального оппонента Шершакова Вячеслава Михайловича
на диссертационную работу 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»

Актуальность темы диссертации

Конкуренция на рынке ракетно-космической промышленности в последние годы весьма высока. Существенное снижение стоимости на рынке услуг по запуску и выведению космических аппаратов на орбиту ставит задачу повышения эффективности и надежности запусков перед организациями, входящими в госкорпорацию Роскосмос. Создание ракеты-носителя семейства «Ангара» потребовало и новых подходов к обеспечению безопасности пусков, в том числе экологической. Основными направлениями обеспечения экологической безопасности являются: сокращение площадей районов падения отделяемых частей ракет-носителей, оперативный поиск, фиксация и утилизация фрагментов отделяющихся частей ракет-носителей; детоксикация почвы в местах падения отделяющихся частей и максимально быстрая ликвидация мест возгораний. Особенно актуально это становится в связи с переносом основных запусков с космодрома «Байконур» на космодром «Восточный», где большинство районов падений расположено в таежной местности. На сегодняшний день существуют измерительные средства для инструментального определения мест падения фрагментов ракет-носителей, но их применение ограничено либо высокой стоимостью, либо значительными массово-габаритными размерами, либо высоким энергопотреблением. В связи с этим создание новых измерительных и программных средств, для оперативного контроля снижающихся фрагментов в режиме реального времени непосредственно в районах падений не вызывает никаких сомнений, а задачи отведения новых районов падения фрагментов ракет-носителей, имеющих минимально возможную площадь, и определения фактических эллипсов рассеивания фрагментов отделяющихся ступеней являются актуальными, особенно в свете развития нового космодрома «Восточный» на Дальнем Востоке России. Предложенный автором метод пеленгации объектов, движущихся в атмосфере, позволяющий с использованием 2-х и более мобильных инфразвуковых групп, надежно определять места падений фрагментов ракет-носителей в заданных районах падений, может стать одним из эффективных средств такого оперативного контроля.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 264 наименований и представляет собой целостное, завершенное исследование на заданную тему.

Во введении, как это обычно принято, сформулирована проблема, вызвавшая написание данной работы, дается описание актуальности и новизны, выбранной для защиты темы, определены объект и предмет исследования, формулируются основные научные положения, выносимые на защиту; обосновывается практическая значимость работы, приводятся сведения о ее апробации и личном вкладе автора, а также высказываются благодарности коллегам, способствовавшим появлению данной работы. Цель и идея исследования сформулированы точно и соответствует теме исследования. Во введении отсутствуют задачи исследования, хотя они впоследствии явно сформулированы в главе 3. Защищаемые положения, сформулированные во введении, отражают содержание основных результатов работы и их доказательство приводится в дальнейшем в главах 2,3 и 4 диссертационной работы.

В первой главе приводится достаточно объемный обзор современного состояния исследований в области инфразвукового метода мониторинга в мире, сделанный на основании анализа большого количества работ российских и иностранных исследователей за период 2010-2020 годов. Отмечено, что в современном мире наблюдениям за распространением инфразвуковых колебаний уделяется все большее и большее внимание. Это связано как с относительно невысокой стоимостью создания инфразвуковых станций наблюдения, так и с большим объемом информации, получаемым в процессе наблюдения. В этой же главе рассмотрены основные источники инфразвуковых колебаний генерирующие воздушно-ударные волны в атмосфере (такие как взрывы; сверхзвуковые самолеты; стартующие, движущиеся и снижающиеся ракеты и/или их части; болиды), приводятся примеры их регистрации различными инфразвуковыми комплексами. В отдельном разделе рассмотрены и описаны современные модели атмосферы, обоснован их выбор для применения в составе описываемого аппаратно-программного комплекса. В заключительной части главы 1 делается вывод, что теория распространения акустических волн в атмосфере все еще требует своего развития и важнейшим моментом подтверждения работоспособности теории должен являться эксперимент, позволяющий оценить достоверность теоретических результатов и возможность применения теории для дальнейших исследований, что не вызывает сомнений.

Вторая глава целиком посвящена описанию аппаратной части комплекса. В начале главы производится анализ имеющейся на сегодняшний день аппаратуры для регистрации инфразвука – микрофонов свободного поля, микробарографов, пьезоэлектронных и MEMS-датчиков давления; приводится обоснование выбора инфразвуковых датчиков, которые вошли в состав комплекса. Далее в этой главе дается подробное описание процесса создания и развития технической (аппаратной) части комплекса, описание его составных частей и их взаимодействия между собой, приводятся структурные и функциональные схемы. В приводимом описании наглядно показано, как с изменением и расширением требований к возможностям комплекса производилась его модернизация. Наиболее детально описана последняя версия комплекса, в состав которой включен беспилотный летательный аппарат, служащий одновременно и

средством передачи/ретрансляции данных со станций мониторинга в центр обработки данных, и средством поиска и обнаружения объектов, координаты которых определяются по результатам проводимого мониторинга. Такая схема работы позволила перейти к дистанционному автоматизированному мониторингу районов падения, отведенных для отделяющихся частей ракет-носителей. В этом случае полевая аппаратура мониторинга устанавливается в заданные районы падений заблаговременно и на протяжении длительного времени (2–3 года) поддерживается в рабочем состоянии в автономном режиме, а понятие «дистанционный» подразумевает нахождение оператора автоматизированного рабочего места на расстоянии десятков и сотен километров за пределами районов падений.

Третья глава целиком посвящена описанию программной части комплекса. В ней описываются основные алгоритмы, используемые для выделения инфразвуковых сигналов от движущихся источников, приводится обоснование методики пеленгации движущихся целей, описание структуры программной части аппаратно-программного комплекса, описание и назначение основных программ, входящих в состав комплекса. Именно в этой главе обосновываются три из четырех защищаемых положений автора, в связи с чем она, на мой взгляд, является ключевой в данной работе. В этой главе последовательно, раздел за разделом описаны все применяемые в программном комплексе алгоритмы. По моему мнению, алгоритмы описаны с необходимой степенью детальности, с большим количеством иллюстративного материала, позволяющим наглядно оценить результаты их работы. Имеется большое количество ссылок на публикации, в которых эти алгоритмы были опубликованы и обсуждены. Особо хочется отметить, что в случае разработки алгоритма детектирования инфразвуковых сигналов, автор не стал использовать применяемые иностранными специалистами стандартные программные средства на основе F-K анализа или РМСС-алгоритма, а применил усовершенствованный алгоритм детектирования, основанный на методе «beamforming», до этого успешно реализованный в методике обработки данных сейсмической группы «Апатиты», эксплуатируемой ФИЦ ЕГС РАН. То же самое можно сказать и про алгоритм распространения инфразвука в атмосфере (trace-racing). В современных условиях санкционных ограничений это становится особо значимым.

Оригинально и достаточно просто решена задача подбора наиболее точной теоретической траектории предположительного движения снижающегося фрагмента. Примененный подход расчета большого количества теоретических траекторий и предположительных времен прихода сигналов на инфразвуковые группы от снижающихся по этим траекториям фрагментов заранее, по имеющимся моделям атмосферы, позволяет существенно разгрузить вычислительные мощности и снизить требования к полевой вычислительной технике при выполнении расчетов непосредственно после проведения пуска и получения экспериментальных времен прихода.

В разделе 3.4 приводится описание структуры программного комплекса и краткое описание входящих в него программ, их взаимодействие между собой. Возможно, если бы

описание программ было дано более широко, с детальным описанием их функциональных возможностей, требований к входным и выходным данным, это добавило бы вес представленной на рассмотрение диссертации. Несмотря на достаточно большое количество программных модулей, входящих в состав комплекса их взаимодействие хорошо автоматизировано и обеспечивается программой-интегратором. Через нее же производится и интерфейс с пользователем. К сожалению, детального описания интерфейса, скриншотов экрана с последовательностью действий оператора в представленной работе не приводится, поэтому оценить удобство пользования данным программным комплексом не представляется возможным, но, исходя из рисунков, приведенных в главе 5, визуализация результатов работы программ достаточно наглядная и понятная.

В четвертой главе рассмотрены результаты физического моделирования, проведенного в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по определению аэродинамических характеристик типовых фрагментов конструкции ОЧ РН «Союз». Типовые фрагменты конструкции первой ступени ракеты-носителя «Союз» были изготовлены в виде масштабных моделей, а затем последовательно продувались в аэродинамической трубе под разными углами. В результате определялся аэродинамический коэффициент S , для каждого из типового фрагмента. Результаты физического моделирования сравнивались с данными экспериментальных наблюдений. Выяснилось, что оценки параметра S , рассчитываемые разработанным программным комплексом, хорошо коррелируют с параметром S , полученным в ходе физического моделирования. Для создания базы данных фрагментов ракет-носителей, их волновых форм и параметра S был проведен ряд экспериментальных работ в Республике Казахстан, где достоверность расчетных мест падений фрагментов обеспечивалась гарантированным обнаружением всех фрагментов 2-й ступени, ввиду удачного расположения района падения исключительно в степной местности и применением наземного поиска. Совпадение данных физического моделирования и экспериментальных данных позволило подтвердить правильность примененных в составе программного комплекса алгоритмов и заложить основу базы данных волновых форм фрагментов ракет-носителей. Всего в базе данных имеется информация о 486 найденных фрагментах ракет-носителей «Протон» и «Ангара». Также 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 обечаек, двигателей, обтекателя и т.д.). Это позволяет с минимальными затратами набрать объем статистических данных, достаточный для реализации мероприятий по уменьшению площадей районов падения с одной стороны, и существенно упростить планирование и организацию работ по очистке районов падений от упавших фрагментов.

В пятой главе приводятся несколько примеров практического применения мобильного автономного аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации и

технологии инфразвуковой локации для определения мест падения снижающихся фрагментов 1-й и 2-й ступеней ракет-носителей в штатных районах падения. Отладка технологии инфразвуковой локации снижающихся фрагментов первой и второй ступеней ракет-носителей проходила в течение 2009–2014 гг. на реальных пусках ракет-носителей «Протон», «Союз» и «Ангара». В главе 5 приведены 7 примеров работы комплекса инфразвуковой локации, показавшие наиболее значимые результаты и оказавшие влияние на его развитие. На мой взгляд, эту главу следует считать наиболее интересной в представленной работе, так как именно в ней подтверждаются все сделанные ранее теоретические расчеты и апробируются все технические предложения. Глава содержит достаточное количество иллюстративного материала, включающих волновые формы инфразвуковых сигналов, вызванных снижающимися фрагментами, картами-схемами мест рассчитанных и реальных падений фрагментов, фотографиями обнаруженных фрагментов. Приведенные примеры наглядно показывают эффективность работы комплекса, применение которого позволяют в десятки раз уменьшить площади поиска упавших фрагментов ракет-носителей, существенно снизив временные и материальные затраты поисковых групп. Наиболее показательным является пример применения комплекса при пуске ракеты-носителя «Ангара –А5.1Л». Использование комплекса позволило не только достаточно точно определить координаты мест падений фрагментов первой ступени ракеты, но и определить высоту начала интенсивного распада снижающейся ступени, которая оказалась на много ниже рассчитываемой конструкторами. Эти данные позволяют значительно уменьшить отведенный район падения, обеспечив экологическую безопасность распложенного рядом особо охраняемой природной территории Печоро-Ильчевского заповедника.

В заключении делаются основные выводы по результатам работы, дается обоснование защищаемых научных положений, коротко, но емко формулируются основные практические результаты применения разработанного аппаратно-программного комплекса. Также в заключении очень коротко рассматриваются перспективы по возможному применению и развитию комплекса.

Список публикаций автора диссертационной работы отражает основные теоретические и практические результаты исследования, обосновывает основные защищаемые положения. Автореферат диссертации по своему содержанию полностью соответствует основным идеям диссертации.

• Обоснованность научных положений

Автором сформулированы 4 научных положения, выносимые на защиту – новый алгоритм детектирования инфразвуковых сигналов; новый метод пеленгации инфразвуковых сигналов по нескольким инфразвуковым группам; новый действующий аппаратно-программный комплекс инфразвуковой локации; уникальная база данных волновых форм инфразвуковых сигналов различных элементов конструкции первой и второй ступеней ракет-носителей. Основные

выводы и защищаемые положения представляют собой результаты, которые прошли научное рецензирование и опубликованы в соответствующих научных изданиях, а также многократно представлялись на всероссийских и международных конференциях. Работа выполнялась автором в течении достаточно большого периода времени, с привлечением все более точных моделей, что позволяло последовательно повышать точность локации мест падений фрагментов ракет-носителей, что свидетельствует о правильности применяемых алгоритмов и программ расчета.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается большим объемом фактического материала, полученного автором в ходе проведения многочисленных успешных экспериментов, а также использованием апробированных на практике классических и современных методов и моделей распространения звука в неоднородной среде.

Новизна исследования состоит в использовании выявленных в последнее десятилетие закономерностей распространения инфразвуковых волн в атмосфере и современных средств регистрации и передачи инфразвуковых полей для создания аппаратно-программного комплекса, позволяющего прогнозировать места возможных падений фрагментов ракет-носителей на земную поверхность.

Практическая значимость сформулирована автором в заключении и сводится к следующему:

- разработанный метод инфразвуковой пеленгации позволяет в десятки раз сократить зоны поиска приземлившихся фрагментов отделяемых частей ракет-носителей с соответственным уменьшением материальных затрат, связанных с использованием авиационных средств;

- инструментально подтверждено выполнение программы первого испытательного пуска ракеты-носителя легкого класса «Ангара 1.2ПП» в части точности приземления ее фрагментов в районе падения на полуострове Камчатка;

- методом инструментального контроля подтверждено выполнение условий экологической безопасности в части особо охраняемых природных территорий при запуске ракеты-носителя «Ангара А5»;

- элементы, входящие в состав как технической, так и программной частей комплекса пассивной инфразвуковой локации, успешно используются для решения и других практических задач, таких как мониторинг откола айсбергов, мониторинг схода снежных лавин, определение места и причин катастрофы вертолета МИ-8 на архипелаге Шпицберген.

Результаты диссертационной работы внедрены в эксплуатацию двумя действующими предприятиями народного хозяйства.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

- результаты диссертационной работы необходимо широко внедрять в практику обеспечения пусков ракет-носителей, как инструмент экологического контроля мест падения фрагментов отделяемых частей в реальном масштабе времени, для снижения экологического ущерба, наносимый окружающей среде за счет оперативной локализации неблагоприятных последствий падения;

- применение АПК инфразвуковой локации в ракетно-космической деятельности, способно обеспечить решение задачи сокращения отчуждаемых территорий за счет установления причинно-следственных связей между конструктивными особенностями ракет-носителей, параметрами полетных заданий и состоянием реальной атмосферы с характеристиками реальных зон рассеивания фрагментов отделяемых частей;

- разработанный аппаратно-программный комплекс инфразвуковой локации может быть применен для решения различных научно-практических задач.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Представленная работа написана на хорошем научном языке, имеет совершенно логичную и последовательную структуру изложения, содержит обоснованные выводы. Однако, как и любой научный труд, она имеет и недостатки.

1. В Главе 1 рассматриваются примеры регистрации ударных волн от взрывов, сверхзвуковых самолетов, ракет, болидов. Однако источниками генерации ударных волн в атмосфере также являются вулканы, смерчи, ураганы, полярные сияния. Было бы целесообразно в этой обзорной главе привести примеры регистрации инфразвука и от этих источников.

2. В Главе 2 на рисунке 2.18 приводится функциональная схема модернизированной беспроводной инфразвуковой станции, разработанной на 2-м этапе разработки АПК. В Таблице 2.1 приводится описание назначения структурных элементов аппаратной части финальной версии комплекса, при этом функциональной схемы в тексте диссертации не приведено. Было бы правильным отобразить функциональную схему или схему деления аппаратной части разработанного комплекса, что существенно бы упростило восприятие о взаимодействии основных структурных элементов и частей.

3. В Разделе 3.4. приводится краткое описание программ АПК. Как следует из текста диссертации все программы написаны на языке Object Pascal в системе разработки Delphi 7.0. и работают под управлением операционной системы Windows XP или выше. Исходя из современных требований к программному обеспечению и учитывая, что данный АПК может быть использован для целей Министерства обороны РФ, более правильным было бы конвертировать ПО под операционную систему специального назначения «Astra Linux Special Edition».

4. В Главе 4 приводятся данные по физическому моделированию, проведенному на моделях ракеты-носителя «СОЮЗ». Применение АПК планируется для ракеты-носителя

«АНГАРА», которая имеет свои конструктивные особенности. Рекомендую автору в дальнейшем провести аналогичное моделирование с использованием макетов РН «АНГАРА».

5. В тексте диссертации и автореферата имеются несколько опечаток и технических ошибок. Например, на рисунках 5.12 и 5.13 отсутствует легенда, что не позволяет однозначно определить типы фрагментов, рисунки 5.17 и 5.20 имеют малый размер, затрудняющий считывание с них информации. В автореферате имеется 2 рисунка под номером 7, а в списке публикаций автора под №17 одним из авторов является Виноградов Ю.В.

Высказанные замечания не снижают достоинства диссертационной работы, а могут быть использованы автором для ее дальнейшего развития и совершенствования.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертация посвящена описанию мобильного автономного аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации, разработанного автором в Кольском филиале Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба Российской академии наук и внедренного в состав измерительных средств, обеспечивающих безопасность при проведении пусков ракеты-носителя нового типа «Ангара». Использование комплекса дало возможность автору разработать новый, теоретически обоснованный и практически апробированный, метод пеленгации объектов, движущихся в атмосфере со сверхзвуковой скоростью и генерирующих ударные волны в атмосфере. Данный метод был впервые успешно применен для целей ракетно-космической отрасли, доказав свою высокую эффективность, при применении в районах падений 1-х и 2-х ступеней ракет-носителей «Союз», «Протон» и «Ангара».

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям ВАК к докторским диссертациям.

По п.9: совокупность результатов работы содержит новое и своевременное решение научно-технической задачи, направленной на повышение эффективности ракетно-космической деятельности в России и вносит важный вклад в решение проблем экологии и охраны природы.

По п.10: диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит 4 новых научных положений, выдвигаемых для публичной защиты. По своему содержанию диссертационная работа Виноградова Юрия Анатольевича соответствует специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

По п.11, 13: основные результаты диссертационной работы опубликованы в 63 печатных работах. По результатам диссертационной работы получены 3 патента РФ, 1 авторское свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 2 акта внедрения в производство.

По п.14: в диссертации корректно используются результаты из научных работ, опубликованных соискателем лично, а также работ других авторов.

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».

Официальный оппонент,

научный руководитель Федерального государственного

бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Тайфун»

доктор технических наук (специальность 05.13.11 «Математическое

программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»)



Шершаков Вячеслав Михайлович

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун», научный руководитель

249038, Калужская область, г.Обнинск, ул.Победы, 4

Тел. (484) 399-70-37

E-mail: shershakov@rpatyphoon.ru

24 апреля 2022 года