



Уважаемые читатели!

В связи с изменением фирменного наименования Концерна наш научно-технический журнал со второго полугодия 2016 г. издается под названием «Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». Журнал с новым названием будет входить в Перечень ВАК. Признаются ВАКовскими и статьи, опубликованные в прошлых выпусках научно-технического журнала «Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей».

На сайте Концерна www.almaz-antey.ru/about/618 для всех желающих предоставлена возможность оформить подписку на e-mail-рассылку о наличии свежих номеров журнала в свободном доступе в сети Интернет.

Жду от вас новых интересных научных статей, а также отзывов, предложений и вопросов по поводу публикации на свой личный электронный адрес: antey@inbox.ru или по телефону +7 (495) 276-26-13.

Заместитель главного редактора

Денис Большаков





Современная практика продвижения научного журнала

Редакция научно-технического журнала «Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей» постоянно работает над подбором статей по актуальной тематике и стремится к качественному разнообразию каждого выпуска журнала. Результаты этой работы читатели могут видеть на страницах журнала.

Читательская аудитория «Вестника» охватывает всю территорию Российской Федерации, журнал рассылается более чем по 350 адресам, включая все предприятия Концерна, ведущие российские технические вузы, профильные организации Минобороны России и смежные с Концерном предприятия промышленности. Список рассылки постоянно пополняется новыми заинтересованными организациями и частными лицами, оформившими подписку на журнал через общероссийский каталог «Роспечать» (подписной индекс 79162).

Кроме стандартной рассылки редакция журнала применяет методы интернет-маркетинга для продвижения материалов научно-технического журнала «Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей» в сети Интернет. С 2015 г. редакция размещает «Вестник» в свободном доступе на трех электронных площадках (elibrary.ru, КиберЛенинка и сайт Концерна) и осуществляет e-mail-рассылку электронной версии журнала заинтересованным подписчикам.

Приведем некоторые результаты этой деятельности по состоянию на 22 ноября 2016 г.

Всего по данным сайта elibrary.ru статьи «Вестника» с марта 2015 г. были загружены 909 раз. Из 179 статей, размещенных в библиотеке elibrary.ru, было выполнено 106 цитирований, значит, в среднем каждая вторая статья была процитирована хотя бы один раз. Редакция журнала призывает авторов делать полноценные списки литературы, в том числе цитировать в публикациях и свои статьи, тезисы докладов, патенты, свидетельства о регистрации компьютерных программ.

Следует отметить, что анализ данных ресурса elibrary.ru по публикуемым в «Вестнике» статьям (рис. 1) позволил нам войти в перечень

ВАК именно по тем группам специальностей научных работников, по которым наиболее часто публикуются наши авторы:

05.02.00 – машиностроение и машиноведение;

05.07.00 – авиационная и ракетно-космическая техника;

05.12.00 – радиотехника и связь;

05.13.00 – информатика, вычислительная техника и управление;

08.00.00 – экономические науки.

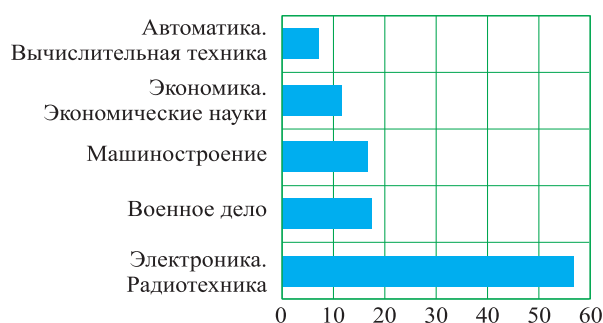


Рис. 1. Тематика статей научно-технического журнала «Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей» по данным сайта elibrary.ru

При всех достоинствах платформы elibrary.ru у нее есть один недостаток – полнотекстовые версии статей доступны только после регистрации на этом сайте. Проблема возникла сразу после первой рассылки информации о доступности статей из «Вестника» в сети Интернет. В редакцию поступило много звонков с просьбой пояснить, как использовать платформу elibrary.ru и как можно загрузить статьи из «Вестника», что побудило редакцию искать другие способы продвижения журнала в сети Интернет. В результате стали доступны еще две площадки: электронная библиотека «КиберЛенинка» и сайт Концерна.

Количество загрузок из электронной библиотеки «КиберЛенинка» с июля 2015 г. составляет 1570 загрузок полнотекстовых версий статей. Следовательно, с июня 2015 г. из 71 размещенной в «КиберЛенинке» статьи каждая была загружена в среднем 22 раза. За день в среднем загружается три статьи из «Вестника». Кроме того, в «КиберЛенинке» существует



возможность поделиться своей статьей в распространенных в России социальных сетях (ВКонтакте, Facebook, Twitter, Google+, Одноклассники.ru). В этом случае помимо коллег и читателей журнала статью смогут оценить еще и ваши друзья из социальных сетей.

Перед загрузкой в начале июля 2015 г. научно-технических статей «Вестника» на сайт Концерна редакция провела работу по поисковой оптимизации (SEO) страницы журнала на сайте Концерна, что позволило уже через две недели по низкочастотным запросам занять верхние позиции поисковых систем. В качестве примера читателям предлагается ввести в любую поисковую систему (Rambler, Google или Yandex) простой запрос «анализ затрат на научные исследования» и посмотреть на первую ссылку. Помесячный график (рис. 2) иллюстрирует динамику загрузок статей из «Вестника» за период с начала работ в июле 2015 г. до конца ноября 2016 г.

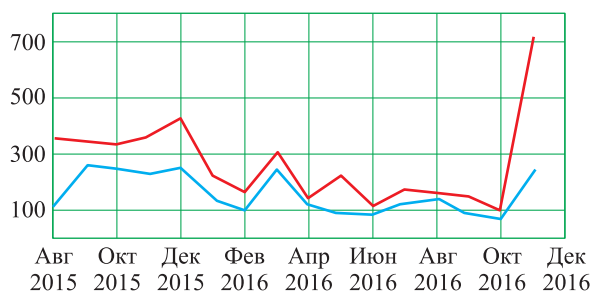


Рис. 2. Помесячный график загрузки статей из научно-технического журнала «Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей»:

— суммарный; — из поисковых систем

Из графика видно, что трафик из поисковых систем может достигать до 90 % от общего числа загрузок статей из «Вестника». Значит, статьи из журнала загружают пользователи, которые ищут информацию в поисковых системах и находят ее на сайте Концерна. Информацию ищут и находят, в том числе пользователи, которые не знали о существовании Концерна и «Вестника».

Результаты проведенной работы таковы. Общее количество загрузок статей из «Вестника» с сайта Концерна с августа 2015 г. по данным сервиса Yandex.Metrica составляет 4445. В среднем каждая статья была загружена 62 раза, в день в среднем – 8 статей журнала. Ежемесячное количество загрузок статей журнала обычно составляет не ниже 100.

Важный вопрос, который волнует авторов: «А сколько раз была загружена моя статья?» Для ответа на этот вопрос обратимся к графику (рис. 3), отражающему информацию, сколько раз были загружены самые часто и редко загружаемые статьи «Вестника». Если подсчитать сумму значений в точках перегиба графика, суммарное количество загрузок самой часто загружаемой статьи составляет 211, однако, даже самую редко загружаемую статью скачали 24 раза.

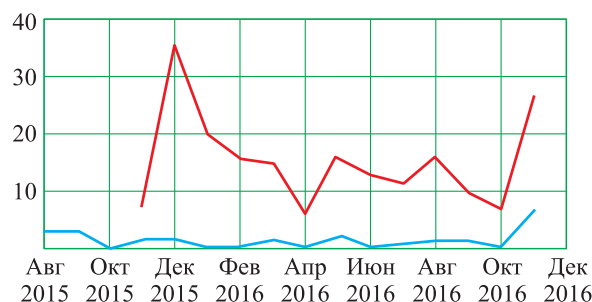


Рис. 3. Помесячный график загрузки самых часто и редко загружаемых статей из научно-технического журнала «Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей»:

— самая часто загружаемая; — самая редко загружаемая

Помимо поисковой оптимизации и размещения на площадках в сети Интернет редакция журнала проводит e-mail-рассылку информации о доступности свежих номеров «Вестника» в сети Интернет. Как показывает понедельный график загрузок (рис. 4), трафик в периоды проведения e-mail-рассылки (рис. 4, точки 1–3) значительно преобладает над поисковым трафиком.

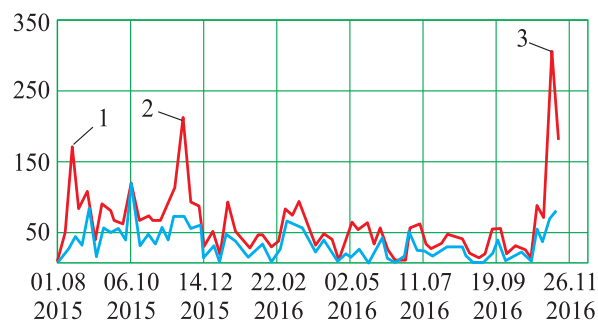


Рис. 4. Понедельный график загрузки статей из научно-технического журнала «Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей»:

— суммарный; — из поисковых систем



В базе рассылки «Вестника» 503 e-mail-адреса. Средняя открываемость рассылки составляет 58 %, а средняя кликабельность – 24 %. По результатам проведения 14 подписных кампаний с марта 2015 г. подписчики загрузили 1892 статьи из «Вестника». В среднем 136 подписчиков скачали хотя бы одну статью.

Сопоставительный график загрузок статей из «Вестника» на трех площадках и через e-mail-рассылку (рис. 5) показывает, что наименьшее значение по загрузкам статей имеет научная электронная библиотека elibrary.ru, что связано с необходимостью регистрации в ней для загрузок информации из журналов открытого доступа. Наибольшее совокупное значение загрузок имеет сайт Концерда, что связано с систематической работой по поисковой оптимизации на сайте Концерда и наличию e-mail-рассылки.

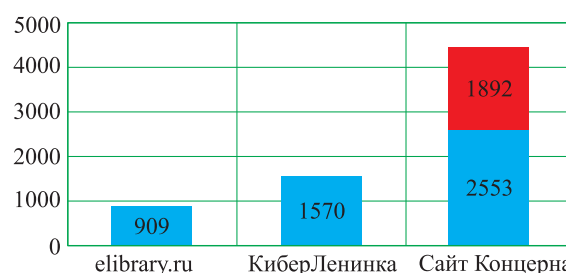


Рис. 5. Общее количество загрузок статей из научно-технического журнала «Вестник Концерда ВКО «Алмаз – Антей»:

■ – из e-mail-рассылки; ■ – из сети Интернет

Редакция журнала открыта к диалогу с читателями. Ваши предложения по расширению рассылки нашего журнала, по его продвижению в сети Интернет, социальных сетях и международных реферативных базах направляйте на электронный почтовый ящик редакции press@almaz-antey.ru.



Итоги I Научно-технической конференции «Математическое моделирование и инженерные расчеты»

30 ноября 2016 г. в научно-образовательном центре ВКО «Алмаз – Антей» им. академика В. П. Ефремова прошла I Научно-техническая конференция «Математическое моделирование и инженерные расчеты».

Открывая конференцию, генеральный директор Концерна Ян Новиков отметил, что проведение конференции является правильным начинанием, и данная площадка должна стать тем местом, где специалисты Концерна в области моделирования и инженерных расчетов смогут представлять результаты работы, а также делиться своим опытом и распространять лучшие практики и наработки среди всех предприятий, входящих в состав Концерна.

Конференция собрала 165 участников из 38 предприятий. Ее работа проводилась по трем секциям:

- газодинамика, теплообмен, сопротивление материалов, твердотельное моделирование;
- математическое моделирование и программирование;

- алгоритмы работы релейно-экспоненциального сглаживания и электромагнитное моделирование.

По итогам заслушивания участников конференции оргкомитет принял решение о присуждении 11 дипломов за лучшие доклады:

- Т. А. Антоновой, А. В. Семёнову, В. Г. Лисовскому, Е. Н. Хмельницкому, А. В. Кузьмичевой, А. И. Иванову, Х. Ш. Кунафину, Ю. В. Шкорлакову, М. В. Марковой, К. Ю. Сергунову, М. Н. Селуянову (ПАО «НПО «Алмаз»);
- Д. С. Логунову, А. Е. Феликсону (АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей»);
- А. Г. Викулову (ОАО «Корпорация «Комета»);
- Е. М. Ватрухину (АО «НТЦ Промтех-аэро»);
- И. М. Сергееву (ПАО «Радиофизика»);
- М. А. Исакову, М. Е. Ульянову (АО «НЗ 70-летия Победы»).



УДК 37.013.21:65.014.13

Д. Ю. Большаков, С. Е. Ерошин, Я. В. Новиков

Проблемы становления лидера трудового коллектива

Проанализированы положительные и отрицательные характеристики эмоционального интеллекта, присущие лидерам производственных и научных коллективов, занимающих руководящие посты. Предложен метод развития положительных и коррекции отрицательных характеристик для повышения интеллектуального потенциала лидера коллектива.

Ключевые слова: лидер, эмоциональный интеллект, трудовой коллектив.

Лидер в коллективе – это самобытная личность, которая при взаимодействии с коллегами становится ориентиром, мотивирует, заряжает оптимизмом. Коллектив, принимая и поддерживая лидера, добровольно объединяется вокруг него.

В зависимости от кругозора лидер выделяет перспективу выполнения работы, распределяет обязанности среди сотрудников, ставит главные задачи для исполнения. Неординарность мышления лидера, готовность к переменам и постоянный поиск путей достижения цели содействуют выполнению работы с необходимым качеством и в поставленные сроки.

Лидеры в первую очередь нужны в коллективах творческого труда, где многообразие работ преобладает над рутинной, например в научных организациях, на промышленных предприятиях, связанных с внедрением инноваций.

Лидер должен обладать определенными качествами. Американский ученый Дэниел Гоулман в своих исследованиях [1, 2] определил набор характеристик, сгруппировал их и ввел под общим названием «эмоциональный интеллект».

Как утверждает Д. Гоулман, эмоциональный интеллект на 66 % для работников среднего звена и на 85 % для управляющих должностей определяет выполнение работы с необходимым качеством в соответствующие сроки.

Эмоциональный интеллект увеличивается с возрастом, а коэффициент умственного развития – нет [2]. При этом расширяются и сферы приложения интеллектуального потенциала. Человек с высоким коэффициентом умственного развития способен изменить эмоциональный интеллект и использовать как мотивацию в своих действиях.

Бытующий постулат «лидерами рождаются» опровергнут Д. Гоулманом [1]. Однако полнофункциональные лидеры, обладающие необходимыми качествами, сами по себе появляются редко (из-за невозможности самореализации). По этой причине для улучшения продуктивности предприятия или отдельного коллектива целесообразно искать работников с выраженными лидерскими качествами и управлять развитием качеств, которые выражены не так ярко.

Выявленные авторами статьями с учетом работ [1–9] характеристики эмоционального интеллекта лидера, сведенные в группы, приведены в табл. 1 и 2.

Данные табл. 1 позволяют заключить, что развиваемые положительные характеристики, превышают трудноразвиваемые, по ним и целесообразно выявлять лидеров.

Нежелательные характеристики эмоционального интеллекта можно подразделить на корректируемые и труднокорректируемые (табл. 2), причем труднокорректируемых отрицательных значительно больше, чем корректируемых. Причем положительные качества негативно перекрываются меньшим набором поддающихся корректировке отрицательных, и в таком случае кандидат не будет рекомендован в лидерскую группу.

Процесс поиска и формирования лидеров в коллективе предлагается проводить следующим образом.

1. Выявить людей, которым присущи лидерские качества (провести наблюдение за действиями в коллективе, анкетирование, конкурс, собеседование с кадровиком или психологом, собрать мнения вышестоящих руководителей или руководителей смежных подразделений).

2. Организовать программу повышения квалификации по развитию недостающих ли-



Таблица 1

Необходимые характеристики эмоционального интеллекта

Характеристики	Развиваемые	Трудноразвиваемые
Интеллектуальные	Кругозор Умение выделять главное Умение разбираться в людях Последовательность	Быстрота реакции Сообразительность
Эмоциональные	Целеустремленность Ответственность	Энтузиазм Оптимизм
Духовные	Альтруизм Справедливость Доброжелательность Решительность Объективность	Самоотдача Беспристрастность Порядочность Щедрость Смелость
Творческие	Дипломатичность Ораторские навыки Дальновидность Представительность Инициативность Контактность Работоспособность	Чувство юмора

Таблица 2

Нежелательные характеристики эмоционального интеллекта

Характеристики	Корректируемые	Труднокорректируемые
Интеллектуальные	Некомпетентность Бессистемность Легкомысленность	—
Эмоциональные	Наглость	Лживость Самолюбование Апатия Истеричность
Духовные	Безответственность Грубость Аморальность Сумасбродство	Лицемерие Алчность Снобизм Мстительность Завистливость Беспринципность Леность Мелочность Злопамятство Трусость Пристрастность
Творческие	Многословие	Льстивость Интриганство Надменность

дерских качеств (тренинги, деловые игры, работа в проектных командах).

3. На основании полученных результатов выработать рекомендации по созданию условий для работы зарекомендовавших себя лидеров (расширение фронта работ, делегирование

полномочий, создание условий для непрерывного повышения квалификации).

При подборе претендентов на включение в программу повышения квалификации следует обращать внимание на развиваемые и корректируемые характеристики. Следует от-



метить, что за рамками статьи остаются профессиональные характеристики лидера, поскольку общеизвестно, что лидер может и не являться наиболее компетентным сотрудником коллектива в той области, в которой сосредоточены его профессиональные обязанности. Высшая компетенция необходима для интеллектуального лидера мнений [3].

Первичный отбор претендентов предлагается провести следующим образом. Приведенные в таблицу характеристики эмоционального интеллекта заносят в опросный лист в алфавитном порядке (табл. 3). Каждый пре-

тендент оценивает свои характеристики по десятибалльной шкале. Здесь важна самоидентификация человека, решившего заполнить опросный лист, как потенциального лидера. На основании анализа опросных листов формируется потенциальная лидерская группа.

Участие в процедуре самооценки выявит лидерские устремления потенциальных кандидатов и выделит характеристики эмоционального интеллекта, которые необходимо уточнять и развивать на следующих этапах.

Отдельные необходимые лидерские характеристики можно развивать, даже если они находятся в зачаточном состоянии [2]. Для тренировки развиваемой положительной и снижения корректируемой отрицательной характеристики применяют следующие методы: тренинги, деловые игры, работы в проектных командах [4, 5].

Отметим, что по отношению к социуму выделяют два типа лидеров: позитивные и негативные. Примером негативных могут быть главари неконституционных группировок и даже некоторые руководители (сотрудники) официальных структур. Таких лидеров характеризует симбиоз положительных и отрицательных качеств, связанные с этим сложные деловые отношения и моральный климат в руководимом коллективе.

Лидерство предполагает способность проявлять волю путем морального и административного воздействия на трудовой коллектив (в случае соответствующих полномочий). В этом смысле лидер – это субъект власти, которая основана на авторитете лидера.

Лидера определяют результаты коллектива и то, насколько его идеи и решения отвечают интересам дела и членов коллектива. Способность к компромиссу, умение минимизировать негативные последствия принимаемых решений – черты лидера.

В благоприятных условиях лидерские качества совершенствуются и развиваются при увеличении масштаба работы. Это наглядно видно на примере талантливых ученых и конструкторов, которые по мере карьерного роста приобретали достоинства надличностного характера.

Таблица 3

Вид опросного листа

Характеристика	Самооценка от 0 до 10 баллов
Альтруизм	
Беспристрастность	
Быстрота реакции	
Грубость	
Дальновидность	
Дипломатичность	
Доброжелательность	
Завистливость	
Инициативность	
Контактность	
Кругозор	
Леность	
Лицемерие	
Мстительность	
Наглость	
Объективность	
Оптимизм	
Ораторские навыки	
Ответственность	
Порядочность	
Работоспособность	
Решительность	
Самоотдача	
Смелость	
Сообразительность	
Справедливость	
Умение выделять главное	
Умение разбираться в людях	
Целеустремленность	
Надменность	
Чувство юмора	
Щедрость	
Энтузиазм	



Список литературы

1. *Гоулман Д.* Эмоциональный интеллект. Почему он может значить больше, чем IQ. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 500 с.
2. *Гоулман Д.* Эмоциональный интеллект в бизнесе. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 512 с.
3. *Большаков Д. Ю.* Выявление и поддержка интеллектуальных лидеров мнений в вертикально интегрированной структуре оборонно-промышленного комплекса // *Инновации*. 2016. № 7. С. 68–70.
4. *Большаков Д. Ю., Новиков Я. В.* Формирование расширенной компетенции инженерно-технических кадров для эффективного управления инновациями // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Социальная инноватика – 2015» Москва, 2015. М.: МИРЭА, 2015. С. 184–186.
5. *Горевая Е. С.* Опыт формирования инновационных и управленческих компетенций инженерных кадров в вузе // *Инновации*. 2015. № 3. С. 61–67.
6. *Клюев И. В.* Лидер мнения в политических коммуникациях // *Формирование гуманитарной среды в вузе: инновационные образовательные технологии. Компетентностный подход*. 2013. Т. 3. С. 329–334.
7. *Шелонаев С. И.* Типология акторов в современном медиапространстве // *Историческая и социально-образовательная мысль*. 2012. № 1. С. 190–194.
8. *Шафеева Н. Д.* Теоретические основы лидерских качеств студентов // *Среднее профессиональное образование*. 2011. № 10. С. 58–62.
9. *Котляров И. В.* Лидерство как теоретический концепт и объективная реальность: социологические тренды // *Социологический альманах*. 2014. № 5. С. 29–51.

Поступила 09.02.16

Большаков Денис Юрьевич – кандидат технических наук, начальник отдела АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва.

Область научных интересов: математическое моделирование, теория и методика профессионального образования, функциональная стилистика.

Ерошин Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, заместитель директора АНО ДПО «НОЦ ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва.

Область научных интересов: научно-образовательное сотрудничество, дополнительное профессиональное образование.

Новиков Ян Валентинович – кандидат экономических наук, генеральный директор АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва.

Область научных интересов: модернизация оборонной промышленности, экономические риски инновационных проектов.

Self-development problems of a work team leader

We analyse the positive and negative features of emotional intelligence characterising leaders of industrial and scientific teams who hold executive positions. We suggest a method for developing positive features and correcting negative ones so as to increase the intellectual capacity of a team leader.

Keywords: leader, emotional intelligence, work team.

Bolshakov Denis Yurevich – Candidate of Engineering Sciences, Head of Department, “Almaz – Antey” Air and Space Defence Corporation”, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: mathematical modelling, theory and methodology of vocational and higher education, functional stylistics.

Eroshin Sergey Evgenevich – Candidate of Engineering Sciences, Deputy Director, Independent non-profit organization of further vocational education “Almaz – Antey” Air and Space Defence Corporation”, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: scientific and educational cooperation, further vocational education.

Novikov Yan Valentinovich – Candidate of Economic Sciences, Director General, “Almaz – Antey” Air and Space Defence Corporation”, Joint Stock Company, Moscow.

Science research interests: defense industry modernisation, economic risks of innovation projects.



УДК 621.396.96:621.391.26

А. Б. Бляхман, С. Н. Матюгин, А. Г. Прохоров

О возможности применения обзорной радиолокационной станции для решения задач определения точек прицеливания (падения)

Рассмотрена возможность использования обзорных радиолокационных станций (РЛС) для распознавания баллистических целей (снарядов) и определения точек прицеливания (падения). Представлены результаты анализа натурных данных, полученных во время стрельбовых испытаний, а также способ, позволяющий распознавать баллистические цели (снаряды) с помощью РЛС обзорного типа. Разработаны математическая модель, алгоритм распознавания баллистических целей, алгоритмы и программное обеспечение для определения точек прицеливания (падения).

Ключевые слова: обзорные РЛС, баллистические цели, траекторная обработка, распознавание снарядов, точка прицеливания.

Введение

В современных локальных конфликтах, для которых характерна мобильная тактика ведения боя, широко применяется массированный артиллерийский огонь. Подавить огневые позиции противника за максимально короткое время можно при условии их оперативного вскрытия и оперативной корректировки собственного артиллерийского и минометного огня. В условиях недостаточной видимости или при невозможности организовать удобные пункты наблюдения для корректировщиков роль технических средств разведки, позволяющих решать указанные задачи, многократно возрастает.

На вооружении Российской армии имеются специализированные радиолокационные комплексы, позволяющие определять местоположение огневых позиций полевой артиллерии («Зоопарк», «Аистенок»), но в связи с актуальностью задачи требуется рассмотреть возможность использования для этой цели обзорных радиолокационных станций (РЛС).

В работе проанализирована возможность применения для решения этой задачи обзорной РЛС, работающей в длинноволновой части дециметрового диапазона. Было учтено влияние диапазона длин волн зондирующих сигналов, интервал времени обзора и другие факторы. Построена модель, позволяющая решать задачи распознавания снарядов и нахождения координат точек их прицеливания (падения).

Постановка задачи и метод

По наблюдаемым точкам требуется найти параметры траектории снарядов в трехмерном пространстве и определить точки их падения.

При решении задач, связанных со стрельбой, для этого применяют уравнения внешней баллистики. Для расчета траектории снаряда необходимо численное интегрирование системы дифференциальных уравнений внешней баллистики с помощью достаточно трудоемкого метода конечных разностей [1].

Задачу предложено решать в два этапа, таким образом понизив размерность уравнений: сначала определить ориентацию плоскости стрельбы относительно горизонтальной плоскости, а затем в найденной вертикальной плоскости определить параметры закона изменения высоты снаряда. На рис. 1 траектория полета снаряда представлена в двух плоскостях. На горизонтальной плоскости XOY (плоскость горизонта оружия) в системе координат, привязанной к РЛС, показана проекция полета, в вертикальной плоскости $Y'O'H'$ (плоскость стрельбы) – траектория полета. Таким образом, трехмерная задача разбивается на две двухмерные подзадачи.

В настоящее время получен ряд эмпирических уравнений, описывающих траекторию снаряда в воздухе, по виду сходных с известным уравнением траектории в безвоздушном пространстве [2]:

$$h = x \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \theta_0} (1 + KV_0^2 x), \quad (1)$$

где h – высота;

x – расстояние от точки пуска на горизонтальной проекции трассы;

θ_0 – угол стрельбы;

g – ускорение свободного падения;

V_0 – начальная скорость снаряда;

K – эмпирический коэффициент учета сопротивления воздуха.

© Бляхман А. Б., Матюгин С. Н., Прохоров А. Г., 2016

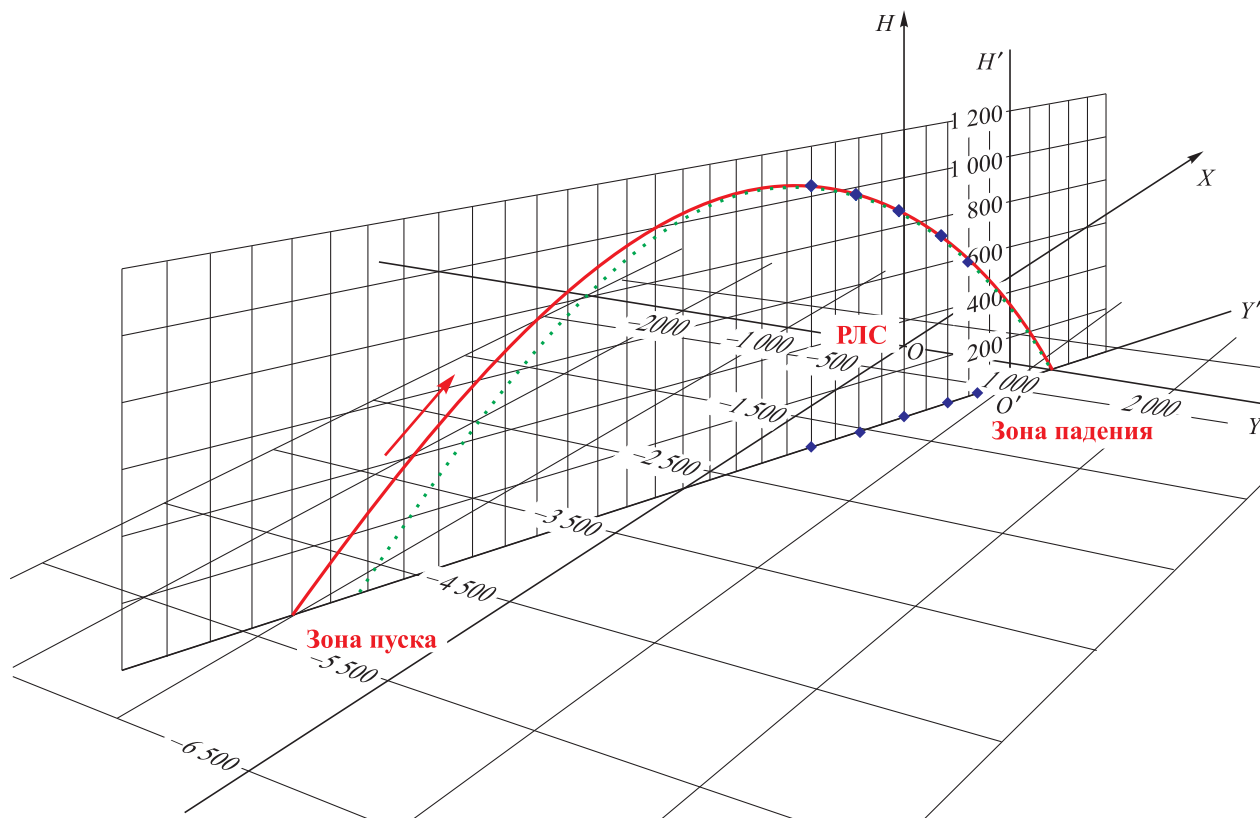


Рис. 1. Схема двухэтапного решения задачи

Добавляемый в уравнение траектории снаряда в воздухе множитель определяет большее, чем в пустоте, понижение снаряда относительно линии бросания, следовательно, при прочих равных условиях траектория имеет бóльшую крутизну и меньшую дальность, чем при стрельбе в пустоте. Значение коэффициента K определяют опытной стрельбой, по результатам которой определяют полную горизонтальную дальность [2].

Характерными признаками баллистической цели (БЦ) являются прямолинейность траектории в горизонтальной плоскости (обычно полагают, что деривация очень мала по сравнению с дальностью стрельбы) и хорошая аппроксимация траектории баллистической кривой в вертикальной плоскости. О прямолинейности траектории можно судить по степени аппроксимации ее линейной функции, т. е. по малому значению функции невязки экспериментальных точек с построенной по ним трендовой прямой. Существенное отклонение от этого условия свидетельствует о том, что цель движется не по баллистической траектории и, скорее всего, оснащена механизмами для изменения курса. Это первый признак классификации БЦ.

Второй признак – хорошая аппроксимация баллистической кривой, также определяемая малой невязкой экспериментальных точек, но в вертикальной плоскости. Эти признаки позволяют сделать вывод о принадлежности цели к классу баллистических.

В предложенной модели полагается, что снаряд летит без отклонений в горизонтальной плоскости. Для аппроксимации методом наименьших квадратов использованы линейные, квадратичные (без учета сопротивления воздуха) и кубические функции (построение баллистической кривой с учетом сопротивления воздуха) [3].

В качестве функции невязки при линейной аппроксимации взят корень из суммы квадратов отклонений экспериментальных данных от точной линейной зависимости, нормированный на число точек:

$$R_1 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - (A + Bx_i))^2}}{N}, \quad (2)$$

где $[x_i, y_i]_{i=1 \dots N}$ – набор из N пар координат экспериментальных точек;



A, B – коэффициенты аппроксимирующей прямой в горизонтальной плоскости $y = A + Bx$ [3].

В качестве функции невязки при квадратичной аппроксимации взят корень суммы квадратов отклонений экспериментальных данных от точной квадратичной зависимости, нормированный на число точек:

$$R_2 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (h_i - (ay_i'^2 + by_i' + c))^2}}{N}, \quad (3)$$

где $[h_i, y_i']_{i=1...N}$ – набор из N пар координат экспериментальных точек в вертикальной плоскости стрельбы;

a, b, c – параметры аппроксимирующей параболы в вертикальной плоскости $h = ay'^2 + by' + c$ [3].

Аналогично в качестве функции невязки при кубической аппроксимации траектории взят корень суммы квадратов отклонений экспериментальных точек трассы от точной квадратичной зависимости, нормированный на число точек:

$$R_3 = \left[\sum_{i=1}^N \left(h_i - \left(y_i' \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gy_i'^2}{2V_0^2 \cos^2 \theta_0} \times \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \times (1 + KV_0^2 y_i') \right) \right)^2 \right]^{1/2} / N, \quad (4)$$

где $[h_i, y_i']_{i=1...N}$ – набор из N пар координат экспериментальных точек в вертикальной плоскости стрельбы;

θ_0, V_0, K – коэффициенты баллистической кривой (1).

Как и следовало ожидать, аппроксимация с учетом сопротивления воздуха позволяет получить лучший результат, чем аппроксимация простой параболой. Однако баллистическую траекторию строят численно, а параболическую – аналитически, что позволяет сразу получить решение, подставив в формулу координаты наблюдаемых точек. Для численного решения требуется больше времени.

Наблюдаемое положение снаряда на траектории влияет на точность определения точек пуска и падения. Модельным расчетом показано, что параболическая аппроксимация по точкам на всей траектории позволяет определить

точку пуска и падения с точностью до одного порядка. В случае ограничения по техническим причинам участка слежения аппроксимация по точкам, расположенным на восходящей ветви траектории, позволяет лучше определить точку пуска. Аппроксимация по точкам вблизи вершины траектории дает возможность определить точки пуска и падения с близкой точностью, но хуже, чем при наличии точек на всей траектории. Аппроксимация по точкам на нисходящей ветви траектории оптимальна при определении точки прицеливания, так как при этом уменьшается участок экстраполируемой траектории. В ходе натурного эксперимента чаще реализовывался последний вариант.

Анализ натурных данных

На рис. 2, 3 представлены результаты параболической и баллистической аппроксимации натурной траектории в горизонтальной (значение функции невязки, рассчитанное по формуле (2), $R_1 = 2,9$ м) и вертикальной (значения функции невязки $R_2 = 3,3$ м и $R_3 = 2,8$ м, найденные по формулам (3) и (4) соответственно) плоскостях. Подрыв снаряда происходил в воздухе.

Баллистическая аппроксимация точнее приближает траекторию снаряда к истинной, но, как отмечалось, для ее расчета требуется существенно больше времени. При определении точки падения была учтена высота подрыва снаряда. В точке падения разность в результатах предложенных аппроксимаций с учетом сопротивления воздуха (баллистика) и без него (парабола) по оси Y' составила около 20 м, что в соответствии с проведенным расчетом подтверждает целесообразность учета в вычислениях сопротивления воздуха.

Из таблицы, где приведены сводные результаты расчета по всем дням стрельбовых испытаний, ясно, что в случае, когда дальность цели более 4000 м и цель движется под средними ракурсными углами менее 20° , амплитуда отраженного сигнала падает, увеличиваются ошибки при определении азимута, приводящие к тому, что среднее значение функции невязки R_1 , найденное по формуле (2), возрастает. В случае когда цель находится далеко и (или) низко, т. е. наблюдается под малыми углами места, возрастают ошибки при определении высоты, что приводит к возрастанию

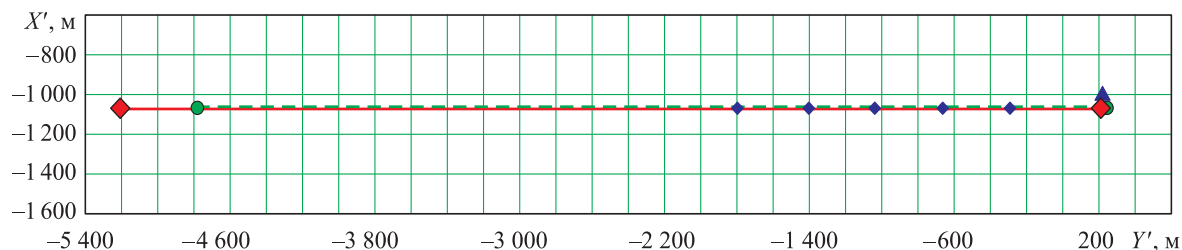


Рис. 2. Точки траектории БЦ в горизонтальной плоскости и два вида аппроксимации:

♦ – точки трассы; ▲ – контрольная точка подрыва снаряда; ● и ◆ – параболические и баллистические расчетные точки пуска и падения

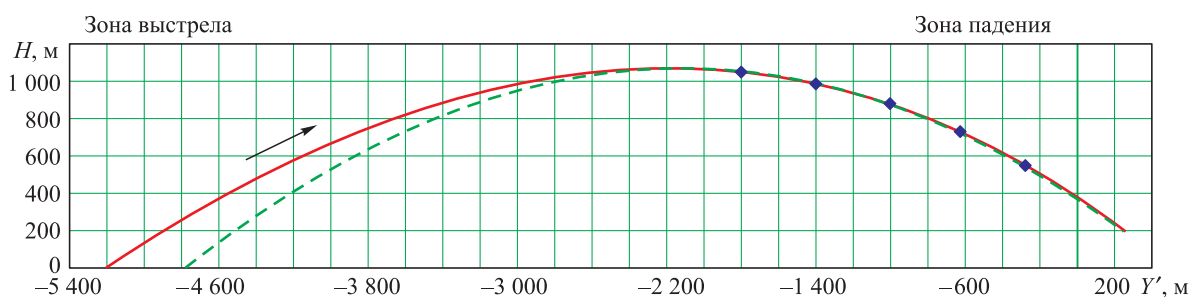


Рис. 3. Точки траектории БЦ в вертикальной плоскости и два вида аппроксимации:

..... – параболическая аппроксимация (без учета сопротивления воздуха); — – баллистическая аппроксимация (с учетом сопротивления воздуха); ♦ – точки трассы, полученные от РЛС

Сводные результаты расчета

Параметры	День стрельбовых испытаний					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Тип боеприпаса	122-мм		152-мм		РСЗО «Град»	
Общее число трасс	15	21	9	24	14	27
Число трасс с траекториями, определяемыми как баллистические	12	18	6	8	1	0
Вероятность распознавания БЦ, %	80,0	85,7	66,7	33,3	7,1	0
Диапазон дальности уверенного наблюдения D , м	1221...2832	1245...4443	4150...9790	4102...10376	7519...14624	8325...15723
Диапазон углов места по точкам уверенного сопровождения, град	4,3...21,1	19,6...51,3	1,7...22,2	0...21,8	-1,8...14,8	-0,8...16,6
Средний угол места по точкам уверенного сопровождения, град	17,0	30,6	15,5	14,8	5,4	7,2
Средний ракурсный угол по точкам уверенного сопровождения, град	53,8	39,0	16,0	15,3	6,5	9,8
Средняя амплитуда, отн. ед.	5493,8	1413,0	169,5	130,1	125,9	143,8
Среднее за день значение функции невязки линейной аппроксимации R_{1cp} , м	7,9	34,7	118,8	121,5	107,3	100,0
Среднее за день значение функции невязки квадратичной аппроксимации R_{2cp} , м	5,2	17,0	69,2	157,9	239,2	275,1



среднего значения функции невязки R_2 , найденного по формуле (3). При значениях $R_1(2)$, $R_2(3)$, не превышающих соответствующие пороговые значения, и опущенных вниз ветвях параболы (отрицательное значение коэффициента при старшей степени параболы), траектория классифицировалась как баллистическая.

На рис. 4 представлены результаты расчетов и данные контроля подрывов снарядов. Основная часть точек трасс располагается вблизи точек падения и на минимальной дальности

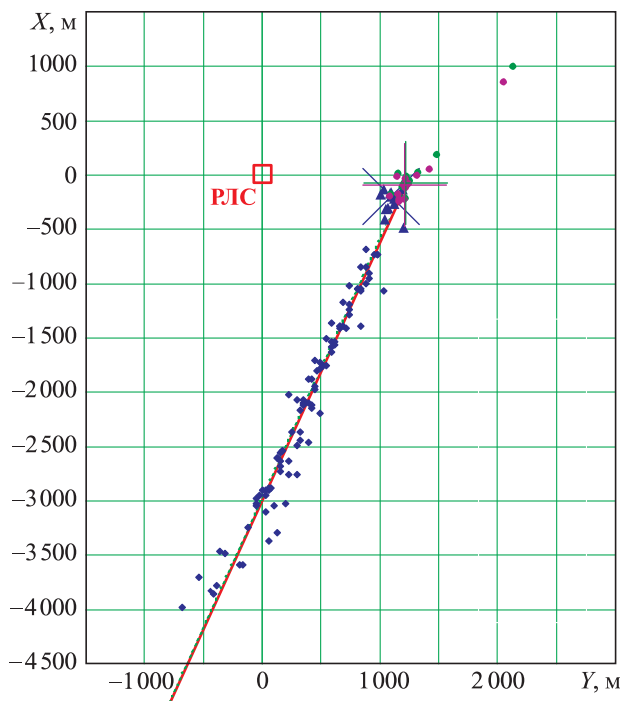


Рис. 4. Расчетные и натурные точки падения в системе координат РЛС (второй день стрельбовых испытаний):

- ♦ – точки уверенного сопровождения с радара; ▲ – контрольные точки падения; × – медиана координат контрольных точек падения; ● – точки падения (парабола); ● – точки падения (баллистика); – медиана расчетных точек падения (парабола); — — медиана расчетных точек падения (баллистика)

от РЛС. Видно, что разброс точек трассы уменьшается по мере приближения к точкам падения. Это связано с повышением точности измерения параметров при уменьшении дальности и увеличении примерно на 15...20 дБ отношения сигнал/шум отраженных от снарядов сигналов вследствие приближения значений ракурсных углов к 90° .

Ниже приведены результаты расчетов по трассам для второго дня стрельбовых испытаний:

Тип боеприпаса	122-мм	
Общее число трасс	18	
Число трасс с траекториями, определяемыми как баллистические	13	
Распознавание БЦ, %	72,2	
Метод аппроксимации	Парабола	Баллистика
Расстояние между медианами расчетных и контрольных точек падения, м	179,7	161,6
СКО точек падения, м:		
СКО _{⊥пад} (перпендикулярно трассе)	125,2	120,5
СКО _{пад} (параллельно трассе)	384,5	343,0

Расчет выполняли с использованием двух моделей – параболической (без учета сопротивления воздуха) и баллистической (с учетом сопротивления воздуха). Две трассы не имели достаточного для построения траектории числа точек, для двух других трасс было получено завышенное значение функции невязки линейной аппроксимации, еще у одной трассы ветви траектории в вертикальной плоскости были направлены вверх. Для каждой из оставшихся 13 трасс построено по две траектории полета – параболическая (без учета сопротивления воздуха) и баллистическая (с учетом сопротивления воздуха).

По результатам второго дня испытаний и карте контроля подрывов определено, что отклонение между медианами расчетных и контрольных траекторий полета составило 161,6 м (по баллистической аппроксимации). Среднее квадратичное отклонение всех точек падения в двух проекциях: СКО_{⊥пад} = 120,5 м и СКО_{||пад} = 343,0 м. Эти значения характеризуют параметры эллипса рассеяния, для которого отношение проекций зависит от углов падения снарядов. На рис. 5 представлены точки траекторий, полученных с РЛС за шесть дней стрельбовых испытаний, в системе координат РЛС. На рисунке видно, что с уменьшением дальности и увеличением ракурсного угла уменьшается разброс точек трассы, что связано с увеличением точности определения координат цели. Очевидно, что следствием этого будет улучшение точности определения координат точек падения. Увеличение эффективной площади рассеяния при ракурсных углах цели $70...90^\circ$,

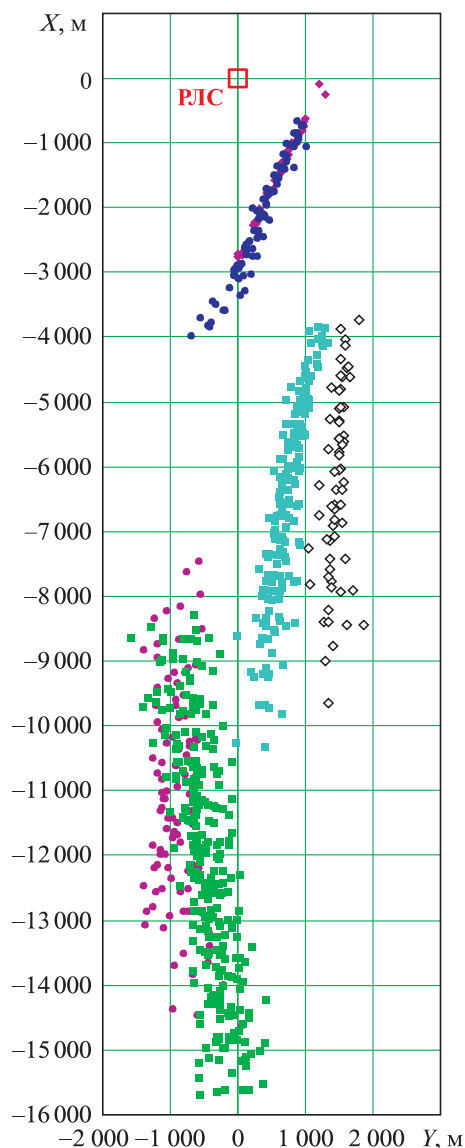


Рис. 5. Точки всех траекторий на горизонтальной плоскости, полученных за шесть дней стрельбовых испытаний:

- ♦ – 1-й день (122-мм); • – 2-й день (122-мм);
- ♦ – 3-й день (152-мм); ■ – 4-й день (152-мм);
- – 5-й день (РСЗО «Град»);
- – 6-й день (РСЗО «Град»)

исследованное в ряде работ [4–6], наблюдалось практически во всех экспериментах. Для получения достаточных точностных характеристик при определении точек падения необходимо учитывать эту особенность и размещать РЛС (или антенные модули) таким образом, чтобы обеспечить достижение наилучшей точности.

Выводы

1. Полученные результаты подтверждают возможность использования обзорных РЛС для решения задачи распознавания БЦ (снарядов) и определения точек их падения. Описанный

способ позволяет распознавать БЦ лишь на основе данных о траекториях, полученных с обзорных РЛС, и определять точки падения. При этом вероятность правильного распознавания БЦ будет зависеть от точности определения прямоугольных координат цели. В отличие от существующих специализированных РЛС [7], реализующих слежение и сопровождение цели и требующих большого объема исходных данных, в РЛС обзорного типа при использовании описанного способа удастся добиться необходимых результатов при малом объеме исходных данных.

2. При баллистической аппроксимации отклонение между медианами расчетных и контрольных точек падения снарядов составило 161,6 м, при этом $СКО_{\perp пад} = 120,5$ м, $СКО_{\parallel пад} = 343,0$ м (эти значения характеризуют параметры эллипса рассеяния).

3. Способ построения траекторий БЦ, классификации и нахождения точек падения, продемонстрированный на примере данных, полученных с РЛС обзорного типа, работающей в длинноволновой части метрового диапазона, пригоден и для других типов обзорных РЛС, позволяющих получать необходимые данные о траекториях.

4. На основе проведенного анализа можно предположить, что применение нескольких оптимально расположенных РЛС (или разнесенных вдоль линии боевого соприкосновения антенных и приемных модулей) должно обеспечить достаточную точность при определении траекторий БЦ (снарядов) и точек их прицеливания (падения). Подобный анализ применим также при определении точек пуска (выстрела).

Список литературы

1. Внешняя баллистика / А. Д. Чернозубов и др. М.: ВАИА им. Ф. Э. Дзержинского, 1954. Т. 1 – 463 с.; Т. 2 – 496 с.
2. Огневая подготовка. Ч. 1: Основы и правила стрельбы. Управление огнем / под общ. ред. Ю. И. Семенова. М.: Воениздат, 1978. 337 с.
3. Бахвалов Н. С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения). М.: Наука. 1975. 632 с.
4. Антифеев В. Н., Борзов А. Б., Быстров Р. П., Исаев И. Ш., Соколов А. В. Математические



модели рассеяния электромагнитных волн на объектах сложной формы // Электромагнитные волны и электронные системы. 1998. № 10. С. 39–54.

5. Борзов А. Б. Анализ радиолокационных характеристик объектов сложной формы методом математического моделирования // Боеприпасы. 1994. № 3, 4. С. 32–38.

6. Шмагер Е. А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы. М.: Радио и связь, 1986. 184 с.

7. Оружие России. Каталог. Т. I: Вооружение Сухопутных войск, 1996–1997. М.: АО «Милитэри Пэрэйд», 1995. 246 с.

Поступила 01.03.16

Бляхман Александр Борисович – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе АО «ФНПЦ «ННИИРТ», г. Нижний Новгород.
Область научных интересов: радиолокация.

Матюгин Сергей Никандрович – кандидат физико-математических наук, начальник сектора АО «ФНПЦ «ННИИРТ», г. Нижний Новгород.
Область научных интересов: распространение радиосигналов, цифровая обработка радиолокационных сигналов и оптических изображений, распознавание образов.

Прохоров Антон Геннадьевич – инженер первой категории АО «ФНПЦ «ННИИРТ», г. Нижний Новгород.
Область научных интересов: разработка и исследование алгоритмов, цифровая обработка изображений, распознавание образов, нейросети.

On the possibility of employing a surveillance radar station to solve the problems of locating points of aim (points of impact)

We consider the possibility of employing a surveillance radar station to recognise ballistic targets (projectiles) and locate points of aim. We present the results of full-scale live-fire trial data analysis and a method for implementing ballistic target (projectile) recognition by radar stations of the surveillance type. We developed a mathematical model, an algorithm for ballistic target recognition, as well as algorithms and software to locate the point of aim
Keywords: surveillance radar stations, ballistic targets, tracking, projectile recognition, point of aim.

Blyakhman Aleksandr Borisovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy General Director in Research Work, Federal Research and Production Centre Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering, Joint Stock Company, Nizhny Novgorod.
Science research interests: radiolocation

Matyugin Sergey Nikandrovich – Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Head of Sector, Federal Research and Production Centre Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering, Joint Stock Company, Nizhny Novgorod.
Science research interests: radio signal propagation, digital processing of radiolocation signals and optical images, image recognition

Prokhorov Anton Gennadevich – Engineer of the 1st rank, Federal Research and Production Centre Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering, Joint Stock Company, Nizhny Novgorod.
Science research interests: algorithm research and investigation, digital image processing, image recognition, neural networks.



УДК 621.396

В. В. Березин, А. М. Щитов

Оптимизация параметров диодов широкополосного утроителя частоты 75...110 ГГц

Проведена оптимизация параметров диодов широкополосного утроителя частоты 75...110 ГГц на основе предложенной методики расчета и проектирования с целью повышения эффективности преобразования.

Ключевые слова: утроитель частоты, СВЧ-устройство, вольт-фарадная характеристика, выходная мощность.

Введение

Широкополосные диодные умножители частоты используются в источниках СВЧ- и КВЧ-сигналов в качестве выходных формирующих каскадов. Принцип умножения частоты положен в основу построения большинства современных отечественных и зарубежных твердотельных измерительных генераторов и синтезаторов в диапазоне частот выше 20 ГГц.

Целью работы является повышение эффективности преобразования утроителя частоты 75...110 ГГц, поскольку именно этот параметр определяет уровень выходной мощности источника сигналов при отсутствии выходного усилителя.

Одной из проблем проектирования СВЧ- и КВЧ-устройств на нелинейных элементах является отсутствие эффективных методик автоматизированного расчета на базе системы автоматизированного проектирования (САПР), объединяющих электродинамические методы анализа волноведущих структур с результатами расчета характеристик нелинейных полупроводниковых элементов.

Несмотря на обилие различных методов (аналитических и численных) анализа нелинейных СВЧ-устройств (смесителей, умножителей частоты и др.), задача их проектирования достаточно сложна, обычно решается итеративно, при этом важную роль играют экспериментальные исследования и практическая «доводка» реализованной схемы.

Эффективность работы умножителей частоты СВЧ- и КВЧ-диапазонов зависит как от оптимально выбранных схемно-конструктивных элементов устройства, так и в значительной степени от параметров используемых нелинейных элементов (диодов). В первую очередь

от величины паразитных параметров, степени неидентичности, характера нелинейности вольт-амперной (ВАХ) и вольт-фарадной (ВФХ) характеристик, габаритных размеров и др.

Предложенная в работе [1] методика расчета и проектирования диодного утроителя частоты позволяет с достаточной для практики точностью определить требования к основным параметрам умножительных диодов для обеспечения заданных характеристик устройства. **Конструктивные особенности утроителя частоты**

Утроитель частоты, для которого проводилась оптимизация параметров диодов, конструктивно выполнен в виде двух последовательно соединенных волноводов различных сечений: входного WR-28 и выходного WR-10 [2]. В разрезе по центру широких стенок волноводов вставлены металлические пластины толщиной 0,2 мм, образующие Н-образный волновод (рис. 1).

Сечение выходного волновода на начальном участке заужено до $2,14 \times 1,27$ мм для того, чтобы сделать его запредельным для диапазона частот второй гармоники входного сигнала. Диоды с цепями автосмещения установлены с разных сторон пластины строго симметрично, примерно в месте соединения волноводов различного сечения. Со стороны входа на расстоянии $\lambda_{\text{вых.ср}}/4$ установлена полиимидная пластина ($1 \times 0,5 \times 0,05$ мм с односторонней металлизацией), выполняющая роль согласующего элемента и короткозамыкателя для третьей гармоники. Непосредственно за диодами установлена пластина ($0,5 \times 0,25 \times 0,05$ мм), осуществляющая согласование по выходу (рис. 1). На рис. 2 показан внешний вид утроителя.

Наиболее приоритетными техническими характеристиками широкополосных умножителей частоты являются: эффективность (поте-

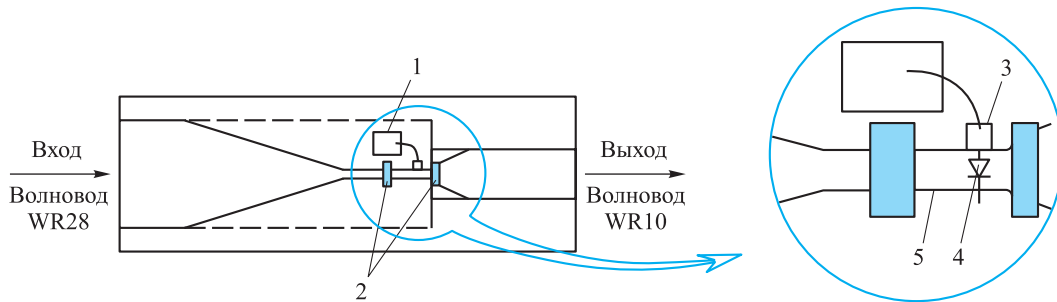


Рис. 1. Эскиз утроителя частоты 75...110 ГГц:

1 – резистор; 2 – полиимидная пластина; 3 – конденсатор; 4 – диод; 5 – регулярный участок



Рис. 2. Внешний вид утроителя частоты 75...110 ГГц

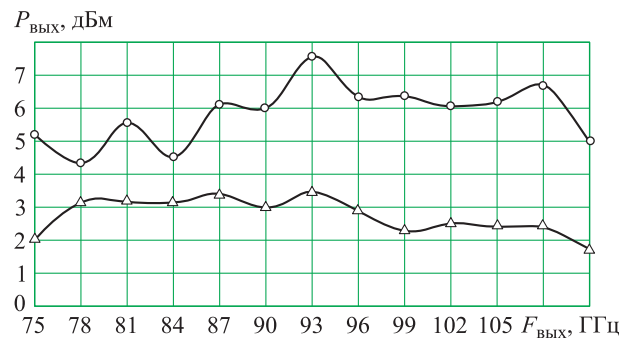


Рис. 3. Уровень выходной мощности утроителя частоты при $P_{вх} = 100$ мВт:

—○— расчет; —△— эксперимент

ри) преобразования, максимально достижимая выходная мощность, неравномерность выходной мощности в диапазоне частот и уровень паразитных составляющих в спектре выходного сигнала.

Экспериментально установлено, что наилучшие характеристики широкополосного 75...110 ГГц утроителя (минимальные потери преобразования, максимальная выходная мощность ~2...3 мВт) обеспечиваются при использовании бескорпусных умножительных диодов Шоттки с балочными выводами типа А92220-2 (НПО «Салют», г. Нижний Новгород) [3, 4].

Типичные характеристики диодов: емкость при нулевом смещении $C_0 = 0,07$ пФ; сопротивление потерь $R_s = 5$ Ом.

Диоды могут быть подобраны в пары с неидентичностью характеристик по ВАХ и ВФХ порядка 10 %.

Результаты расчета

С помощью методики расчета и проектирования широкополосного утроителя [1] оптимизирована конструкция умножителя с использованием диодов типа А92220-2 с идентичными характеристиками.

Полученные результаты представлены на рис. 3.

Экспериментальная характеристика, усредненная по 10 образцам утроителей, отличается от расчетной не более чем на 1...4 дБ.

Проанализируем зависимость уровня выходной мощности утроителя от вариации основных параметров диодов.

На рис. 4 приведены расчетные характеристики уровня выходной мощности для различных значений C_0 диодов при фиксирован-

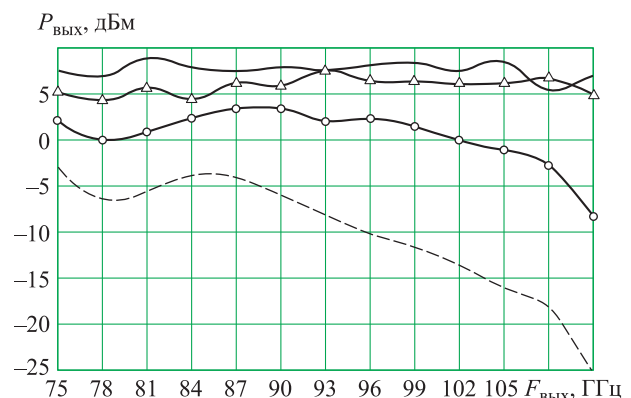


Рис. 4. Уровень выходной мощности при $P_{вх} = 100$ мВт, $R_s = 5$ Ом и различных C_0 , пФ:

—○— 0,01; —△— 0,07; —○— 0,15; ---- 0,25

ном $R_s = 5 \text{ Ом}$, а на рис. 5 – для различных R_s при $C_0 = 0,07 \text{ пФ}$.

Очевидно, что одновременное уменьшение C_0 и R_s для повышения эффективности преобразования умножителя невозможно без снижения допустимой мощности рассеяния диодов, поэтому оптимальные значения C_0 и R_s для данного диапазона частот утроителя и максимального уровня входной мощности 100 мВт выбирают из компромисса: $C_0 = 0,07 \text{ пФ}$ и $R_s = 5 \text{ Ом}$.

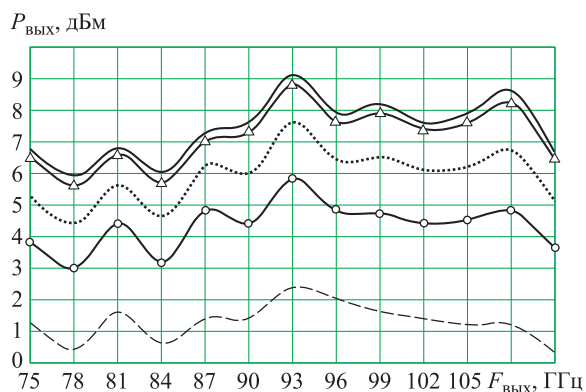


Рис. 5. Уровень выходной мощности при $P_{\text{вх}} = 100 \text{ мВт}$, $C_0 = 0,07 \text{ пФ}$ и различных R_s , Ом:
— — 0,1; —△— 1,0; — 5,0; —□— 10;
---- 20

Требования к неидентичности параметров диодов по C_0 и R_s , вызывающей паразитные составляющие в спектре выходного сигнала утроителя, подробно проанализированы в работе [1]. Показано, что при минимально достижимой на практике неидентичности C_0 и R_s в 10 % вторая гармоника относительно третьей подавлена на 25 дБ, а четвертая – на 35 дБ. Уровень второй гармоники более критичен к неидентичности диодов по R_s , а четвертой – по C_0 . Заметим, что в широкополосном утроителе частоты 75...110 ГГц вторая и четвертая гармоники не могут быть отфильтрованы, поскольку находятся в рабочем диапазоне частот или в непосредственной близости, поэтому требования к неидентичности параметров диодов весьма высоки.

Эффективность преобразования в значительной степени зависит от характера изменения крутизны ВФХ умножительных диодов. Рассмотрены три различных ВФХ: номинальная, которая соответствует реальным диодам A92220-2, пологая и крутая (рис. 6).

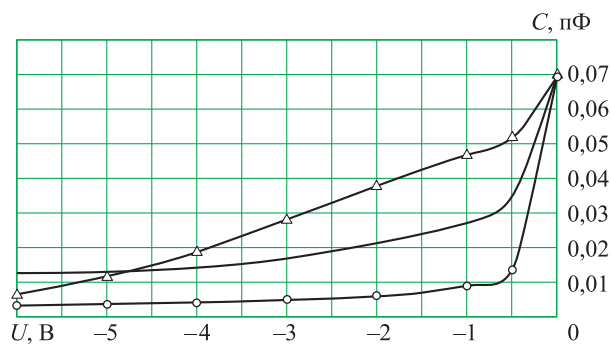


Рис. 6. Семейство ВФХ-диодов:

— — номинальная; —△— — пологая; —○— — крутая

На рис. 7 приведены характеристики уровня выходной мощности в зависимости от крутизны ВФХ.

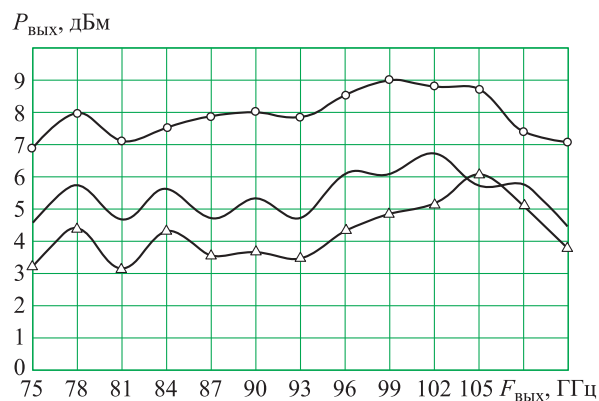


Рис. 7. Уровень выходной мощности в зависимости от крутизны ВФХ:

—○— — крутая; — — номинальная; —△— — пологая

Сравнение результатов показывает, что более крутая ВФХ позволяет повысить эффективность преобразования примерно на 2 дБ.

Заключение

Проведенные расчеты показали существенное влияние параметров диодов и степени нелинейности их ВФХ на уровень выходной мощности утроителя частоты. При оптимальном выборе параметров диодов можно реализовать утроитель частоты 75...110 ГГц с выходной мощностью не менее 5 мВт при $P_{\text{вх}} = 100 \text{ мВт}$ (потери преобразования не более 13 дБ с неравномерностью $\pm 1 \text{ дБ}$) и уровнем подавления побочных составляющих в спектре выходного сигнала не менее 25 дБс.

Сравнивая полученные результаты расчета с параметрами аналогичной модели утроителя частоты WR10X3, реализуемой одной из ведущих зарубежных фирм Virginia



Diodes, Inc., отметим, что в диапазоне частот 75...110 ГГц она имеет потери преобразования 12...15 дБ.

Учитывая хорошее совпадение расчетных и экспериментальных результатов по всем основным характеристикам утроителя частоты, можно констатировать, что предложенная методика позволяет априорно определить потенциально возможные характеристики нелинейного устройства без проведения дорогостоящих и трудоемких экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Березин В. В., Щитов А. М., Оболенский С. В. Методика расчета и проектирования волнового диодного утроителя частоты 75–110 ГГц // Материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. «Информационные системы и технологии

(ИСТ-2015)», 17 апреля 2015 г. Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2015. С. 62–63.

2. Щитов А. М., Серебряков А. Е. Широкополосные умножители частоты миллиметрового диапазона (26,5–110 ГГц) // Вестник ВКО АТН РФ. Серия «Высокие технологии в радиоэлектронике». 1997. № 1 (3). С. 91–96.

3. Щитов А. М. Диодные умножители частоты // Системы и средства связи телевидения и радиовещания. 2002. № 1, 2. С. 45–51.

4. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы / А. М. Кудрявцев И. Г. Мальтер, А. Е. Львов и др.; под ред. А. М. Кудрявцева. М.: Радиотехника, 2006. 208 с.

Поступила 22.11.16

Березин Виталий Витальевич – аспирант кафедры электроники Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, инженер 1 категории АО «ФНПЦ «ННИИРТ», г. Нижний Новгород. Область научных интересов: широкополосные преобразователи частоты СВЧ- и КВЧ-диапазонов.

Щитов Аркадий Максимович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ОАО «ФНПЦ «ННИПИ «Кварц» имени А. П. Горшкова», г. Нижний Новгород. Область научных интересов: преобразование частоты в приемно-передающей и радиоизмерительной аппаратуре СВЧ- и КВЧ-диапазонов.

Optimization parameters of broadband tripler diodes of 75...110 GHz frequency

We optimized the parameters of the broadband tripler diodes of 75...110 GHz frequency according to the proposed method of calculation and design in order to increase the conversion efficiency

Keywords: frequency tripler, microwave device, capacitance-voltage curve, power output.

Berezin Vitaliy Vitalievich – postgraduate student of the Department of Electronics, Lobachevsky University of Nizhny Novgorod (UNN), first rank engineer of Joint-stock company “Federal Research and Production Centre “Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering (NNIIRT)”, Nizhny Novgorod. Science research interests: microwave and extremely high frequency band converters.

Schitov Arkadiy Maksimovich – Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of Open joint-stock company “Federal Research and Production Centre “Institute of Electronic Measurements “Kvartz”, Nizhny Novgorod.

Science research interests: the frequency conversion in the receiving and transmitting equipment and radio measuring devices of microwave and extremely high frequency band.

УДК 662.215.25

В. Д. Головатенко, А. В. Головатенко

Стеснение каверны от кумулятивной струи в преграде с краевыми экранами

Предложен и экспериментально подтвержден акустический метод торможения и останова продвижения кумулятивной струи в преграде путем выполнения в ней акустической щели на противоположной стороне от установленного профилированного линейного кумулятивного заряда (ЛКЗ). Определен диапазон давлений, создаваемых ЛКЗ с профилированной выемкой, дана оценка длины гидродинамической волны процесса пенетрации.

Ключевые слова: акустика, волна, закрепление, каверна, лидер кумулятивной струи, кумулятивный ударник, недорез, останов продвижения, преграда, реакция экрана (проставки), фокус.

В работе рассмотрено разрушение преграды кумулятивной струей (КС), которая образуется при подрыве линейного кумулятивного заряда (ЛКЗ), имеющего профилированную выемку. Ранее было выявлено, что скорость разрушения преграды ниже скорости детонации использованного взрывчатого вещества и скорости перемещения волны напряжения, характерного для металла преграды [1]. Это позволило применить к анализу разрушения преграды КС теорию взаимодействия ударных волн с твердыми телами [2, 3], используемую при обработке металлов взрывом.

Процесс формирования КС после подрыва профилированного заряда глубоко исследован теоретически и экспериментально (работы ТулГУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, РФЯЦ-ВНИИЭФ), однако процесс разрушения, протекающий непосредственно в массиве преграды, представлен только гидродинамической теорией Покровского – Биркгоффа и ее модификациями. Это связано со сложностью регистрации параметров процесса разрушения преграды, протекающего при сверхвысоких значениях давления, температуры и в короткий промежуток времени.

Целью работы было определение параметров процесса разрушения преграды посредством измерения в ней недорезов, полученных в результате торможения и останова КС с помощью воздействия на нее волны напряжений, отраженной от проставок (экранов).

Метод управления продвижением КС в преграде основан на использовании воздействия на преграду отраженной ударной волны, полученной в результате установки в кон-

струкции на пути продвижения ударной волны проставок (экранов) и (или) создания в преграде акустической щели. Были исследованы процессы, протекающие в преграде в момент воздействия на нее КС, посредством определения характеристик ударных волн (прямой и отраженной), найдены значения давления, при которых протекает процесс, и длина волны колебания КС при прохождении ею преграды.

В качестве экспериментального объекта были использованы пустотелые цилиндрические оболочки (корпуса), установленные раздельно или соединенные между собой последовательно, причем между стыками оболочек устанавливались проставки (экраны), изготовленные из металла, отличающегося от сплава оболочек. В одном из соединенных корпусов устанавливался ЛКЗ, изготовленный из профилированной медной трубки, заполненной взрывчатым веществом – октогеном (рис. 1). Размеры акустической щели (канавки): ширина $9 \cdot 10^{-3}$ м, глубина $8 \cdot 10^{-3}$ м. Во внутреннем пространстве ряда оболочек были размещены имитаторы приборов с закрепленными на них акселерометрами (вибродатчиками).

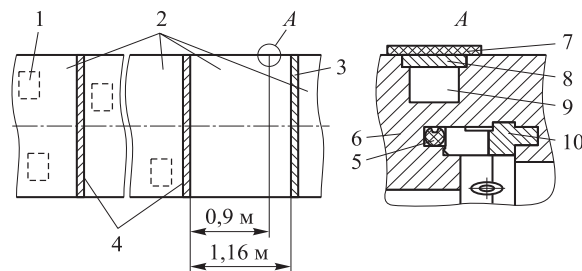


Рис. 1. Схема размещения оборудования в оболочках летательного аппарата:
1 – имитаторы приборов с вибродатчиками; 2 – оболочки; 3 – стальная проставка; 4 – титановые проставки; 5 – ЛКЗ; 6 – преграда; 7 – пластмассовая накладка; 8 – планка шторки; 9 – акустическая щель; 10 – фиксатор линейного заряда

© Головатенко В. Д., Головатенко А. В., 2016



Для измерения вибронагрузок на имитаторах приборов при испытаниях использовалось регистрирующее оборудование: четырехканальные усилители-формирователи Bruel & Kjaer типа 2692-A-0S4, акселерометры Bruel & Kjaer типа 4371, 4384 и измерительно-вычислительный комплекс, который включал монолитное шасси Comract RIO с RIO-9074 и модули NI 9205, NI 9215, NI 9234, NI 9263, NI 9481 (технические характеристики модулей соответствуют требованиям ГОСТ 22261–94). Собственная частота акселерометров составляла 45 кГц, частота комплекса 10 кГц.

При проведении экспериментов внешнюю канавку не заполняли резиноподобным материалом, имеющим большое «живое» упругое сопротивление, при котором была определена скорость разрушения преграды в [1], а закрывали шторкой, состоящей из набора планок толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м (материал – сплав АМгЗМ по ГОСТ 21631–73). Для фиксации этих планок в сборке был использован герметик ВИКСИНТ У-4-21 по ТУ 38.303-04-04–90, а поверх шторки устанавливали стеклопластиковую накладку из материала ТЗМК-8 толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м. Преграда была выполнена в виде полого цилиндра длиной $8 \cdot 10^{-2}$ м из сплава АМг6М, поковка по ОСТ 190073–85.

Толщина преграды в месте ее разрушения составляла $4,5 \cdot 10^{-3}$ м. Экспериментально подтверждено, что мощность ЛКЗ достаточна для разрушения преграды в этой конструкции. Время разрезания преграды при скорости КС 355...370 м/с соизмеримо со временем перемещения волны напряжений в металле преграды до экранов и обратно в зону разрушения. Перемещающиеся при этом вдоль цилиндра волны напряжений, дойдя до экранов и отразившись от них, возвращаются в зону разрушения в виде отрицательного напряжения – силы, дополнительно участвующей в растяжении и разрушении металла (последнее объясняется теорией звука). При выполнении граничных условий (непрерывность напряжений и скоростей в каждой части металла преграды, подверженной разрушению на стыке двух разнородных материалов), напряжение в отраженной волне вычисляли, как и в [2], через напряжение в падающей волне:

$$\sigma_3 / \sigma_1 = (\gamma_2 c_2 - \gamma_1 c_1) / (\gamma_1 c_1 + \gamma_2 c_2); \quad (1)$$

$$\sigma_2 / \sigma_1 = 2\gamma_2 c_2 / (\gamma_1 c_1 + \gamma_2 c_2), \quad (2)$$

где σ , γ и c – напряжение, плотность и скорость звука в рассматриваемой среде;

γc – удельное акустическое сопротивление материалов первой и второй преград;

индекс 1 соответствует волне напряжения, возникшей в материале первой преграды от действия продуктов взрыва ЛКЗ, индекс 2 соответствует напряжению металла первой преграды, передающемуся во вторую преграду через зону их контакта, индекс 3 соответствует напряжению в металле, отраженному от второй преграды в первую.

В первой серии поставленных и описанных ниже экспериментов боковые стенки преграды (использовался только корпус с узлом, где установлен ЛКЗ) не были закреплены, поэтому значение $\gamma_2 c_2 = 0$ и из соотношения (1) следует $\sigma_3 = -\sigma_1$. Это показывает, что проходящая по металлу волна сжатия, возникшая от удара КС, падая на границы преграды, не отражается от них, при этом преграда продолжает растягиваться, способствуя ослаблению металла в зоне, лежащей выше каверны. Преграда разрушалась так же, как и преграда, не имеющая внешней канавки.

Если КС движется в материале преграды равномерно со скоростью, меньшей волновой для этого материала, то она не создает в преграде колебаний. Наблюдаемые в преграде колебания, о которых речь пойдет ниже, были созданы импульсным воздействием КС в момент ее соприкосновения с преградой и наблюдались до останова КС в преграде или до полного разрушения последней.

Во второй серии описываемых экспериментов для выявления факторов, влияющих на продвижение КС в преграде, применяли выполненную в виде составной цилиндрической трубы экспериментальную установку (см. рис. 1), состоящую из соединенных между собой облочков, по боковым поверхностям зашпеленных проставками.

У оболочки, в которой находился ЛКЗ, левая часть была зашпелена проставкой, изготовленной из титанового сплава ВТ6С

(ОСТ 1 90024–94, удельное акустическое сопротивление $24,26 \text{ МН} \cdot \text{с/м}^3$) и вынесенной от ЛКЗ на расстояние $0,9 \text{ м}$, а правая, изготовленная из стали СтЗсп (ГОСТ 380–2005, удельное акустическое сопротивление $39,75 \text{ МН} \cdot \text{с/м}^3$), отстояла от ЛКЗ на $0,216 \text{ м}$ и была присоединена к остальным оболочкам.

Акустическое сопротивление каждой проставки превышает акустическое сопротивление металла преграды ($13,6...13,8 \text{ МН} \cdot \text{с/см}^3$). Из уравнений (1) и (2) следует, что волна напряжения, падающая на титановую и стальную проставки, частично отразится от них в сторону образующейся каверны, а частично пройдет вне конструкции, при этом для титановой проставки напряжения $\sigma_3 = +0,263 \sigma_1$ и $\sigma_2 = +1,27 \sigma_1$, для стальной проставки $\sigma_3 = +0,6 \sigma_1$ и $\sigma_2 = +1,83 \sigma_1$.

Отраженные волны напряжений придут к зоне разрушения преграды от стальной проставки ($0,6 \sigma_1$) через $0,0895 \text{ мс}$, а от титановой ($0,263 \sigma_1$) – только через $0,174 \text{ мс}$. Эти волны в металле (вместе с волнами напряжений), отраженные в результате дифракции от внутренней стороны канавки и ее углов (кромки), будут двигаться навстречу КС, увеличивая плотность материала преграды. Волны, отраженные от проставок, перемещаясь параллельно образующей оболочки, встретятся вне зоны разрушения преграды, частично погасятся (остаточные напряжения $0,337 \sigma_1$), со стороны стальной проставки дойдут до титановой проставки, частично отразятся от нее, а частично пойдут по конструкции и через нее вслед за первой волной. Эти волны напряжений от проставок, подойдя к кромкам акустической щели, сложатся, и результирующая, перпендикулярная образующей оболочки, пойдет навстречу КС, увеличит плотность материала преграды и затормозит продвижение КС. Причем результирующее напряжение, в силу дифракции отраженных волн на кромках акустической щели, будет вдвое больше. Аналогично образуются третья и последующие волны с убывающей амплитудой.

На рис. 2 приведен фрагмент осциллограммы вибронагрузки на одном из элементов конструкции после подрыва ЛКЗ, а в таблице – максимальные значения вибронагрузок, измеренные с помощью имитаторов приборов в конструкциях:

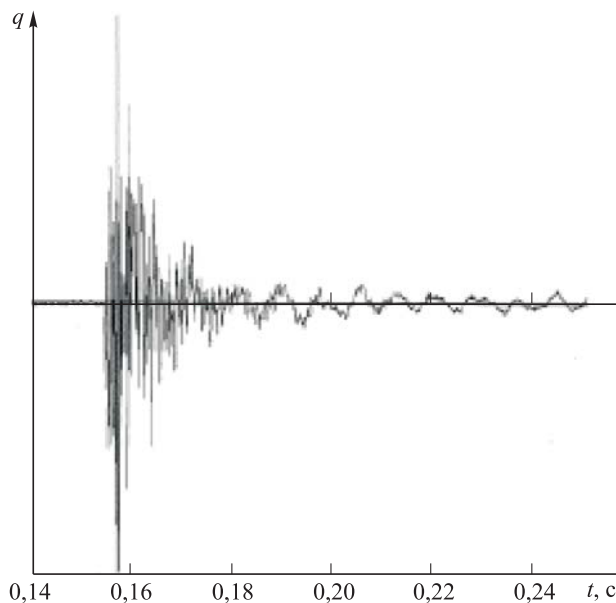


Рис. 2. Осциллограмма вибронагрузки на одном из элементов конструкции

Максимальные значения вибронагрузок, полученные с помощью имитаторов приборов, установленных в оболочках

Тип преграды	Оболочки*						
	B1	B2	B3	B4	...	B11	...
Конструкция [1]	168	208	84	360	...	750	...
Конструкция А (см. рис.1)	72	43	30	165	...	1010	...

*Оболочки в [1] имели равномерную толщину по всей длине, в оболочке А (см. рис. 1) с ЛКЗ имелась акустическая щель.

Сравнение вибронагрузок, полученных при испытаниях в [1], и вибронагрузок, описываемых в настоящей работе, показывает, что акустический метод торможения КС в разрушаемой преграде более эффективен, поскольку позволяет практически вдвое снизить эти нагрузки в большинстве важных мест конструкции оболочек, за исключением корпуса, где расположен ЛКЗ (оболочка B11).

В той части конструкции, где металл разрушается, акустический способ приводит как к торможению, т. е. к уменьшению скорости продвижения КС в металле преграды, так и к сжатию каверны с боков. Физически это объясняется гидродинамической теорией бронепробития Покровского — Биркгоффа, согласно которой глубина разрушения преграды (пенетрация) пропорциональна корню квадратному из частного плотностей КС и преграды, а вернувшиеся волны напряжений увеличивают



плотность металла преграды в зоне ее разрушения. Неравномерность волн напряжений, отраженных от титановой и стальной проставок, в какой-то мере должна сказаться и на симметричности формы каверны (рис. 3).

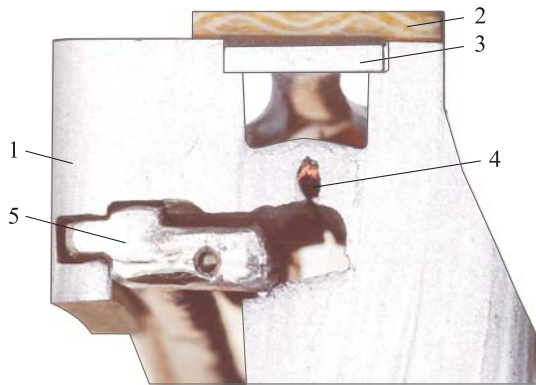


Рис. 3. Часть преграды после подрыва ЛКЗ:
1 – преграда; 2 – экран; 3 – планка шторки;
4 – остаток корпуса ЛКЗ в каверне; 5 – фиксатор

Начальное давление на поверхности преграды, возникшее на ней после действия КС, определяли по измеренным значениям недорезов в преградах и результатам, полученным опытным путем Дж. Уолшем и Р. Кристианом [4]. Так, согласно [4], для алюминиевых сплавов 24S-T и 2S (аналогичных отечественному сплаву Д16) при допущении аппроксимации этих данных на более высокие значения давления их распространили и на сплав АМгб, из которого была изготовлена конструкция оболочки. При таких допущениях, используя значения недорезов, найденные в [1] ($1,3 \cdot 10^{-3}$ м), и средние значения недорезов, полученные в описываемых экспериментах ($1,64 \cdot 10^{-3}$ м), определили давление при подрыве заряда со сферической кумулятивной выемкой: 67...80 ГПа. Это значение может быть принято в расчете для момента соприкосновения с преградой КС.

На внешней стороне акустической канавки давление отсутствует, а избыточное напряжение в металле сосредоточено в той части неразрезанной преграды, которая непосредственно прилегает к лидеру КС, поэтому, учитывая данные А. Тейта [5], было принято, что в момент останова струи давление КС на преграду не превысит половины найденного значения: 30...40 ГПа. Это значение, по-видимому, является приемлемым и для начального момента соприкосновения КС с преградой. Согласно известным теоретическим

прогнозам, это давление для зарядов с конической кумулятивной выемкой может составлять 25...100 ГПа и более [3]. После начала разрушения преграды давление на нее лидера КС незначительно превысит сопротивление, оказываемое преградой. Энергия ЛКЗ расходуется на разрушение преграды, сопровождающееся химическими и структурными изменениями, излучением, выделением теплоты и пластической деформацией металла [5] в полном соответствии с уравнением энергии Гиббса. Процесс пентрации при этом идет с постоянной скоростью.

Ниже дана оценка длины волны напряжений, возникших в конструкции, подвергнутой испытанию.

Приняв точку останова лидера КС в преграде (вся конструкция в момент подрыва ЛКЗ находилась в свободном падении) за фокусную (гребень, максимум пучности), определим длину волны λ :

$$m\lambda = D \sin \alpha,$$

где D – расстояние между кромками внутренних углов во внешней, по отношению к зоне разрушения, канавке преграды;

α – угол между линией, соединяющей кромку одного из углов, и направлением на фокус (останов) лидера КС;

m – порядковое число.

На основании фактических данных о расположении фокуса остановленной КС в преграде, ее координатах, найдено, что длина волны $m\lambda \sim 5 \cdot 10^{-3}$ м. Это значение должно быть отнесено к гидродинамической волны, анализируемой конструкции, совпадает по величине с данными А. В. Крупина и др. [6].

Таким образом, описание процесса взаимодействия КС с преградой (внутри преграды) включает акустический и гидродинамический анализ: первый – для волн напряжения в металле преграды, второй, представленный уравнением Кортевега – де Фриза, – для уединенной гидродинамической волны вместе ее контакта с преградой.

После удара КС будут наблюдаться объемные и сдвиговые (продольные и поперечные) волны напряжений, перемещающиеся в преграде с разными скоростями, а на тыльной стороне преграды произойдет откол метал-



ла – это конечный результат работы ударной волны. Принято, что объемные волны вызывают структурные изменения в металле (двойникование, образование игольчатых структур, поворот, искажение и разрушение зерен) и, в зависимости от мощности ЛКЗ, КС может либо пройти сквозь преграду либо, не прошив ее полностью, произвести откол на ее внешней стороне.

При воздействии КС на преграду одновременно происходят: разрушение преграды в виде откола части металла со стороны, противоположной зоне соприкосновения КС с преградой, в результате ударного воздействия, которое распространяется в преграде по узкому каналу в виде волны напряжения, а также разрушение преграды под действием собственно КС.

Таким образом, предлагается следующая гипотетическая модель (механизм) разрушения преграды КС («высокоскоростным ударником», по терминологии Л. П. Орленко, А. Н. Чукова, М. С. Воротилина и др. [7]):

1) ударная волна проходит по преграде по линии соприкосновения с КС. В металле преграды происходят структурные изменения, а на противоположной стороне наблюдается деформация преграды вплоть до местного откола ее части;

2) лидер КС на фронте соприкосновения с преградой создает в ней тонкую прослойку, содержащую металл в квазизидком состоянии под давлением порядка 30...40 ГПа. Это значение имеет один порядок со значением, полученным Дж. Герингом [8];

3) квазизидкий материал преграды вытесняется движущимся высокоскоростным ударником в зазор между ударником и боковой поверхностью образующейся каверны;

4) квазизидкий материал преграды и сработавшей части ударника, поступивший в тыльную зону КС, разгружается и выбрасывается из каверны в жидком и (или) газообразном состоянии. Процесс сжатия – разгрузки ограничен кривой Гюгонио и изоэнтропой (автор

[8] принимает, что процесс разгрузки протекает при постоянной энтропии).

Выводы

1. Предложенный способ увеличения плотности металла преграды посредством выполнения в ней акустической щели и установки экранов способствует торможению и останову КС.

2. Применение акустического метода торможения КС в преграде и установка в ней экранов позволяют вдвое и более снизить вибробнагрузки на элементы конструкции.

Список литературы

1. Головатенко В. Д., Головатенко А. В. Экспериментальное определение скорости прохождения кумулятивной струи через разрушаемую преграду // Вестник ЮУрГУ. Сер. Машиностроение. 2014. Т. 14. № 3. С. 5–10.
2. Райнхарт Дж. С., Пирсон Дж. Взрывная обработка металлов. М.: Мир, 1966. 392 с.
3. Райнхарт Дж. С., Пирсон Дж. Поведение металлов при импульсных нагрузках. М.: Иностран. лит., 1958. 296 с.
4. Уолли Дж., Кристиан Р. Уравнение состояния металлов по измерениям на ударной волне. Механика // Сб. переводов и обзоров иностран. период. литературы. 1956. Вып. № 2 (36). С. 156–171.
5. Тейт А. Теория торможения длинных стержней после удара по мишени. Механика // Сб. переводов и обзоров иностран. период. лит. 1968. Вып. № 5 (111). С. 125–137.
6. Крупин А. В., Соловьёв В. Я., Попов Г. С. и др. Обработка металлов взрывом. М.: Металлургия, 1991. 495 с.
7. Математическое моделирование функционирования взрывных устройств / А. А. Акимов, М. С. Воротин, И. Н. Кирюшкин, С. А. Климов, Е. В. Сидоров, А. Н. Чуков. Тул. гос. ун-т. Тула, 2007. 270 с.
8. Геринг Дж. Теория соударения с тонкими мишенями и экранами в сопоставлении с экспериментальными данными. Высокоскоростные ударные явления. М.: Мир, 1973. С. 112–163, 520–521.

Поступила 09.12.15

Головатенко Владислав Денисович – заслуженный конструктор России, кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор АО «ОКБ «Новатор», г. Екатеринбург.
Область научных интересов: исследование импульсных процессов, протекающих при горении топлив в устройствах малой мощности систем автоматизации летательных аппаратов.

Головатенко Андрей Владиславович – консультант АО «ОКБ «Новатор», г. Екатеринбург.
Область научных интересов: методологические вопросы общей физики.



Constraining a shaped charge jet cavity in a barrier with boundary shields

We suggest and validate empirically an acoustic method for decelerating and halting the movement of a shaped charge jet in a barrier by means of implementing an acoustic slit in the body of the barrier, the slit being located on the opposite side of the barrier relatively to the mounted linear charge with a profiled liner. We determine the pressure range created by a linear shaped charge with a profiled liner, and provide an estimation of the hydrodynamic wave length for the penetration process.

Keywords: acoustics, wave, fastening, cavity, shaped charge jet tip, shaped charge penetrator, incomplete cut, movement halting, barrier, shield response, focus.

Golovatenko Vladislav Denisovich – Honoured Designer of Russia, Candidate of Engineering Sciences, Chief Design Engineer, Joint Stock Company Experimental Machine Design Bureau Novator, Yekaterinburg.

Science research interests: investigation of impulse processes developing during fuel combustion in low-power devices of aircraft automation systems.

Golovatenko Andrey Vladislavovich – Consultant, Joint Stock Company Experimental Machine Design Bureau Novator, Yekaterinburg.

Science research interests: methodology issues of general physics.

УДК 621.396.96

В. И. Порсев, А. И. Сивков, Е. П. Ворошилин

Оценка угловых скоростей баллистического объекта с использованием радиального ускорения

Разработан алгоритм оценки вектора полной скорости баллистического объекта на основе его радиального ускорения без использования численных методов оптимизации. Приведено сравнение эффективности функционирования алгоритма с существующим оптимизационным методом.

Ключевые слова: баллистический объект, радиальная скорость, алгоритм расчета, вектор скорости, система координат.

Постановка задачи

Обоснование и разработка быстродействующих и физически адекватных алгоритмов расчета движения баллистических объектов необходимы как для создания программно-реализованных в реальном масштабе времени моделей движения таких объектов, так и для решения задач проектирования и проведения оценки эффективности радиолокационных средств и комплексов. В настоящее время вопросам совершенствования методов расчета, моделирования и аналитического представления параметров движения баллистических объектов уделяется повышенное внимание.

Известно, что траекторию баллистического объекта в первом приближении определяет исключительно гравитационное поле Земли [1–3]. Для нахождения объекта в произвольный момент времени достаточно знать его положение и скорость в конкретный момент времени.

Орбита космического объекта однозначно задается шестимерным вектором элементов орбиты или шестимерным вектором, содержащим три координаты положения и три составляющих скорости в любой системе координат, например $\mathbf{V} = (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$, где x, y, z – координаты в местной прямоугольной системе координат, связанной с полотном антенны. Рассмотрим системы координат, связанные с точкой стояния радиолокационных систем (РЛС).

1. *Местная прямоугольная система координат (МПСК).* Ось Z лежит на горизонтальной оси антенны РЛС (рис. 1). Направление оси Z задается углом A (азимут), отсчитываемым от местного направления на север до оси Z по часовой стрелке. Ось X лежит в плоскости, перпендикулярной плоскости антенны,

и направлена в сторону излучения РЛС. Ее положение в этой плоскости задается углом β_0 – углом наклона оси X к плоскости местного горизонта $\beta_0 \geq 0$. Ось Y направлена вверх и дополняет СК до правой системы координат (см. правило правой руки).

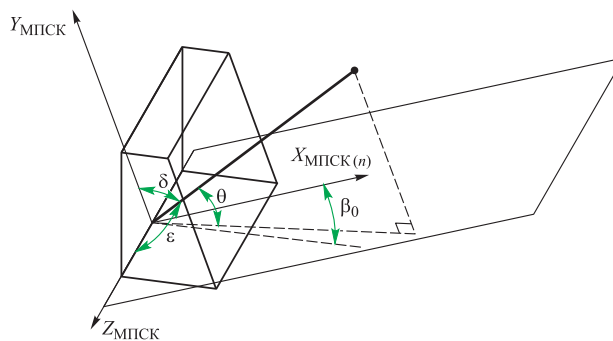


Рис. 1. Местная прямоугольная система координат

2. *Биконическая система координат (БСК).*

- дальность R – расстояние от начала координат до объекта;
- азимут ϵ – угол между осью Z МПСК и радиус-вектором объекта, отсчитываемый от оси Z против часовой стрелки ($0 < \epsilon < \pi$);
- угол места $\theta = \frac{\pi}{2} - \delta$, где δ – угол между осью Y МПСК, связанной с этой СК, и радиус-вектором объекта, отсчитываемый от оси Y .

3. *Радиотехническая система координат (РСК).* Отличается от БСК только углом места γ – двугранным углом, образованным плоскостью местного горизонта и плоскостью, содержащей радиус-вектор объекта.

Основной вклад в погрешность вычисленного значения вектора скорости объекта вносят в РЛС ошибки определения угловых скоростей [4–7]. Способность современных



РЛС достаточно точно измерять дальность и радиальную скорость движения объекта, а также осуществлять оценку радиального ускорения позволяет с высокой точностью восстанавливать (вычислять для конкретного момента времени) вектор полной скорости объекта.

Задачу восстановления вектора скорости объекта сформулируем следующим образом: на вход алгоритма поступают координаты объекта в биконической системе (БСК) координат R, ε, θ , их скорости $\dot{R}, \dot{\varepsilon}, \dot{\theta}$ и радиальное ускорение $\ddot{R}$, а также их дисперсии $\sigma^2(R), \sigma^2(\varepsilon), \sigma^2(\theta), \sigma^2(\dot{R}), \sigma^2(\dot{\varepsilon}), \sigma^2(\dot{\theta}), \sigma^2(\ddot{R})$. На выходе требуется получить вектор $\mathbf{V} = d\mathbf{R}/dt$ в местной прямоугольной системе координат, связанной с полотном антенны.

Классическим решением задачи является метод, изложенный в работе [5], суть которого заключается в поиске минимума функционала:

$$F = \frac{1}{4\dot{\varepsilon}^2\sigma^2(\dot{\varepsilon})}(\dot{\varepsilon}^2 - \dot{\varepsilon}_y^2)^2 + \frac{1}{4\dot{\gamma}^2\sigma^2(\dot{\gamma})}(\dot{\gamma}^2 - \dot{\gamma}_y^2)^2 + \frac{1}{\sigma^2(\ddot{R})}(\ddot{R} - \ddot{R}(R, \varepsilon, \gamma, \dot{R}, \dot{\varepsilon}_y, \dot{\gamma}_y))^2, \quad (1)$$

где $\dot{\varepsilon}_y, \dot{\gamma}_y$ – уточненные значения угловых скоростей в радиотехнической системе координат (РСК);

$\ddot{R}(R, \varepsilon, \gamma, \dot{R}, \dot{\varepsilon}_y, \dot{\gamma}_y)$ – радиальное ускорение, вычисленное для баллистического объекта.

Существенный недостаток метода заключается в необходимости программной реализации итерационного численного метода минимизации функционала, приводящей к росту временных затрат на поиск решения в реальном масштабе времени, что является особенно критичным для программ, работающих в реальном масштабе времени.

В связи с этим актуален вопрос о нахождении решения задачи минимизации, обладающего высокой точностью и в то же время закладывающего минимально возможные временные затраты на его реализацию, т. е. решения, не являющегося итерационным.

Решение поставленной задачи

Искать решение будем, исходя из ограничения, накладываемого на вектор скорости баллистического объекта величиной радиального ускорения. Для вывода необходимого уравне-

ния разложим вектор скорости по ортогональному базису, связанному с радиус-вектором объекта $\mathbf{R}$ в системе координат, связанной с точкой стояния станции. Базисными векторами выберем $\mathbf{n}_1 = \mathbf{R}, \mathbf{n}_2 = \mathbf{R} \times \boldsymbol{\omega}, \mathbf{n}_3 = \frac{1}{R} \mathbf{R} \times (\mathbf{R} \times \boldsymbol{\omega})$, где $\boldsymbol{\omega}$ – вектор угловой скорости вращения Земли. Отметим, что базисные векторы не являются нормированными: $\|\mathbf{n}_1\| = R, \|\mathbf{n}_2\| = \|\mathbf{n}_3\| = \|\mathbf{R} \times \boldsymbol{\omega}\|$.

Во введенном базисе вектор полной скорости имеет вид

$$\mathbf{V} = v_1 \mathbf{n}_1 + v_2 \mathbf{n}_2 + v_3 \mathbf{n}_3 = \mathbf{v}_r + \mathbf{v}_t,$$

где $\mathbf{v}_r = v_1 \mathbf{n}_1$ – радиальная составляющая вектора скорости;

$\mathbf{v}_t = v_2 \mathbf{n}_2 + v_3 \mathbf{n}_3$ – тангенциальная составляющая.

Из тождества $\mathbf{R} d\mathbf{R}/dt = R d\mathbf{R}/dt$ получим оценку:

$$v_1 = \frac{1}{\|\mathbf{n}_1\|^2} \mathbf{V} \mathbf{n}_1 = \frac{1}{R^2} \mathbf{V} \mathbf{R} = \frac{1}{R^2} R \dot{R} = \frac{1}{R} \dot{R}. \quad (2)$$

Продифференцировав тождество, получим формулу, содержащую радиальное ускорение:

$$\frac{d}{dt} \left(\mathbf{R} \frac{d\mathbf{R}}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left(R \frac{d\mathbf{R}}{dt} \right) \Rightarrow \mathbf{V}^2 + \mathbf{R} \frac{d^2 \mathbf{R}}{dt^2} = R \ddot{R} + \dot{R}^2. \quad (3)$$

В местной прямоугольной системе координат вектор ускорения имеет вид:

$$\frac{d^2 \mathbf{R}}{dt^2} \mathbf{g} - \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}_0) - 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V},$$

где $\mathbf{g}$ – гравитационное ускорение;

$\mathbf{R}_0$ – радиус-вектор объекта от центра Земли.

Подставив ускорение в формулу (3), получим уравнение:

$$\mathbf{V}^2 - \dot{R}^2 - 2\mathbf{R}(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}) + \mathbf{R}(\mathbf{g} - \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}_0)) - R \ddot{R} = 0. \quad (4)$$

Введем обозначение $c = \mathbf{R}(\mathbf{g} - \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}_0)) - R \ddot{R}$. Очевидно, что c зависит только от координат R, ε, θ и ускорения $\ddot{R}$. Иными словами, величина c не содержит угловых скоростей.

Упростим уравнение (4):

$$\mathbf{V}^2 - \dot{R}^2 - 2\mathbf{R}(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}) + c = (v_2 \mathbf{n}_2 - \mathbf{n}_2)^2 + (v_3 \mathbf{n}_3)^2 + c - \|\mathbf{n}_2\|^2 = 0. \quad (5)$$

Уравнение (5) является искомым ограничением, накладываемым радиальным ускорением на вектор скорости баллистического объекта, и представляет собой уравнение окружности относительно составляющих вектора v_2 и v_3 . Все радиус-векторы точек плоскости, удовлетворяющих уравнению (5), можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= v_2 \mathbf{n}_2 + v_3 \mathbf{n}_3 = \\ &= \mathbf{n}_2 + \frac{1}{\|\mathbf{n}_2\|} (\mathbf{n}_2 \cos \alpha + \mathbf{n}_3 \sin \alpha) \sqrt{\|\mathbf{n}_2\|^2 - c}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\alpha \in [0; 2\pi]$ – некоторый угол.

Заметим, что, с одной стороны, вектор $\mathbf{x}$ по определению равняется тангенциальной составляющей $\mathbf{v}_t$ искомого вектора скорости. С другой – из всех переменных, входящих в состав формулы (6), только угол α может зависеть от угловых скоростей $\dot{\epsilon}$ и $\dot{\theta}$. Таким образом, погрешность вектора $\mathbf{v}_t$ в выражении (6) зависит в первую очередь от ошибки при выборе значения α .

На рис. 2 схематично изображены плотности вероятности $f(\mathbf{x})$ для векторов $\mathbf{v}_t(\dot{\epsilon}, \dot{\theta})$ (двумерное нормальное распределение) и $\mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha)$ (в предположении, что ошибка оценки радиального ускорения $\ddot{R}$, определяющего радиус кольца, подчиняется нормальному закону распределения, а угол α – равномерному).

Из представленной схемы следует, что значение α в формуле (6) следует выбирать соответствующим лучу, направленному из центра кольца в вершину поверхности $f(\mathbf{v}_t(\dot{\epsilon}, \dot{\theta}))$ (обозначим такой угол как α^*). Поскольку угол α определяется угловыми скоростями $\dot{\epsilon}$ и $\dot{\theta}$, то даже в случае учета этой зависимости в виде плотности вероятности для вектора $\mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha)$ (величина α перестанет быть равномерно распределенной) картина должна остаться симметричной относительно луча $\mathbf{n}_{\alpha^*} = \mathbf{n}_2 \cos \alpha^* + \mathbf{n}_3 \sin \alpha^*$. Тогда из соображений симметрии логично рассмотреть схему (см. рис. 2) в сечении, проходящем через точки $(\mathbf{n}_2, 0)$ и $\mathbf{v}_t(\dot{\epsilon}, \dot{\theta})$. Приведенные выше допущения справедливы при наличии примерно одинаковой точности оценок угловых скоростей ($\sigma(\dot{\epsilon}) \sim \sigma(\dot{\theta})$), что равносильно требованию сопоставимой точности измерения угловых координат.

На рис. 3 схематично показаны плотности вероятности в сечении, соответствующем углу α . По оси абсцисс откладываем расстояние от центра кольца.

Оптимальной оценкой вектора $\mathbf{v}_t$ будем считать вектор

$$\mathbf{v}_t^* = k \mathbf{v}_t(\dot{\epsilon}, \dot{\theta}) + (1-k) \mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha^*), \quad (7)$$

где k рассчитываем из принципа минимума дисперсии $\mathbf{v}_t^*$.

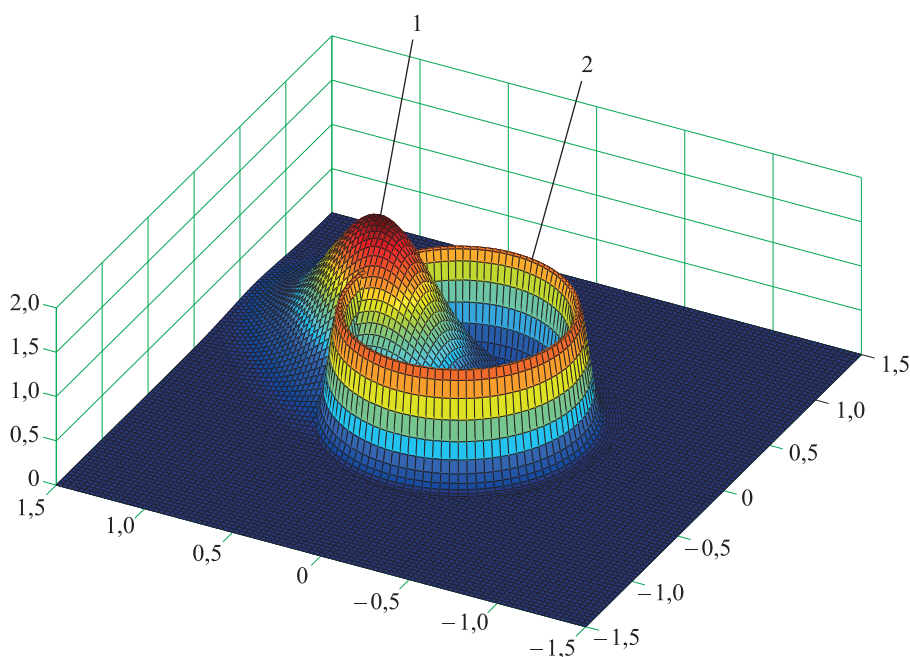


Рис. 2. Плотности вероятности $f(\mathbf{x})$:
1 – $\mathbf{v}_t(\dot{\epsilon}, \dot{\theta})$; 2 – $\mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha)$

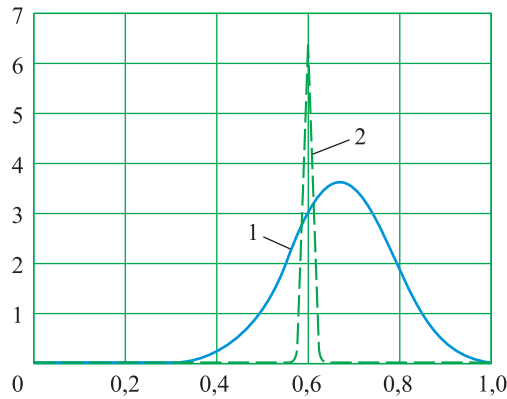


Рис. 3. Плотности вероятности в сечении для α^* :
1 – $f(\dot{\epsilon}, \dot{\theta})$; 2 – $f(\ddot{R})$

Прокомментируем полученную формулу (7).

Во-первых, результаты моделирования позволяют сделать вывод относительно величины коэффициента k . При небольшом количестве измерений координат (менее 8) коэффициент близок к нулю, а при значительном времени сопровождения объекта векторов $\mathbf{v}_t(\dot{\epsilon}, \dot{\theta})$ и $\mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha^*)$ настолько близки друг к другу, что точная величина k слабо влияет на конечный результат $\mathbf{v}_t^*$.

Во-вторых, поскольку из-за ошибок измерения величина, стоящая под знаком корня в формуле (6), может получиться отрицательной, целесообразно откорректировать алгоритм вычисления $\mathbf{v}_t^*$ следующим образом:

1. Вычислить значения $s_1 = \max(0, \|\mathbf{n}_2\|^2 - c - \sigma(c))$ и $s_2 = \max(0, \|\mathbf{n}_2\|^2 - c + \sigma(c))$, где $\sigma(c) \approx R\sigma(\ddot{R})$.
 2. Найти $\mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha^*)$ по формуле $\mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha^*) = \mathbf{n}_2 + \frac{1}{\|\mathbf{n}_2\|} \mathbf{n}_{\alpha^*} \frac{\sqrt{s_1} + \sqrt{s_2}}{2}$;
- $$\sigma(\mathbf{v}_t(\ddot{R}, \alpha^*) \mathbf{n}_{\alpha^*}) = \frac{\sqrt{s_2} - \sqrt{s_1}}{2}. \quad (8)$$

С физической точки зрения ситуация, при которой $\|\mathbf{n}_2\|^2 - c < 0$, означает, что тангенциальная составляющая скорости близка к нулевой, и кольцо (см. рис. 2) вырождается в конусообразную поверхность.

Результаты моделирования

Для проверки работы разработанного алгоритма была использована программно-алгоритмическая модель, созданная в среде про-

граммирования MATLAB. На вход модели подавались четыре рассчитанные траектории искусственных спутников Земли в зоне действия станции. На каждую траекторию накладывались ошибки измерения координат (измерялись дальность, азимут, угол места и радиальная скорость), распределенные по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и постоянным среднеквадратическим отклонением.

После получения пяти измерений координат с временным шагом 1 с был проведен расчет тангенциальной составляющей вектора скорости по следующим алгоритмам:

- с использованием формул (7) и (8);
- с использованием численного метода минимизации функционала (1).

По тысяче реализаций для каждой траектории строилась гистограмма полученных результатов. По оси абсцисс откладывалась невязка рассчитанного значения тангенциальной составляющей скорости $\mathbf{v}_t$, а по оси ординат – процент реализаций, для которых невязка не превысила значения на оси абсцисс. На каждой гистограмме были представлены результаты по обоим алгоритмам, а также для случая, когда уточнения вектора скорости не проводилось.

На рис. 4 представлены результаты работы алгоритма по траекториям спутников, сходящих с орбиты (с малым вектором скорости) (траектории № 1 (а) и № 2 (б)); на рис. 5 – по траекториям спутников с большим вектором скорости (траектории № 3 (а) и № 4 (б)). При этом для рис. 4, а и 5, а были использованы траектории, у которых тангенциальная составляющая вектора скорости выражена сильнее, чем для тех, что на рис. 4, б и 5, б.

В табл. 1 для каждой траектории и алгоритма приведено среднее арифметическое величины $(\|\Delta \mathbf{v}_{t0}\| - \|\Delta \mathbf{v}_t\|) / \|\Delta \mathbf{v}_{t0}\|$, где $\Delta \mathbf{v}_t$ – вектор невязки тангенциальной составляющей вектора скорости, полученного при использовании алгоритма; $\Delta \mathbf{v}_{t0}$ – вектор невязки тангенциальной составляющей без уточнения вектора скорости.

В табл. 2 приведены медианные значения величины $(\|\Delta \mathbf{v}_{t0}\| - \|\Delta \mathbf{v}_t\|) / \|\Delta \mathbf{v}_{t0}\|$, в табл. 3 – затраты времени на работу обоих алгоритмов на языке MATLAB.

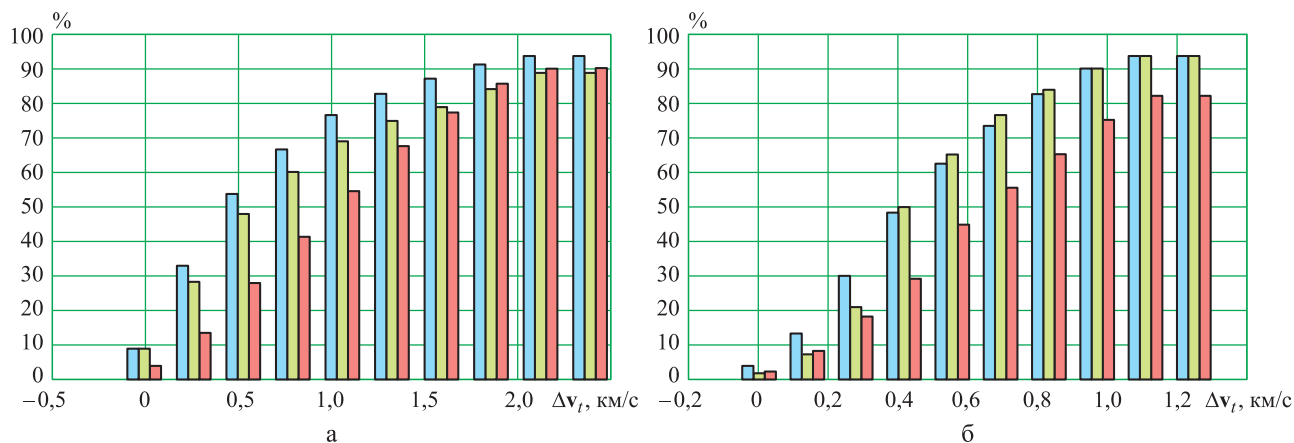


Рис. 4. Результаты работы алгоритма по траекториям спутников с малым вектором скорости:
а – траектория № 1; б – траектория № 2; ■ – новый алгоритм; ■ – минимум функционала; ■ – без уточнения

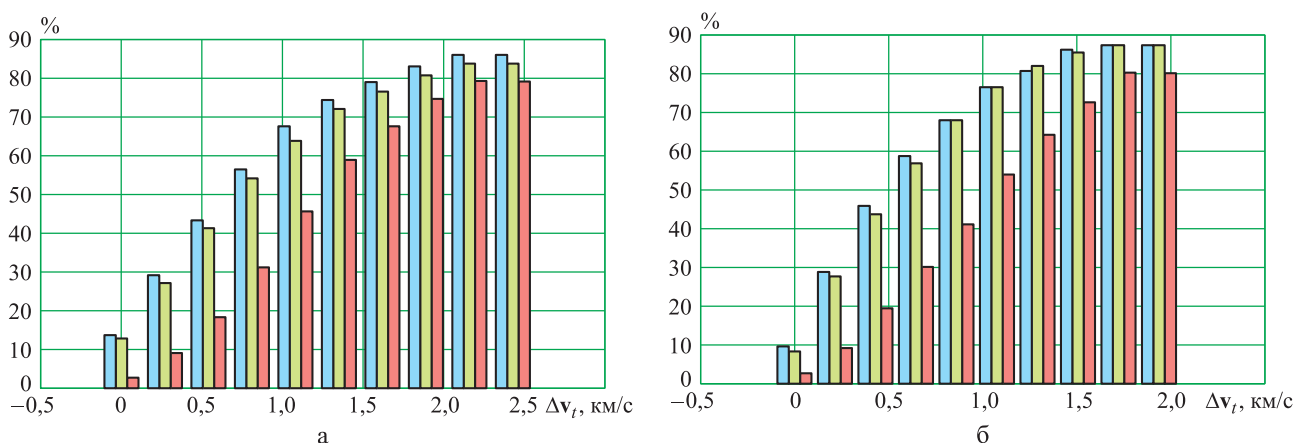


Рис. 5. Результаты работы алгоритма по траекториям спутников с большим вектором скорости:
а – траектория № 3; б – траектория № 4; ■ – новый алгоритм; ■ – минимум функционала; ■ – без уточнения

Таблица 1

Средние арифметические значения величины $(\|\Delta v_{t0}\| - \|\Delta v_t\|) / \|\Delta v_{t0}\|$ для траекторий № 1–4

Траектория	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Новый алгоритм	17,5930 %	9,0450 %	30,5729 %	27,6963 %
Минимум функционала	6,8996 %	6,5504 %	23,7817 %	26,3970 %

Таблица 2

Медианные значения величины $(\|\Delta v_{t0}\| - \|\Delta v_t\|) / \|\Delta v_{t0}\|$ для траекторий № 1–4

Траектория	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Новый алгоритм	17,9321 %	20,0231 %	26,5868 %	22,5215 %
Минимум функционала	9,5294 %	13,9753 %	20,2415 %	22,0892 %

Таблица 3

Временные затраты на работу алгоритмов для траекторий № 1–4

Траектория	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Новый алгоритм	0,26...0,34 мс	0,26...0,34 мс	0,26...0,34 мс	0,26...0,29 мс
Минимум функционала	18...71 мс (10–37 итераций)	10...50 мс (5–31 итераций)	24...67 мс (13–39 итераций)	19...52 мс (11–32 итераций)



Приведенные в табл. 3 данные позволяют сделать вывод о том, что новый алгоритм превосходит итерационный численный метод по быстродействию в 38–209 раз.

Выводы

Из приведенных выше результатов можно заключить следующее:

1. Разработанный алгоритм уточняет вектор скорости баллистического объекта без использования численных методов минимизации, не уступая им в то же время по области применимости. Как следствие, полученный алгоритм существенно увеличивает быстродействие расчета вектора скорости (как минимум, на порядок), что особенно важно для программ, работающих в реальном масштабе времени.

2. Разработанный алгоритм позволяет получить выигрыш в точности оценки тангенциальной составляющей вектора скорости до 10 % в сравнении с существующим численным методом минимизации (табл. 1, 2).

3. Преимущество разработанного алгоритма в точности оценки сильнее выражено для

траекторий со значительной тангенциальной составляющей вектора скорости (рис. 4, а, 5, а).

Список литературы

1. Эдельбаум Т. Н. Оптимальные задачи в механике полета маневрирующих космических аппаратов // Современное состояние механики космического полета. М., 1969. С. 162–178.
2. Эльясберг П. Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1965. 540 с.
3. Баллистика и навигация ракет / А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко, Н. М. Иванов, С. С. Богданов. М.: Машиностроение, 1985. 309 с.
4. Эльясберг П. Е. Определение движения по результатам измерений. М.: Наука, 1976. 416 с.
5. Саврасов Ю. С. Методы определения орбит космических объектов. М.: Машиностроение, 1981. 174 с.
6. Саврасов Ю. С. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985. 216 с.
7. Порсев В. И., Кучеров Ю. С., Порсев А. В. К методологии проектирования РЛС // Изобретательство. 2014. № 8. Т. 14. С. 49–52.

Поступила 19.04.16

Порсев Валерий Иосифович – доктор технических наук, заместитель генерального директора по научной работе АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: радиолокация, радионавигация.

Сивков Александр Игоревич – ведущий инженер АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: траекторная обработка радиолокационной информации.

Ворошилин Евгений Павлович – кандидат технических наук, начальник сектора АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: цифровая обработка сигналов.

Estimating angular velocities of a ballistic object using radial acceleration

We developed an algorithm for estimating the total velocity vector of a ballistic object based on its radial acceleration, without employing numerical optimisation methods. We supply a comparison between the efficiency of the algorithm functioning and an existing optimisation method.

Keywords: ballistic object, radial velocity, calculation algorithm, velocity vector, coordinate system.

Porsev Valeriy Iosifovich – Doctor of Engineering Sciences, Deputy General Director in Research Work, Joint stock company “All-Russian Scientific and Research Institute of Radio Engineering”.

Science research interests: radiolocation, radionavigation.

Sivkov Aleksandr Igorevich – Chief Engineer, Joint stock company “All-Russian Scientific and Research Institute of Radio Engineering”.

Science research interests: tracking of radar data.

Voroshilin Evgeniy Pavlovich – Candidate of Engineering Sciences, Head of Sector, Joint stock company “All-Russian Scientific and Research Institute of Radio Engineering”.

Science research interests: digital signal processing.



УДК 662.215.25

В. Д. Головатенко, А. В. Головатенко

Характеристики квазижидкого слоя металла в зоне контакта кумулятивной струи с преградой

На основании известных экспериментальных данных по взрывной обработке металлов, теоретических и экспериментальных работ по спеканию порошков металлов даны оценки минимальных значений величин давлений и температур, при которых образуется этот слой и его толщина. В исследовании использована гипотетическая модель образования квазижидкого слоя металла между лидером кумулятивной струи и преградой в момент разрушения последней.

Ключевые слова: кумулятивная струя, разрушение преграды, пограничный слой металла.

Известна работа [1], где на аналитическом уровне рассмотрено формирование кумулятивного ударника после подрыва кумулятивного заряда и приведено сравнение аналитических наработок с полученными экспериментальными данными. В этой работе не решен вопрос, относящийся к определению значений характеристик квазижидкого (вязко-текучего) слоя металла, образовавшегося между кумулятивной струей (КС) и преградой во время их взаимодействия, не даны предпосылки для решения задач по проектированию других узлов, предназначенных для резки металлов или защиты от разрушения преграды от воздействия кумулятивных устройств.

Исходя из принятой авторами в ряде работ [2–6] гидродинамической теории разрушения, состояние промежуточного (пограничного) слоя между КС и преградой в месте разрушения преграды является жидким веществом, находящимся под высоким давлением, поскольку струя и преграда в месте их касания считаются жидкими. Однако данные Ю. К. Хуанга [7] по состоянию металла, подвергнутому сверхвысокому давлению, свидетельствуют о том, что кристаллическая структура вещества под действием такой нагрузки не разрушается. Ю. К. Хуанг полагает, что при разрушении металла между кристаллами образуется микроскопической толщины прослойка, по которой и идет их скольжение друг относительно друга. Этому же положению придерживается и Дж. Хант [8].

А. Тейт [9] рассматривает три состояния, в котором может находиться высокоскоростной стержень: стержень находится в жидком состоянии, стержень является абсолютно твер-

дым телом и состояние, при котором прекращается пенетрация.

В. Томсон [10] определяет толщину расплавленного слоя в зоне взаимодействия тела с преградой, равной около 1 мм. Несмотря на различия в экспериментах при динамических (высокоскоростных) и статистических нагрузках на испытываемый объект, эти противоречивые данные учитывают и частью используют при построении модели, согласно которой между передней (лидерной) частью КС и преградой находится промежуточный слой вещества, который является частью разрушаемой преграды.

По данным Н. А. Гладкова [11], на пробке, выбитой из преграды высокоскоростным ударником, не обнаруживается следов оплавления поверхности соприкосновения между этим ударником и преградой. Целостность пробки говорит о том, что процесс идет постепенно от места встречи КС с преградой и далее – в ее массив. Материал разрушаемой преграды, разгружаясь, вытесняется из каверны в ходе процесса разрушения преграды, причем состояние этого вещества может быть жидким и даже газообразным [12]. Однако при срабатывании кумулятивного заряда со сферической выемкой КС не образуется, как это следует из работ [15, 16]. Экспериментальным подтверждением этому может служить фотография жгута (см. рис. 3 в работе [17]), обнаруженная после испытания по разрезанию цилиндрической оболочки (в испытаниях был использован линейный кумулятивный заряд со сферической выемкой). Материал разрушаемой преграды, разгружаясь, вытесняется из каверны в ходе процесса разрушения преграды, причем состояние этого вещества может быть, согласно

© Головатенко В. Д., Головатенко А. В., 2016



работам [12–14], жидким и даже газообразным [12].

Промежуточный (пограничный) слой между КС и преградой условно назван вязко-текучим, или квазжидким.

Принимаем, что процесс разрушения преграды включает динамическое воздействие – удар кумулятивной струи на объект и переход материала преграды в вязко-текучее состояние. Динамический процесс прохождения КС через преграду был ранее рассмотрен в публикации [17].

Объект исследования – определение характеристик вязко-текучего слоя металла между КС и преградой, возникшего во время их взаимодействия.

Привлечение данных по процессам спекания нанопорошков металлов (зависимости температуры плавления от размеров порошка и величинам давления при их взрывном спекании), а также полученные ранее наработки по управлению процессом разрушения преграды КС позволили авторам в первом приближении определить ряд характеристик металла в его вязко-текучем состоянии.

Цель работы – теоретически на основании известных экспериментальных данных и наработанных методик разработать и определить:

- модель процесса разрушения преграды в зоне ее взаимодействия с КС;
- температуру промежуточного (пограничного, квазжидкого) слоя металла, образующегося при взаимодействии КС с преградой в месте их соприкосновения;
- величину давления, под которым находится этот слой металла;
- толщину пограничного слоя образующегося квазжидкого металла.

Известна гидродинамическая модель Покровского (1944) — Биркгоффа (1948) взаимодействия КС, образованной при подрыве профилированного заряда взрывчатого вещества (ВВ) с преградой, согласно которой металл преграды в зоне их взаимодействия находится в подвижном состоянии, а сам процесс его течения подчиняется закону Бернулли. В работе [18] уточнен ряд положений в теории Покровского — Биркгоффа, отмечена необхо-

димость проведения экспериментальных работ по определению скорости разрушения преграды и способам торможения КС в массиве преграды, которые дают возможность подойти к решению проблемы по определению характеристик этой подвижной прослойки металла в момент ее образования.

При импульсном взаимодействии КС и среды последняя нагревается под воздействием высокого давления. При этом можно наблюдать расплавление поверхностного слоя металла в зоне их контакта. Переход в жидкое (непрерывно текучее) состояние металлов при избыточном давлении, при котором протекает сварка металлов систем $\text{Cu} — \text{Cu}$ и $\text{Al} — \text{Al}$, по данным Д. Дюваля [19], осуществляется при 2,5 и 0,65 ГПа соответственно. Р. Прюмер [20] приводит данные по давлению в ударной волне (2 ГПа), при котором происходит сплавление порошка из малоуглеродистой стали.

Согласно теоретическим данным Дж. Геринга [13] по ударному нагреванию ряда металлов, в том числе и для Al , плавление поверхностного слоя металла наблюдается при воздействии на него ударной волны с давлением от 60 ГПа, а полное расплавление всего образца происходит при давлении свыше 180 ГПа.

Ю.К. Хуанг [7] рассчитал, что если повысить скорость ударной волны, падающей на поверхность металлического образца, с 2940 до 4600 м/с, его поверхность будет дополнительно прогрета на 1815 К. Причем на этой поверхности будет наблюдаться давление 80...150 ГПа.

В известных опубликованных работах величины давлений, возникшие при разрушении преграды КС, фактически не были измерены из-за отсутствия соответствующей аппаратуры, их принимали на основе теоретических предположений как лежащие в пределах от 10 до 100 ГПа и выше. По этой причине используемые в настоящей работе данные авторов [7, 13] следует рассматривать как оценочные.

Теоретически температура плавления пограничного (квазжидкого) слоя металла в значительной степени зависит от давления, при котором протекает процесс разрушения преграды, и определяется уравнением энергии



Дж. В. Гиббса (при условии, что в исследуемом образце не наблюдаются структурные $\mu\text{т}$ и/или химические преобразования и электромагнитные явления qU):

$$T_{\text{пл}} = E/S + PV/S - \sigma F/S, \quad (1)$$

где P – давление;

V – объем;

σ – поверхностное натяжение жидкого металла;

F – поверхность расплавленного участка металла у исследуемого образца;

S – энтропия;

E – энергия термодинамической системы.

Здесь использовано понятие «температура», являющееся интенсивной величиной в уравнении (1) применительно к нормальным физическим условиям, и условно переносится на экстремальные, наблюдаемые при детонации, поэтому для оценки значения температуры плавления материала преграды ниже будут приведены данные по сплавлению нанопорошков металлов, подвергнутые сверхвысокому давлению. Следует отметить, что температура плавления наночастицы намного меньше температуры плавления металла, когда он находится в большой массе.

На основании вышеизложенного примем, что образовавшийся после динамического и теплового удара [21, 22] вязко-текучий слой металла из преграды и КС (высокоскоростного ударника) может быть представлен следующей моделью.

Поступление металла

1. Принимаем, что лидерная часть КС в месте своего соприкосновения с преградой создает между ними тонкую прослойку квазижидкого металла.

2. Квазижидкий металл вытесняется в зазор, образованный самой КС и внутренней поверхностью каверны.

3. После достижения внешней поверхности преграды квазижидкий металл разгружается и переходит в жидкое или, возможно, парообразное состояние.

Состояние КС во время разрушения преграды

1. В поперечном сечении КС состоит из ядра квазижидкого металла (жгута – высо-

коскоростного ударника), находящегося в сжатом состоянии.

2. Ядро окружено оболочкой из металла, прошедшего разгрузку.

3. Над этой оболочкой находится слой парообразной или газообразной составляющей КС и газообразные продукты взрыва ВВ.

Квазижидкий металл рассматриваем как вязкое вещество, находящееся за пределом упругости, согласно работам [9, 23], в непрерывном вязко-текучем состоянии.

В целом КС и сопровождающие ее продукты детонации ВВ взаимодействует с внутренней поверхностью каверны в преграде, тем самым способствуя ее расширению. При этом принимаем, что до последнего момента разрушения преграды не происходит перемещение ее частей в любом направлении друг относительно друга за счет воздействия на них избыточного давления продуктов детонации ВВ заряда.

До встречи с преградой КС в зависимости от использованного ВВ может перемещаться со скоростью их детонации. Внутри преграды при использовании линейногокумулятивного заряда эта скорость ограничена [17] (исследована работа линейного заряда со сферической выемкой), с этой же скоростью происходит уменьшение длины КС. Квазижидкий слой металла, естественно, вытесняется из каверны со скоростью разрушения преграды. Кроме того, принимается, что перемещение КС внутри преграды и вытеснение продуктов разрушения металла внутри каверны до их выплескивания из нее происходят с постоянной скоростью.

Данные по давлению, при котором начинает оплавляться поверхность металлов (исследованных в работах [13, 19, 20]), созданному ударными волнами в порошкообразных средах, противоречивы и разнятся между собой более чем на один порядок (см. таблицу).

Из этого следует, что в работе [20] приведены более высокие (на один–два порядка) значения давлений, которые необходимо достичь, чтобы произошло оплавление у металлов поверхностного слоя.

Имея столь неоднозначные данные между экспериментом [19] и теорией [20] по ве-



личинам давлений, при которых наступает оплавление порошков металлов, за неимением других экспериментальных данных (за исключением [19]), прием для оценки параметров состояния в слое квазижидкого металла – между преградой и высокоскоростным ударником – результаты работы [19].

В таблице собраны известные авторам экспериментальные данные по величинам ударных давлений, при которых наблюдается оплавление поверхности у ряда металлов.

В записанном уравнении Дж. В. Гиббса (1) третий член представляет поверхностную энергию частиц, сформировавшихся в результате разрушения преграды после воздействия на нее высокоскоростного ударника и из которых образуется квазижидкий слой металла. По модели, отличной от предлагаемой выше и рассмотренной в работе [20], спекание порошка происходит в результате воздействия на них микрокумулятивных струй, образующихся между сталкивающимися частичками под воздействием ударной волны. Известно из теории (см. уравнение (1)) и практически подтверждено опытами, например [24], что температура плавления (начала оплавления поверхности частицы) зависит от размера частицы.

По данным [24, 25], гомологическая температура плавления равна $\sim 0,5 \dots 0,6 T_{om}$ (температура плавления кускового металла в стандартных условиях). Начиная с нее, при прочих равных условиях наблюдается спекание нанопорошка металла, что может служить некоторым подтверждением предложенной выше модели.

Определенный в работах [24, 25] критический диаметр наночастиц (4,91 нм для Al), которые плавятся сразу во всем объеме, может быть косвенно принят в первом приближении

за минимальную толщину вязко-текучего слоя металла между лидером КС и преградой в процессе ее разрушения.

Согласно исследованию [26] после подрыва кумулятивного заряда со стальной оболочкой толщиной 0,8 мм образовавшаяся КС имела диаметр 2 мм, а по данным [27] – толщина КС не превышала толщины такой оболочки. По данным экспериментов авторов статьи (проведены измерения в ряде сечений диаметра каверны), в точке остановки лидера КС толщина струи в той ее части, которая непосредственно разрушала алюминиевую преграду, составляла не более 0,4...0,5 мм, а толщина медных оболочек линейных кумулятивных зарядов – 0,2 мм. Исходя из этого можно считать, что и вне точки касания сфер по линии движения КС происходит такой же процесс образования вязко-текучего материала за счет разгрузки и у КС на ее боковой поверхности.

Примем, что торец цилиндрического высокоскоростного ударника, контактирующий с преградой, является полусферой, и ответная выемка (каверна) в преграде по форме также полусфера (рис. 1, 2).

Используя известный математический аппарат при решении бигармонического уравнения функции [23], представляющий описание процесса пластичного течения материала между двумя плитами радиуса r , сжимаемые со скоростью v и максимальной осевой нагрузкой f , определяем толщину слоя квазижидкого металла h , образующегося в результате взаимодействия кумулятивной струи и преграды (см. рис. 2), решение которого будет:

$$h^3 = \frac{3\pi\nu v r^4}{4f}, \quad (2)$$

Экспериментальные данные по ударным давлениям, воздействующие на металл, при которых наблюдается их оплавление

Металл, ГПа	Al	Fe	Au	Cd	Mg	Cu	Ni	Pb	Ti
Данные [13]	$\frac{60}{90}$	$\frac{100-150}{200}$	$\frac{150}{160}$	$\frac{40}{46}$	–	$\frac{140}{> 180}$	$> \frac{150}{-}$	$\frac{30}{35}$	$> \frac{100}{-}$
Данные [19] и расчет по*	0,65	$\frac{3,1}{3,1 \text{ (при } T_{om} = 0,56)^*}$	–	–	–	2,5	–	–	–

Примечание. Курсивом отмечены данные, приведенные Д. Дюваль в работе [19].

* – величина давления (для Fe) из работы [20] пересчитана по данным [24, 25] для монолитного образца металла, где T_{om} – температура плавления монолитного образца.

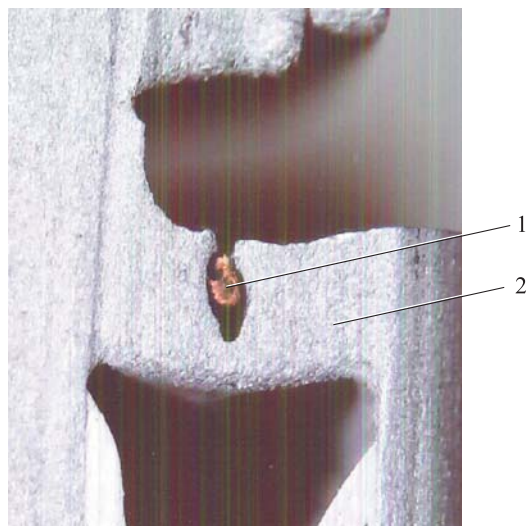


Рис. 1. Профиль каверны в преграде после останова в ней КС:

1 – оболочка от линейного заряда в каверне;
2 – преграда

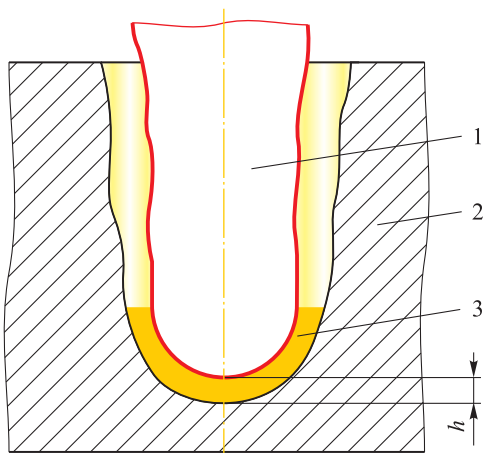


Рис. 2. Схема разрушения преграды КС:
1 – КС; 2 – преграда; 3 – квазижидкий металл (вязко-текучая среда)

где μ – коэффициент динамической вязкости металла;

v – скорость перемещения КС в массиве преграды (скорость перемещения плит друг относительно друга);

r – радиус поверхности рабочей части ударника (КС);

f – сила, с которой КС воздействует на преграду.

Согласно экспериментальным данным диаметр углубления в преграде (место взаимодействия с КС) составляет в среднем (см. выше, измерение произведено после испытаний) $\sim 0,5$ мм. Примем, что в момент разрушения преграды диаметр углубления составляет

$\sim 0,4$ мм. Величины давлений для трех вышеперечисленных металлов взяты из таблицы (данные работ [19, 20] отмечены *) для случая начала поверхностного их оплавления. Значения коэффициента динамической вязкости металлов взяты из источников [28–30]. В итоге образование квазижидкого слоя вещества между ударником (лидером КС) и преградой, вычисленного по уравнению (2), для упомянутых металлов начинает появляться с $P_{\min}$ и $T_{\min}$, а его толщина в итоге достигнет величин в интервале от 3,41 (Al), 3,56 (Cu) до 3,65 (Fe) мкм, что больше критического диаметра частицы для Al – 4,91 нм (см. выше). Естественно, согласно [20] при разгрузке этого квазижидкого металла его объем будет больше на $\sim 15\%$ для Al и Fe. Если использовать данные [13] по величинам давлений в ударной волне, при которых наблюдается поверхностное оплавление алюминия, меди и железа, эти значения в среднем будут меньше в 4 раза (составят около 1 мкм) и представляются заниженными для диапазона давлений [19, 20], начиная с которых наблюдается разрушение преграды. Следует отметить, что при определении толщины вязко-текучего слоя металла между КС и преградой в расчетах принимали поверхности полусфер, а не шаровых сегментов, приведшие к несколько завышенному результату. Если положить, что КС производит давление на преграду на порядок большее, чем взятое в вышеприведенных примерах, то толщина вязко-текучего слоя будет соответствовать расчетным данным, полученным автором [13]. Скорость прохождения КС преграды меньше скорости детонации ВВ, создавшее эту струю, но зависит от мощности заряда из этого ВВ. Экспериментально найденная скорость разрушения алюминиевой преграды (около 350 м/с) [17] была получена при разрезании тонкостенной оболочки, на тыльной стороне которой, в отличие от [31], использовался резиноподобный материал, но не для предотвращения откола, а для останова движения КС внутри массива преграды. При этом мощность (с учетом работы расширяющихся продуктов детонации) линейного кумулятивного заряда со сферической выемкой была достаточной только для разрезания оболочки толщиной 4,5 мм.



Следует отметить, что В. С. Седых, Н. Н. Казак [32] кроме данных по величинам ударных давлений, наблюдаемых при сварке пар из металлов $Al - Al$, $Cu - Cu$ [19], приводят дополнительно и данные по сварке листов из малоуглеродистой стали (60 ГПа) и принимают, что течение металла в зоне сварки является вязким. Подтверждением могут служить экспериментальные данные В. В. Пай и Г. Е. Кузьмина [33], определивших температуру поверхности преграды в месте соприкосновения ее с лидером КС, значение которой составляет, приблизительно, половину значения температуры плавления металла облицовки осесимметричного кумулятивного заряда со сферической выемкой. Л. П. Орленко [34] отмечает, что преграда начинает разрушаться от действия КС, полученной после подрыва осесимметричного кумулятивного заряда, если ее скорость превышает критическое значение – для преграды и облицовки из дюралюминия оно составляет не менее 2200 м/с.

Выводы

1. Процесс разрушения преграды для анализа можно представить как совокупность двух фаз, протекающих с отличными друг от друга на порядок скоростями:

- разрушение преграды ударной волной;
- разрушение преграды непосредственно

КС с образованием вязко-текучего слоя металла между преградой и КС.

2. В первом приближении с привлечением косвенных экспериментальных данных предложены: модель разрушения преграды и приемлемое решение проблемы по вычислению минимальных параметров давления и температуры, при которых начинает разрушаться преграда. Квазижидкий слой металла представлен в зоне между КС и преградой как вязкое вещество, находящееся за пределом упругости.

3. Способ определения характеристик этого слоя металла может служить отправной точкой для детального исследования процесса образования вязко-текучего слоя металла, определения его физических характеристик и, вероятно, для разработки альтернативных методик расчета.

4. На основании известных экспериментальных данных в области спекания порошко-

образных материалов определены минимальные значения давлений и температур, при которых появляется квазижидкий металл под действием удара КС на преграду, при которых они начинают разрушаться, если изготовлены, в частности, из Cu , Al и Fe .

Список литературы

1. Математическое моделирование функционирования взрывных устройств // *А. А. Акимов и др.* Тула: Тульский государственный университет, 2007. 270 с.
2. *Гладков Н. А.* Проникание деформирующегося ударника в полубесконечную жесткопластичную преграду // *Оборонная техника.* 1995. № 4. С. 28–32.
3. *Колпаков В. И., Лядов С. В., Фёдоров С. В.* Расчет формирования кумулятивного «ножа» удлиненного заряда с клиновидной выемкой // *Оборонная техника.* 1995. № 1. С. 24–29.
4. *Златин Н. А.* К теории высокоскоростного соударения металлических тел // *Журнал технической физики.* 1991. Т. XXXI. № 8. С. 982–990.
5. *Уоли Дж., Шрефлер Р., Уиллинг Ф.* Предельные условия для образования струи при соударениях на больших скоростях // *Механика.* 1954. № 2 (24). С. 87–106.
6. *Шаль Р.* Физика детонации. Т. 3. Физика быстройпротекающих процессов. М.: Мир, 1971. С. 276–349.
7. *Хуанг Ю. К.* Термодинамический анализ ударного сжатия твердых тел // *Механика.* 1968. № 5 (111). С. 111–125.
8. *Хант Дж.* Образование волн при сварке взрывом // *Механика.* 1969. № 1 (113). С. 140–150.
9. *Тейт А.* Теория торможения длинных стержней после удара по мишени // *Механика.* 1968. № 5 (111). С. 125–137.
10. *Томсон В.* Приближенная теория пробивания брони // *Механика.* 1956. № 1 (35). С. 134–139.
11. *Гладков Н. А.* Пробитие деформирующимся ударником плиты // *Оборонная техника.* № 8, 9. С. 49–54.
12. Высокоскоростные струи, возникающие при детонации в полых цилиндрах / *У. Коски и др.* // *Механика.* 1954. № 1 (23). С. 80–89.
13. *Геринг Дж.* Теория соударения с тонкими мишенями и экранами в сопоставлении с экспериментальными данными. Высокоскоростные ударные явления. М.: Мир, 1973. С. 112–163; 520–521.



14. Сагомян А. Я. Проникание. М.: Изд-во Московского университета, 1974. 300 с.
15. Колпаков В. И., Лядов С. В., Фёдоров С. В. Инженерная методика расчета действия кумулятивных зарядов с полусферическими и сегментными облицовками // Оборонная техника. 1999. № 1, 2. С. 39–45.
16. Математическое моделирование функционирования взрывных устройств // А. А. Акимов и др. Тула: Изд-во Репро-Текст, 2007. 269 с.
17. Головатенко В. Д., Головатенко А. В. Экспериментальное определение скорости прохождения кумулятивной струи через разрушаемую преграду // Вестник ЮУрГУ. Серия Машиностроение. 2014. Т. 14. № 3. С. 5–10.
18. Головатенко В. Д., Головатенко А. В. Процесс взаимодействия кумулятивной струи с преградой // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». 2011. № 2 (6). С. 80–87.
19. Райнхарт Дж. С., Пирсон Дж. Взрывная обработка металлов. М.: Мир, 1966. С. 358.
20. Прюммер Р. Обработка порошкообразных материалов. М.: Мир, 1990. С. 72.
21. Даниловская В. И. Температурные напряжения в упругом полупространстве, возникающие вследствие внезапного нагрева его границы // Прикладная математика и механика. 1950. Т. XIV. Вып. 3. С. 316–318.
22. Термопрочность деталей машин. Теория. Экспериментальные исследования. Расчет / под ред. И. А. Биргера, Б. М. Шорра. М.: 1975. 455 с.
23. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. В 2 т. Т. 1. М.: Иностранная литература, 1954. 647 с.; Т. 2, М.: Мир, 1969. 863 с.
24. Борыняк Л. А., Чернышев А. П. Метод расчета эквивалентной температуры спекания напорошков // Материаловедение. 2013. № 2 (59). С. 39–41.
25. Chernyshev A. P. Effect of nanoparticle Size on the onest temperature of surface melting // Materials Letters. 2009. V. 63. B. 1525–1527.
26. Explosives with lined cavities / G. Birkhoff et al // Journal Applied Physics. 1948. V. 19. Pp. 563–582.
27. Садовский М. А., Губкин К. Е. Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. Т. 13. С. 606.
28. Чурсин В. М. Плавка медных сплавов. М.: Металлургия, 1982. 152 с.
29. Корольков А. М. Литейные свойства металлов и сплавов. М.: Академия наук СССР, 1960. 196 с.
30. Левин С. Л. Сталеплавильные процессы. Киев: Государственное издательство технической литературы УССР, 1963. 404 с.
31. Григорян В. А., Дорохов Н. С., Кобылкин Н. Ф. Особенности проникания кумулятивных струй через преграду, содержащие энергетические материалы // Оборонная техника. № 1-22006. С. 50–62.
32. Седых В. С., Казак Н. Н. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. М.: Машиностроение, 1971. 72 с.
33. Пай В. В., Кузьмин Г. Е. Экспериментальное определение температуры металлической струи // Физика горения и взрыва. 1994. Т. 30. № 3. С. 92–95.
34. Физика взрыва: 3-е изд., испр. В 2 т. Т. 1 / под ред. Л. П. Орленко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 832 с.

Поступила 19.04.16

Головатенко Владислав Денисович – заслуженный конструктор России, кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор АО «ОКБ «Новатор», г. Екатеринбург.
Область научных интересов: исследование импульсных процессов, протекающих при горении топлив в устройствах малой мощности систем автоматизации летательных аппаратов.

Головатенко Андрей Владиславович – консультант АО «ОКБ «Новатор», г. Екатеринбург.
Область научных интересов: методологические вопросы общей физики.

Characteristics of quasi-liquid metal layer in the cumulative jet and barrier contact zone

According to the known experimental data on explosive metal processing, as well as the theoretical and experimental studies on the sintered metal powders, we estimated the minimum pressure and temperature values at which this layer and its thickness are formed. The study used a hypothetical model of forming a quasi-liquid metal layer between the leader of the cumulative jet, and a barrier at the time of its destruction.

Keywords: cumulative jet, destruction of barriers, boundary layer of metal.



Golovatenko Vladislav Denisovich – Honoured Designer of Russia, Candidate of Engineering Sciences, Chief Design Engineer, Joint Stock Company Experimental Machine Design Bureau Novator, Yekaterinburg.
Science research interests: investigation of impulse processes developing during fuel combustion in low-power devices of aircraft automation systems.

Golovatenko Andrey Vladislavovich – Consultant, Joint Stock Company Experimental Machine Design Bureau Novator, Yekaterinburg.
Science research interests: methodology issues of general physics.



В. В. Корляков

**Всероссийскому научно-исследовательскому институту радиотехники – 95 лет
(от Остехбюро до АО «ВНИИРТ» акционерного общества
«Концерн ВКО «Алмаз – Антей»)**

9 августа 2016 г. исполнилось 95 лет со дня основания Всероссийского научно-исследовательского института радиотехники (ВНИИРТ) – одного из старейших оборонных предприятий России, прошедшего сложный и вместе с тем славный трудовой путь становления и развития. Это был путь многочисленных преобразований, переподчинений различным ведомствам и министерствам, смены географических мест расположения, выделения из состава института многих подразделений, которые затем становились крупными самостоятельными НИИ, КБ и заводами.

В начале XX в. возникла проблема координации управления различными видами вооруженных сил, о чем в Государственную думу Российской империи Д. И. Менделеевым была подана записка. Государственная дума 27 октября 1908 г. приняла решение о постройке научно-технической лаборатории Военного ведомства. 29 июля 1914 г. император Николай II утвердил штат и положение о Центральной научно-технической лаборатории Военного ведомства (ЦНТЛ ВВ), находившейся по адресу: Санкт-Петербург, Госпитальная ул., дом 3/8.

Начальником ЦНТЛ ВВ 3 августа 1914 г. был назначен генерал-лейтенант Г. А. Забудский с сохранением за ним должности совещательного члена Артиллерийского комитета Главного артиллерийского управления и звания профессора.

В апреле 1920 г. на базе ЦНТЛ ВВ создается Государственный научно-технический институт Научно-технического отдела Высшего совета народного хозяйства (НТО ВСНХ). Директором его назначен бывший генерал-лейтенант русской армии, доктор наук, профессор, действительный член Академии наук (1916) В. Н. Ипатьев, а Г. А. Забудский назначен почетным членом института.



Г. А. Забудский



В. Н. Ипатьев

В июне 1920 г. академик В. Н. Ипатьев, профессора В. И. Ковальский и М. Н. Тихвинский совместно с В. И. Бекаури вышли с предложением об организации экспериментальной мастерской новых изобретений (ЭКСМАНИ) для реализации изобретения секретного характера – мины В. И. Бекаури и устройства сигнализации. В трудное для страны время НТО ВСНХ выделяет В. И. Бекаури 150 тысяч швейцарских франков для закупки за рубежом оборудования для ЭКСМАНИ.

18 июля 1920 г. заместитель председателя Совета труда и обороны (СТО) А. И. Рыков подписал постановление об организации технического бюро во главе с В. И. Бекаури для выполнения всех работ по новому изобретению. 15 августа 1920 г. В. И. Бекаури



издает свой первый приказ по Техническому бюро, в котором, называя его Особым техническим бюро (Остехбюро), объявляет, что приступает к исполнению обязанностей руководителя Остехбюро по военным изобретениям специального назначения. После получения В. И. Бекаури мандата от 9 августа 1921 г. № 0-а 10197, подписанного председателем СТО ВСНХ В. И. Лениным, ЭКСМАНИ вошла в состав Остехбюро.



Директор Остехбюро
(1921–1937) В. И. Бекаури

В первые годы деятельности Остехбюро разработки проводились главным образом в области радиотелемеханики, специальной радиосвязи, автоматизации управления различными видами вооружения (в том числе управления взрывами фугасов на расстоянии), кварцевой стабилизации радиоустройств и были ориентированы в основном на военно-морскую тематику.

8 мая 1935 г. постановлением правительства СССР было принято решение о переводе Остехбюро в Москву. Часть научных лабораторий и ведущих специалистов, в том числе В. И. Бекаури и В. Ф. Миткевич, из Ленинграда были переведены в московское отделение Остехбюро. В 1935 г. по завершении переезда образовалось два отделения Остехбюро – московское и ленинградское, которое продолжило заниматься морской тематикой. Московское отделение Остехбюро занимало несколько зданий. Администрация находилась в доме 6 по Садово-Черногрязской улице вплоть до октября 1941 г.

Приказом Народного комиссариата оборонной промышленности СССР 8 сентября

1937 г. Остехбюро было преобразовано в Телемеханический институт (НИИ-20) в Москве с филиалом в Ленинграде.

31 августа 1939 г. постановлением правительства НИИ-20 передали в 7-е Главное управление Наркомата авиационной промышленности (ГУ НКАП). Ленинградский филиал НИИ-20 был объединен с НИИ-10 и уже как НИИ-49 передан в ведение 4-го Главного управления Наркомата судостроительной промышленности.

С этого времени НИИ-20 (ныне – АО «ВНИИРТ») и его бывший ленинградский филиал (ныне – ЦНИИ «Гранит») стали самостоятельными организациями.

При передаче в 7-е ГУ НКАП НИИ-20 получил статус Центрального института авиационной телемеханики автоматики и связи НКАП. Для него был определен профиль работ – радиолокация. Указом Президиума Верховного Совета СССР от 17 апреля 1940 г. НИИ-20 передан в Наркомат электропромышленности как Центральный институт спецрадиосвязи, телемеханики и автоматики.

Начало эры отечественной радиолокации

В 1938 г. по результатам исследований под шифром «Редут» в Ленинградском физико-техническом институте под руководством Ю. Б. Кобзарева при участии НИИ связи и особой техники (НИИСТ) Рабоче-крестьянской Красной армии (РККА) были сформулированы основные тактико-технические требования (ТТХ) к радиолокационной станции (РЛС) для обнаружения самолетов, основанные на принципе отражения электромагнитных волн.



Ю. Б. Кобзарев



2 апреля 1939 г. Комитет обороны при Совете народных комиссаров СССР принимает постановление о поручении НИИ-20 создания средств радиообнаружения самолетов. Начальником связи РККА 29 июня 1939 г. были утверждены ТТХ на опытный образец радиодальномера дальней разведки.

К концу 1939 г. разработан проект станции, а к апрелю 1940 г. изготовлены два опытных образца «Редут-40». Это был двухантенный вариант РЛС с двумя синхронно вращающимися кабинами. Под шифром РУС-2 (радиопередатчик самолетов) РЛС была принята на вооружение Войск противовоздушной обороны (ПВО) (основные разработчики: А. Б. Слепушкин – руководитель разработки, Л. В. Леонов, А. М. Рабинович, И. И. Вольман, В. Ф. Шумских, Д. С. Михалевич).



РУС-2

Одновременно с разработкой РУС-2 институт проводил работу по созданию одноантенной РЛС. Решение было найдено инженером НИИ-20 Д. С. Михалевичем. Благодаря применению электрических разрядников, обеспечивающих переключение антенны на передачу или прием, блокировалась цепь приемника от мощных импульсов передатчика. Под шифром РУС-2 РЛС была принята на вооружение.



А. Б. Слепушкин

Интересно, что в Великобритании аналогичная проблема оставалась нерешенной в течение ряда лет и для излучения и приема использовались две отдельные антенны. Демонстрация в годы войны отечественных станций РУС-2 и РУС-2с офицерам английской военной миссии в Москве вызвала их нескрываемое удивление. За разработку РЛС РУС-2с М. С. Рязанскому, А. Б. Слепушкину, Л. В. Леонову, В. В. Тихомирову, И. И. Вольману была присуждена Сталинская премия.

К 10 июня 1941 г. десять комплектов РУС-2 были изготовлены и сданы Наркомату обороны. Директором института в это время был В. Ф. Захаров.



Директор НИИ-20 (1937–1941) В. Ф. Захаров

В 1940 г. НИИ-20 было выдано задание на разработку первой отечественной РЛС для кораблей Военно-морского флота (ВМФ). В том же году РЛС «Редут-К» была изготовлена и смонтирована на крейсере «Молотов» инженерами НИИ-20 Б. П. Лебедевым и В. А. Сивцовым, зачисленными в состав экипажа корабля.



Б. П. Лебедев (слева) и В. А. Сивцов
на крейсере «Молотов»

ВНИИРТ в годы Великой Отечественной войны

Первое боевое применение РЛС «Редут-К» на крейсере «Молотов» состоялось при отражении налета фашистской авиации на Севастополь 22 июня 1941 г.

Эффективность боевой работы станции «Редут-К» иллюстрируют некоторые примеры и цифры: с 1 июля 1941 г. по 15 мая 1942 г. станция включалась 441 раз, было обнаружено около 3800 самолетов; с 15 мая 1942 г. по 18 ноября 1943 г. она включалась 828 раз и было обнаружено 5500 около самолетов. Во время массированных налетов РЛС работала до 20 часов в сутки и обнаруживала одновременно до семи-восьми групп самолетов противника на дальностях до 120 км.

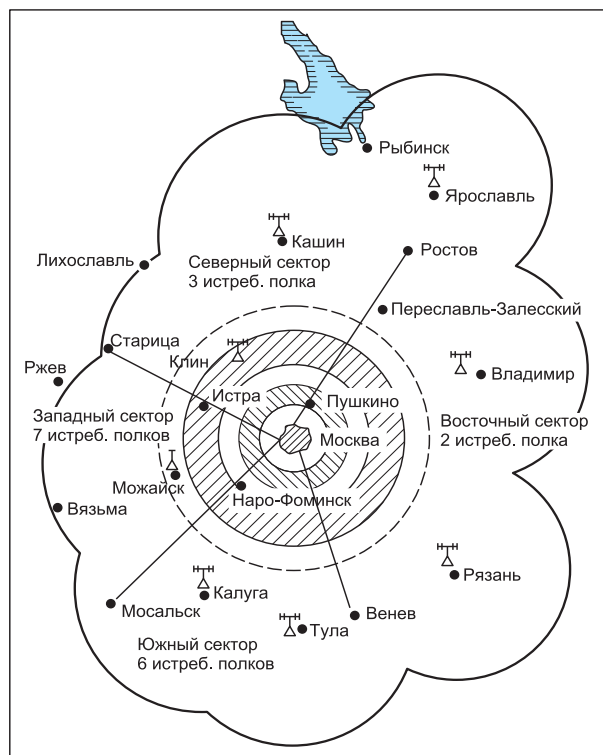
Первые РЛС РУС-2, РУС-2с были развернуты в 337-м отдельном радиобатальоне Войск воздушного наблюдения, оповещения и связи (ВНОС) Московского округа ПВО. Их работу обеспечивали сотрудники института И. И. Вольман, Е. И. Алейников, В. А. Кабанов, В. В. Тихомиров, М. С. Рязанский, Я. Н. Немченко и др.



В. В. Тихомиров

Станции РУС-2с в боевых условиях впервые были применены под Москвой на Можайском направлении в ночь на 22 июля 1941 г. при отражении массированного налета на Москву бомбардировщиков люфтваффе. Немецкое руководство предполагало разрушить промышленные предприятия и административно-правительственные учреждения Москвы, органы военного управления, посеять панику и страх среди населения.

Налет (около 220 самолетов) был обнаружен на дальности 110 км. В результате своевременного приведения в готовность авиации и зенитной артиллерии, умелых действий воинов 1-го корпуса ПВО и 6-го истребительного авиационного корпуса большая часть фашистской авиации, сбросив бомбы на дальних подступах к столице, повернула обратно, 22 вражеских бомбардировщика были уничтожены.



Карта ПВО (1941 г.)

Опыт ПВО Москвы стал распространяться в системах ПВО других важнейших промышленных и административных центров – Ленинграда, Севастополя, Новороссийска. Так, при обороне Ленинграда в течение октября – ноября 1942 г. было обнаружено 7900 самолетов противника, из них 2020 уничтожено.



Распоряжением Совета по эвакуации от 26 сентября 1941 г. и приказом наркома электропромышленности СССР И. Г. Кабанова от 30 сентября 1941 г. № 301сс НИИ-20 был временно эвакуирован в г. Барнаул Алтайского края. Институт разместился в здании дома культуры Меланжевого ткацкого комбината и находился там до июня 1943 г.



Директор НИИ-20 (1941–1944) В. В. Литарев

В 1942 г. в условиях эвакуации по постановлению Государственного комитета обороны (ГКО) был разработан первый отечественный самолетный радиолокатор «Гнейс-2» (главный конструктор – В. В. Тихомиров), который устанавливался на самолетах Пе-2, Пе-3, Ли-2. Дальнейшие модификации «Гнейс-5С» и «Гнейс-5М» устанавливались на самолетах-истребителях, самолетах-разведчиках морской авиации и торпедоносцах.

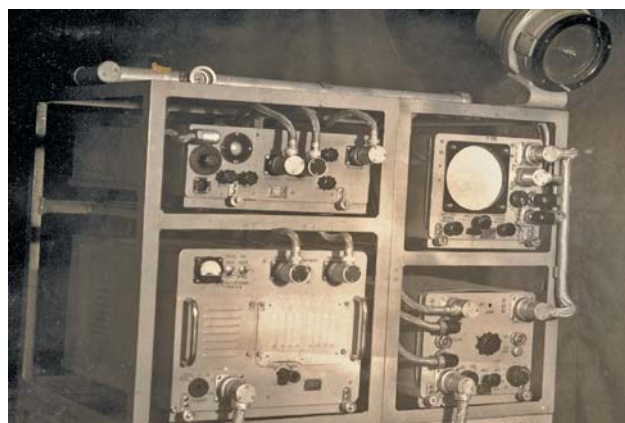


РЛС «Гнейс-5С»



РЛС «Гнейс-5М»

В 1943 г. перед НИИ-20 была поставлена задача в кратчайший срок разработать РЛС обнаружения надводных и воздушных целей для вооружения кораблей ВМФ всех классов. Отечественных РЛС такого типа, кроме «Редут-К», на флоте тогда не было. Созданный институтом опытный образец корабельной станции «Гюйс-1» был испытан на эсминце «Громкий» в апреле – мае 1944 г. в Баренцевом и Белом морях при волнении один–восемь баллов. Второй этап разработки – создание опытного образца корабельной РЛС «Гюйс-1М», работающей в метровом диапазоне длин волн, – 0150 завершился ее успешными испытаниями в октябре 1944 г. на эсминце «Полухин» в Балтийском море.



РЛС «Гюйс-1М»

Модернизация этой станции позволила создать РЛС «Гюйс-1Б», по характеристикам превосходящую английскую РЛС «291». Разработка и испытания станций «Гюйс-1М» и «Гюйс-1Б» велись под руководством К. В. Голева при участии Н. А. Викторова, Б. П. Лебедева, П. В. Подгорнова, В. В. Самарина, Н. В. Сорокина.



К. В. Голев



В августе 1944 г. успешно завершены полигонные испытания наземной РЛС П-3 (главный конструктор – М. С. Рязанский). Предназначенная для наведения истребителей на самолеты противника, она позволяла определять высоту цели с точностью 600–750 м (в предыдущих РЛС высота не определялась). Серийно станция производилась на Горьковском заводе.



М. С. Рязанский

В 1941 г. принята на вооружение Красной армии и выпущена крупной серией радиолония «Алмаз», разработанная во ВНИИРТ для бесперебойной связи штабов фронтов со Ставкой Верховного главнокомандующего.

В 1943 г. после возвращения из эвакуации в Москву институту предоставляется здание бывшей Академии железнодорожного транспорта со всеми подсобными помещениями и жилым корпусом на ул. Большая Почтовая, дом 22.

За восемь выдающихся работ, проведенных в институте в годы войны, 26 сотрудников награждены Сталинской премией. Институтом воспитано много квалифицированных специалистов, из числа которых большая группа была направлена для организации новых научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро.

В работе НИИ-20 всегда был тесно связан с промышленностью и оказывал большое влияние на развитие отечественной радиотехники. Только за четыре года его специалистами было внедрено 14 новых разработок на 12 заводах военной промышленности.

С 1941 по 1945 г. институт поставил на фронт огромное количество боевой техники,

в том числе РЛС РУС-2, РУС-2С – 487 комплектов, «Пегматит» (П-2) – 120 комплектов, П-3 – 14 комплектов, «Гнейс-2» – 226 комплектов, «Гнейс-4» – 6 комплектов, «Гнейс-5», «Гнейс-5М» – 110 комплектов, «Гюйс» – шесть комплектов, а также РЛС «Редут-41», «Редут-К», «Яхонт» и «Турмалин».

21 января 1944 г. указом Президиума Верховного Совета СССР за выполнение специального задания правительства, успешную разработку образцов новой техники, их освоение и серийный выпуск Научно-исследовательский институт № 20 был награжден орденом Трудового Красного Знамени.



Институт в послевоенное время

Со временем, в связи со значительным развитием средств воздушного нападения, разработанные до начала и в годы войны РЛС перестали соответствовать требованиям по дальности действия, точностным показателям и устойчивости к помехам. Требовались новые технические решения, возникла необходимость в освоении новых частотных диапазонов.

В 1946 г. Координационным комитетом № 3 при Совете министров СССР был принят Государственный план развития важнейших радиолокационных разработок. На НИИ-20 возлагалось выполнение двух крупнейших опытно-конструкторских работ: по созданию стационарной РЛС «Обсерватория» (П-50) и подвижной РЛС «Перископ» (П-20), предназначенных для дальнего обнаружения самолетов противника и наведения истребителей в системе ПВО объектов государственного значения. Обе РЛС были разработаны в предельно короткие сроки.

РЛС «Обсерватория» представляла собой первый отечественный радиолокационный узел сверхдальнего действия, который



состоял из стационарной РЛС, оборудования поста ВНОС, специального оборудования контрольных постов истребительной авиации и оборудования пяти постов наведения своих истребителей на самолеты противника, а также радиотрансляционной линии для передачи данных на центральный пост управления в реальном масштабе времени.



Директор НИИ-20 (1944–1950) К. Л. Куракин

За разработку станции «Обсерватория» коллектив авторов в составе А. М. Рабиновича, С. П. Заворотичева, К. Л. Куракина, Ю. А. Мантейфеля, Р. И. Переца, В. В. Самарина, С. А. Смирнова был удостоен Сталинской премии I степени.



РЛС «Обсерватория» (П-50)

Подвижная РЛС «Перископ» (главный конструктор – В. Л. Леонов) позволяла обнаруживать самолеты на дальности до 200 км при высоте полета до 13 км. В 1949 г. РЛС успешно прошла все испытания и под шифром П-20 была передана для серийного производ-

ства Лианозовскому электромеханическому заводу. Эта станция стала основой для целого семейства РЛС: П-25, П-30, П-35, П-37, 1Л117, выпускаемых серийно в больших объемах до настоящего времени.



РЛС «Перископ» (П-20)



В. Л. Леонов

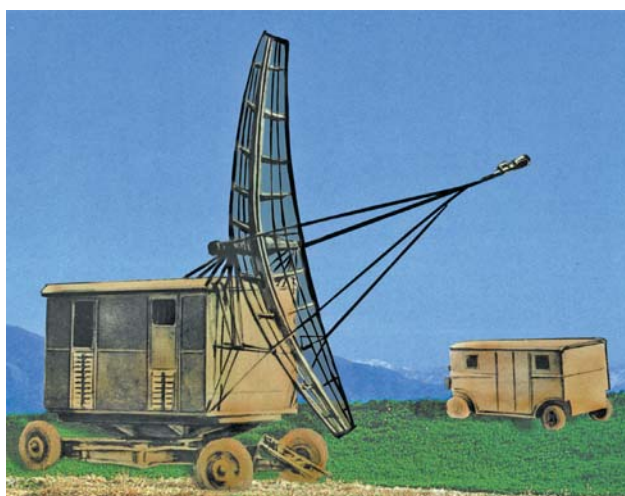
В марте 1954 г. распоряжением Совета министров СССР НИИ-20 переименован в Государственный союзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт (НИИ-244) Министерства радиотехнической промышленности СССР.



Директор института (1950–1964) А. П. Земнорей



В 1953 и 1961 гг. для работы в радиолокационных комплексах совместно с дальномерами П-20, П-25, П-35 разработаны радиовысотомеры «Конус» (ПРВ-10) и «Вершина» (ПРВ-11) (главный конструктор – В. А. Сивцов). По сравнению с дальномерами они имели более высокий предел обнаружения целей. Положительные результаты, полученные на РЛС «Перископ», где была применена когерентно-импульсная аппаратура, позволили использовать ее при разработке мобильной дециметроввой РЛС «Тропа» для обнаружения низколетящих целей в системе войсковой ПВО.

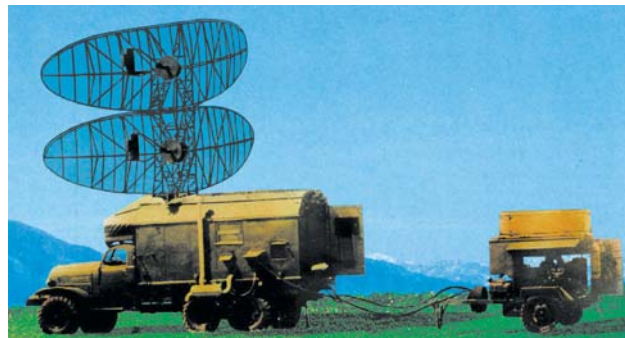


«Конус» (ПРВ-10)



«Вершина» (ПРВ-11)

РЛС «Тропа» (П-15) была первой массовой станцией ПВО, в которой для защиты от пассивных помех применялась когерентно-импульсная техника. Станция в то время позволяла весьма удачно решать проблему обнаружения низколетящих целей на высотах от 100 до 6000 м на дальности до 100 км.



РЛС «Тропа» (П-15)

РЛС «Тропа» и ее модификация П-19 (главный конструктор – Б. П. Лебедев) сыграли огромную роль в радиотехнических войсках ПВО и по праву занимают почетное место в истории отечественной радиолокации. Станция большой серией выпускалась Муромским и Ульяновским радиозаводами.

Серию РЛС поколения 1950-х – начала 60-х гг. завершает разработка мощной трехкоординатной РЛС высокой производительности «Памир», работающей в дециметровом диапазоне длин волн (главный конструктор – Б. П. Лебедев). Следует отметить, что РЛС «Памир» стала первой отечественной РЛС, в которой был реализован параллельный обзор пространства, что позволило повысить эффективность путем одновременного обнаружения и измерения трех координат всех целей на проходе.



РЛС «Памир» (П-90)



В 1961 г. опытный образец РЛС «Памир» (П-90) был передан Московскому округу ПВО для опытной эксплуатации и участвовал в тактических учениях, где показал большую информативную способность в условиях масшированных помех.

В целом разработка РЛС «Памир» существенно усилила научно-технический потенциал института, а многие технические решения были использованы и другими предприятиями при создании станций последующих поколений. Так, предложенный в РЛС «Памир» метод обзора пространства на современной технической базе используется в ряде современных РЛС (например, «Противник-Г»). РЛС «Памир» явилась основой для создания семейства РЛС для управления воздушным движением типа «Утес», производимых Лианозовским электромеханическим заводом.

Целая эпоха в области создания антенн, от простых вибраторных до современных сложных антенных решеток, отразилась в деятельности лауреата Государственной премии СССР, доктора технических наук, профессора А. Р. Вольперта, известного не только в нашей стране, но и за рубежом.



А. Р. Вольперт

В 1956 г. институт получил задание на разработку радиолокационного комплекса (РЛК) «Алтай», в дальнейшем сыгравшего важную роль в отечественной радиолокации.

В состав комплекса «Алтай» входили четыре радиовысотомера «Вершина» для измерения высоты целей, обнаруженных двумя радиодальномерами. Это обеспечивало возможность работы комплекса (измерение трех

координат) более чем по 10 целям, что ставило РЛК «Алтай» в разряд РЛС с высокими по тому времени тактическими возможностями.

Благодаря тактическим возможностям (большая дальность действия, помехозащищенность от пассивных и активных помех, возможность одновременного измерения трех координат большого числа целей) РЛК «Алтай» длительное время являлся основным средством для обнаружения целей на средних и больших высотах.

В самом начале разработки РЛК «Алтай» главным конструктором был В. А. Сивцов, но вскоре эта обязанность была возложена на С. А. Смирнова, под руководством которого был создан и испытан опытный образец, принятый на вооружение в 1969 г. под шифром П-80. Разработчиком передатчиков для РЛК «Алтай», «Вершина», РЛС «Машук», СТ-68, «Гамма-Д» и «Каста-2-2» являлся отдел, возглавляемый лауреатом Государственной премии СССР Г. Е. Редькиным.



РЛК «Алтай»



С. А. Смирнов

Весь арсенал наземных РЛС кругового обзора 1950-х – 60-х гг., за исключением П-20 и П-90, использовавшийся для измерения трех координат целей, был построен по схеме «дальномер – высотомер» и имел ограниченную производительность, определяемую возможностями высотомера.



Г. Е. Редькин

В связи с повышением боевых характеристик средств воздушного нападения резко возросли требования к помехозащищенности, обнаружению малоразмерных целей, точности определения их координат и пропускной способности РЛС. Для решения этих задач институту была поручена разработка РЛС «Машук» (5Н88). Впервые заказчик директивно определил обязательность наличия в составе станции электронно-вычислительной машины (разработчик – Московский НИИ приборной автоматики) с аппаратурой автосъема и обработки радиолокационных сигналов и выдачи информации о целях в виде трасс (главный конструктор – Л. И. Собкин, затем – Г. В. Кириллов).



РЛС «Машук» (5Н88) (приемная позиция)

В 1977 г. РЛС «Машук» успешно прошла государственные испытания, комиссия отметила высокие тактические и технические характеристики РЛС, а на научно-техническом совете по рассмотрению результатов разра-

ботки РЛС «Машук» основоположник отечественной радиолокации академик Ю. Б. Кобзарев назвал разработку РЛС шедевром.



РЛС «Машук» (5Н88) (передающая позиция)



Директор института (1964–1980) П. М. Чудаков

В марте 1966 г. постановлением Совета министров СССР № 160 НИИ-244 присваивается открытое наименование Яузский радиотехнический институт (ЯРТИ) (закрытое название – предприятие п/я А-1927).

В октябре 1971 г. приказом министра радиопромышленности № 701 Яузский радиотехнический институт переименовывается во Всесоюзный научно-исследовательский институт радиотехники (закрытое название – предприятие п/я М-5075).

Для реализации новых требований по радиолокации низколетящих целей институту в 1970 г. была поручена разработка подвижной трехкоординатной РЛС СТ-68 для обнаружения и сопровождения маловысотных целей при действии активных и пассивных помех и наличии интенсивных отражений от земли в сложных метеоусловиях.



Впервые в практике института в сантиметровом диапазоне была использована фазированная решетка на основе волноводно-щелевых линеек. В состав станции входил цифровой вычислительный комплекс 5Э26-2, позволяющий выдавать потребителям информацию о трассах. В РЛС впервые была применена мобильная вышка, позволяющая поднимать фазовые центры антенн над землей почти на 25 м. Уровень подавления сигналов, отраженных от местных предметов, достиг 50...60 дБ. Станция успешно прошла государственные испытания.



РЛС СТ-68

РЛС СТ-68 была внедрена в серийное производство на Муромском заводе радиоизмерительных приборов (МЗРИП), несколько ее образцов были направлены для эксплуатации в войска. Позднее на базе этой РЛС на заводе «Искра» с участием специалистов института была разработана более простая РЛС СТ-68У.

Главными конструкторами станции в различное время были С. П. Рабинович, П. М. Чудаков, В. В. Копейкин.



С. П. Рабинович



В. В. Копейкин

В начале 1980-х гг. возникла необходимость замены широко используемых в войсках устаревших дежурных РЛС обнаружения низколетящих целей П-15 и П-19. На основе опыта, накопленного в ходе разработки мало-высотной РЛС СТ-68, была начата НИР «Каста» (руководитель – В. В. Копейкин, позже – С. Н. Степанов). На основании результатов НИР было принято целесообразным создание высококомбинированной твердотельной РЛС, работающей в дежурном режиме.



Директор ВНИИРТ
(1980–1987) В. С. Бондаренко

РЛС состоит из антенной и аппаратной машин и вынесенного на расстояние до 300 м рабочего места оператора. Особая заслуга разработчиков – создание и внедрение цифровых методов обработки сигнала, микропроцессорных вычислителей и твердотельных СВЧ-устройств.

РЛС «Каста 2-1» была принята на вооружение в 1989 г. и вскоре стала массово приме-



няться в войсках. Надо сказать, что это одно из немногих российских изделий, успешно используемых в странах НАТО.



С. Н. Степанов

Постановлением Совета министров СССР за разработку РЛС «Каста 2-1» большому числу специалистов ВНИИРТ, МЗРИП и НИИ «Пульсар» была присуждена Государственная премия СССР.



РЛС «Каста-2-1»

Следующей модификацией станций этого класса стала РЛС «Каста-2-2» (главный конструктор – Е. А. Прощин). РЛС имеет существенно более высокие конструктивные и эксплуатационные параметры, в первую очередь высокую мобильность и малое время развертывания для работы на неподготовленной позиции. В РЛС достигнута высокая степень подавления (до 54 дБ) помех от местных предметов.

РЛС «Каста 2-2» была принята на вооружение в 1998 г. и успешно экспортируется. Большой вклад в разработку внесли С. Н. Степанов и Г. В. Яшутенков. В настоящее

время успешно проведены две модернизации РЛС «Каста 2-2», что позволило существенно повысить ее ТТХ (главный конструктор – С. Н. Степанов). По результатам разработки и серийного освоения РЛС «Каста 2-2» большая группа специалистов ВНИИРТ, МЗРИП и других предприятий отмечены правительственными наградами.



РЛС «Каста-2-2»



Е. А. Прощин

В области разработок РЛС средних и больших высот по результатам НИР «Астра» подтверждена возможность создания твер-



И. А. Колесник



Директор института
(1987–1988, 2006–2011)
В. В. Коряков



Генеральный конструктор
института (1987–2008)
Ю. А. Кузнецов



Директор института
(1988–2005) Ю. П. Минаев



Директор института
(1995–2006) А. А. Таныгин

дотельной трехкоординатной РЛС дециметрового диапазона. Разработка и испытания опытного образца РЛС «Гамма-Д» занимают особое место в истории института. По своим ТТХ станция не уступает, а по некоторым показателям превосходит лучшие зарубежные аналоги.

Станция обладает высокими модернизационными возможностями. Главными конструкторами в различное время были Г. А. Гичко, Ю. Н. Черемных, И. О. Иммореев, В. С. Ефремов, большой вклад в разработки внесли П. И. Собкин, Р. Л. Махлин, Г. В. Кириллов. Теоретические и экспериментальные исследования и внедрение результатов моделирования при создании РЛС «Машук», СТ-68, «Каста-2-1», «Каста-2-2», «Гамма-Д», «Гамма-С1» выпол-

нялись талантливым инженером И. А. Колесником. Им же разработаны методические основы синтеза радиолокационных систем.

В 1998 г. институту присвоен статус Федерального научно-производственного центра «Всероссийский НИИ радиотехники» (ФНПЦ ВНИИРТ). В 1999 г. институт получает статус Федерального государственного унитарного предприятия (ФГУП ВНИИРТ). 6 ноября 2002 г. институт становится открытым акционерным обществом и входит в состав ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей».

В 1997 г. успешно завершились государственные испытания мобильной трехкоординатной РЛС боевого режима для средних и больших высот с фазированной антенной решеткой (ФАР) «Гамма-С1». За ее разработку



большая группа специалистов ВНИИРТ и других предприятий отмечена правительственными наградами.

В акте комиссии по проведению государственных испытаний подчеркнуто, что РЛС «Гамма-С1» обладает высоким модернизационным потенциалом, и институтом были предложены способы создания модернизированной РЛС «Гамма-С1М» межвидового применения. В декабре 2006 г. ВНИИРТ была поставлена опытно-конструкторская работа «Нахождение», в ходе которой разработана модернизированная РЛС «Гамма-С1М» (главный конструктор – Е. А. Прощин). В настоящее время РЛС «Гамма-С1М» выпускается МЗРИП большой серией и поставляется в войска.



РЛС «Гамма-С1М»

В 2015 г. институту поручена разработка новой модификации РЛС «Гамма-С1М» с заменой клистронного передатчика твердотельным (главный конструктор – Б. Б. Батуров).



Б. Б. Батуров

Последней разработкой института в области обнаружения низколетящих целей является РЛС «Подлет». Она заменила устаревшие маловысотные РЛС СТ-68У и СТ-68УМ по результатам успешно проведенной научно-исследовательской экспериментальной работы «Задаток» (главный конструктор – С. Н. Степанов). Станция обладает всеми качествами станции боевого режима. В ходе ее создания впервые разработаны и внедрены в серийное производство новые оригинальные конструктивно-технические решения, позволяющие эффективно решать задачи по обнаружению перспективных средств воздушного нападения, в том числе разработанных по технологии «стелс» крылатых ракет и беспилотных летательных аппаратов.

Благодаря успешной реализации перспективных решений РЛС «Подлет» соответствует уровню мировых РЛС аналогичного назначения, а по ряду характеристик превосходит их.



РЛС «Подлет»



В 2007 г. успешно завершены государственные испытания комплексированного вторичного радиолокатора «Вопросник» (главный конструктор – С. Н. Степанов). Его появление связано с тем, что с 1996 г. заказчиком было выдвинуто требование о наличии в составе перспективных РЛС не только аппаратуры опознавания государственной принадлежности, но и канала вторичной радиолокации, обеспечивающих работу в отечественной и международной системах управления воздушным движением. Радиолокатор, серийно выпускаемый АО «ВНИИРТ», встраивается в РЛС «Каста-2-2», «Гамма С1-М», «Подлет» и поставляется на экспорт в составе РЛС «Каста-2-2».

В конце 1990-х гг. по заданию Тульского КБ приборостроения институт приступил к разработке РЛС обнаружения и целеуказания для зенитного ракетно-пушечного комплекса ближнего действия «Панцирь-С1». Станция прошла все виды испытаний (автономные, государственные, демонстрационные у иностранного заказчика), освоена в серийном производстве Лианозовским электромеханическим заводом и экспортируется в составе комплекса. В станции впервые в S-диапазоне реализована твердотельная ФАР с цифровым диаграммообразованием на прием, широко применены для обработки сигналов цифровые сигнальные процессоры. Также разработана мобильная станция обнаружения воздушных целей (РЛСО «Истра») для управления зенитными ракетными комплексами ближней и средней дальности действия (главный конструктор – Р. Л. Махлин, первые заместители – В. А. Голубев, Т. Н. Гушьян).



РЛС «Панцирь-С1»



РЛСО «Истра»

С 2011 г. генеральным директором АО «ВНИИРТ» является кандидат технических наук, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, заслуженный конструктор Российской Федерации В. Е. Зайцев.



В. Е. Зайцев



Р. Л. Махлин

В начале 2000-х гг. институт вновь обращается к морской тематике. Институту поручена разработка РЛС обнаружения и целеуказания для кораблей класса «Корвет» и «Фрегат». РЛС для кораблей класса «Корвет» (главный конструктор – Р. Л. Махлин).



тор – Р. Л. Махлин, с 2015 г. – Т. Н. Гущьян) прошла государственные испытания, серийно изготавливается и в настоящее время эксплуатируется на ВМФ. РЛС для кораблей класса «Фрегат» (главный конструктор – Р. Л. Махлин, с 2015 г. – В. А. Голубев) завершает испытания в составе корабля и запущена в серийное производство.



Т. Н. Гущьян



В. А. Голубев



РЛС для кораблей класса «Корвет»



РЛС для кораблей класса «Фрегат»

В эти же годы проведена существенная модернизация РЛС «Гамма-Д» (главный конструктор – Р. Л. Махлин, с 2015 г. – О. А. Мареев). В результате разработана полностью твердотельная станция большой мощности. РЛС «Гамма-ДЕ» обладает самыми высокими в своем классе ТТХ и поставляется на экспорт.



РЛС «Гамма-ДЕ»

В настоящее время институт ведет разработку высокопотенциальной РЛС с управляемой энергетикой для перспективной системы противовоздушной и космической обороны (главный конструктор – В. И. Порсев).



В. И. Порсев



В. Ф. Андреев



М. Ф. Инденбом



А. А. Фин



Н. А. Попов



С. Н. Савин



Б. П. Лебедев



И. Т. Помаленький



Ю. М. Черемных

Все последние разработки института в области ФАР успешно проводились в отделе, руководимом В. Ф. Андреевым. Наиболее квалифицированным специалистом в этой области несомненно является М. Ф. Инденбом, в 2015 г. выпустивший монографию «Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория,

расчет, конструкции». В разработке и создании новой радиолокационной техники в институте важную функцию выполняет служба главных инженеров. Первые отечественные радиолокаторы были разработаны, когда главными инженерами были М. Е. Азбель и А. А. Фин. В эвакуации главным инженером



Е. Н. Белкин



О. А. Мареев



В. Н. Сергеев

стал Н. А. Попов, затем эту должность занимали С. Н. Савин (1944–1948), Б. П. Лебедев (1950–1964), И. Т. Помаленький (1965–1986), Ю. М. Черемных (1987–1994), Е. Н. Белкин (1994–2010). В настоящее время службу главного инженера возглавляет О. А. Мареев.

Телевизионная тематика

В начале 1990-х гг. в институте развернуты работы в области телевизионной тематики. В 1992 г. выполнена разработка перспективных телевизионных клистронных передатчиков дециметрового диапазона серии «Шум» мощностью 1 и 5 кВт (главный конструктор – Л. И. Шумаков), в 1994 г. начато их серийное производство. Всего выпущено 23 передатчика, в том числе 15 мощностью 5 кВт, поставляемых в основном в областные телевизионные центры.

В 2000–2001 гг. разработаны твердотельные телевизионные передатчики серии А-108, начато их серийное производство, выпущено более 1500 штук.



Л. И. Шумаков

Одновременно с разработкой передатчиков проводились работы по созданию нового класса различных антенных систем для радио- и телепередатчиков (главный конструктор – В. Н. Сергеев). За комплекс работ, выполненных для телевидения, В. Н. Сергееву присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

Разработанное оборудование стало основой для построения эфирных сетей, используемых телевизионными каналами «Культура», ТВЦ, НТВ и рядом региональных телекомпаний.

Гражданская продукция

Институт является пионером в области разработки приборов, позволяющих осуществлять контроль за скоростью движения транспортных средств с фоторегистрацией. В 1971–1982 гг. были разработаны три модификации радиолокационных измерителей скорости транспортных средств, движущихся с превышением установленного предела скорости на многополосных магистралях, – ПКС-1, -2, -3. Приборы показали положительные результаты и изготовлены большой серией (до 400 комплектов) в ПО «Искра» (г. Запорожье). Были также разработаны приборы контроля за прохождением автотранспорта через железнодорожные переезды. Главным конструктором этого направления был И. Н. Кулигин.

В 1980-х гг. институтом под руководством главного конструктора В. Е. Котенкова разработаны две модификации георадиолокаторов (17ГРЛ-1 и 17ГРЛ-2) для применения в геофизике, геологии, радиофизике, сейсмо-



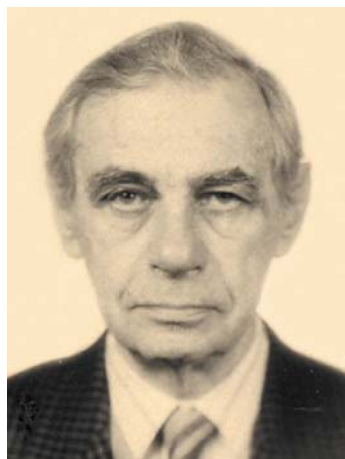
гии, археологии и при инженерно-строительных изысканиях (серийно выпускались заводом «Радуга», г. Владикавказ; применялись при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС).

В 1962 г. институту было поручено разработать аппарат для охлаждения головного мозга при проведении различного рода операций. Приборы «Холод 2Ф», «Термохолод» и «Флюидокраниотерм» были запатентованы в США, ФРГ, Японии, Англии, Франции, Канаде, Италии и отмечены дипломами и золотыми медалями международных выставок.

В 1972 г. разработан прибор для лечения онкологических больных с помощью гипертермии (нагревание тела больного при одновременной защите головного мозга холодом).

В 1978 г. проведены работы по созданию инкубаторов для выхаживания недоношенных детей. Было поставлено 46 инкубаторов, спасены жизни нескольких тысяч младенцев. Руководители работ по медицинской тематике – О. А. Смирнов, В. П. Данилов, И. Г. Мещеринов.

В 1996 г. по инициативе А. В. Вайсблата и С. Г. Веснина (главный конструктор) был разработан прибор для ранней диагностики заболеваний внутренних органов человека, защищенный патентом и широко применяемый в медицинской практике. Прибор награжден золотыми медалями на выставках в Женеве и Нюрнберге, используется более чем в 300 онкологических центрах 30 стран мира.



А. В. Вайсблат



С. Г. Веснин

Почти все работы по медицинской тематике завершились серийным освоением и внедрением приборов в практику.

Вклад ВНИИРТ в развитие радиоэлектронной промышленности

Всего в 1945–1968 гг. из института на другие предприятия целевым образом были переведены более 3870 человек, в том числе более 970 специалистов научно-технического профиля и 2900 производственников. На базе выделившихся из института научно-технических направлений выросли крупные НИИ.

Так, в 1945 г. в НИИ-17 переводится группа специалистов по разработке бортовой радиолокационной техники во главе с В. В. Тихомировым – главным конструктором первой самолетной РЛС «Гнейс-2» и А. Б. Слепушкиным – главным конструктором первой отечественной РЛС РУС-2.

В 1946 г. большая группа специалистов института (150 человек) была переведена в НИИ-885 (ныне – Российский НИИ космического приборостроения) во главе с М. С. Рязанским (ставшим впоследствии директором этого института).

В 1944 г. Горьковскому радиозаводу, где образовано КБ (в дальнейшем – Нижегородский НИИ радиотехники по разработке РЛС метрового диапазона), передается документация на РЛС П-3.

На базе разработок института образованы заводы радиолокационного профиля: Лианозовский электромеханический завод, Муромский завод радиоизмерительных приборов, Правдинский завод радиоаппаратуры.



Производственный корпус для сборки и регулировки современных РЛС (г. Мытищи)



Гальванический участок (г. Мытищи)



Участок станков с числовым программным управлением (г. Мытищи)



Участок по производству большеразмерных диаграммообразующих схем (г. Судогда)

Вклад института в развитие других предприятий не ограничивался только переводом научных кадров и передачей производственной базы, передавалась научно-техническая документация, выполнялись совместные разработки.

ВНИИРТ располагает двумя хорошо оснащенными производственно-испытательными базами в городах Мытищи (Московская область) и Судогда (Владимирская область), на которых выполняются сборка, регулировка, испытания и сдача готовой продукции, разработанной институтом. Базы располагают современными производственными участками (участок станков с числовым программным управлением, участки по производству большеразмерных диаграммообразующих схем, гальванический участок, безэховая камера). В Мытищах построен специальный производственный корпус для сборки и регулировки современных РЛС следующего поколения.

В последнее время в институт пришло много талантливых молодых специалистов. Средний возраст персонала института – 47 лет, возраст более 30 % работающих – до 35 лет. Во всех разработках, при производстве и испытаниях новой техники, выпускаемой институтом, активно участвует молодежь. В институте работает совет молодых специалистов.

Девять специалистов являются стипендиатами премии Президента РФ. Двадцати семи молодым специалистам установлена поощрительная стипендия АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей». В 2013–2015 гг. 53 специалиста института стали победителями конкурса им. К. Д. Новикова среди предприятий радиолокационного профиля за звания «Лучший инженер-разработчик», «Лучший инженер-конструктор, технолог», «Лучший станочник», «Лучший слесарь-инструментальщик», «Лучший слесарь-сборщик».



В институте действует аспирантура по подготовке кадров в области радиотехники и радиолокации. За время существования аспирантуры подготовлены и защищены девять диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук и более 300 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В 2015 г. Русский биографический институт среди лауреатов премии «Человек года – 2015» в номинации «Органы государственного управления, компании и организации года» признал лауреатом АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники», генеральный директор – В. Е. Зайцев.

Корляков Вадим Васильевич — советник генерального директора АО «ВНИИРТ», Почетный работник науки и техники РФ, Почетный радист.



Г. В. Козлов, Д. Ю. Большаков

В память об Иосифе Матвеевиче Дризе



3 ноября 2016 г. ушел из жизни выдающийся конструктор войсковых зенитных ракетных комплексов малой дальности Иосиф Матвеевич Дризе.

И. М. Дризе родился 20 марта 1927 г. в г. Почеп Брянской области в семье служащего. Родители: мать – домохозяйка, отец в 18 лет ушел в Красную Армию и воевал всю Гражданскую войну, затем работал на заводе в отделе снабжения производства.

В 1935 г. И. М. Дризе поступил в школу в г. Москве. В 1941 г. был с семьей эвакуирован в г. Чистополь, где два года работал на заводе токарем. После возвращения из эвакуации в 1943 г. окончил экстерном школу и в 1944 г. поступил в Московский авиационный институт на факультет № 4 «Радиоэлектроника летательных аппаратов» по специальности «Радиоуправление летательными аппаратами», после обучения был распределен в НИИ-20.

С того дня, как Иосиф Матвеевич переступил порог НИИ-20 (в настоящее время НТЦ «НИЭМИ» ПАО «НПО «Алмаз»), где начался его долгий и славный трудовой путь от инжене-

ра-разработчика до руководителя тематического отдела и конструктора зенитных ракетных комплексов (ЗРК) малой дальности.

Иосифу Матвеевичу очень повезло с первыми наставниками – Наумом Адольфовичем Баршаем и Анатолием Прокопьевичем Белоусовым – людьми талантливыми и требовательными. Его первые работы были посвящены оптимизации локационного приемника. В 1956 г. совместно с ЦНИИ-108 (в настоящее время АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга») была завершена НИР «Исследование методов защиты радиолокационных станций орудийной наводки от ответных помех (шифр «Крыло»)). Участвуя в ней, Иосиф Матвеевич внес большой вклад в разработку методов защиты радиолокационных станций (РЛС) от воздействия угловых и опережающих импульсных помех и повышение точности автосопровождения цели. Методы защиты РЛС от ответной помехи, разработанные в НИР «Крыло», с успехом использовались во всех разработках РЛС слежения: станциях орудийной наводки «Просвет-К» и «Ваза», зенитных ракетных комплексах семейства «Круг» и «Оса». На основе результатов, полученных в НИР «Крыло», И. М. Дризе защитил кандидатскую диссертацию.

После плановой реструктуризации института в 1958 г. Иосиф Матвеевич был переведен на должность начальника лаборатории и одновременно назначен заместителем начальника отдела, которым руководил ведущий ученый в области радиолокационных систем Михаил Львович Слиозберг. Отдел работал над новой в СССР тематикой – противотанковые управляемые ракеты с наведением по радиоканалу. Иосиф Матвеевич стал разработчиком аппаратуры радиоуправления ракеты, до этого такими снарядами управляли исключительно по разматываемому проводу.

Эскизный проект противотанковой управляемой ракеты был разработан за один год, а вскоре появился и технический проект, полностью определивший пути создания



этой системы. Полученные результаты были использованы в КБ «Точмаш» (ныне АО «КБ-точмаш им. А. Э. Нудельмана») для создания управляемой ракеты комплекса «Фаланга». В 1960 г. на полигоне в г. Кубинке под Москвой были проведены успешные испытания этого комплекса, на которых присутствовал Н. С. Хрущёв. Он тепло поздравил разработчиков с успешными испытаниями и завершением разработки комплекса «Фаланга», который на протяжении многих лет использовался в Вооруженных Силах СССР. Успех комплекса – это заслуга и Иосифа Матвеевича, который разработал схему управления ракетой.

В 1959 г. И. М. Дризе в качестве заместителя главного конструктора зенитного ракетного комплекса «Круг» был переведен в отдел № 3, возглавляемый Вениамином Павловичем Ефремовым. Вся его работа в этот период была связана с проведением испытаний, и фактически весь полигон, по словам сослуживцев, держался на его плечах.

Осенью 1961 г. для проведения комплексных заводских испытаний на смену экспериментальному образцу на полигон поступил первый опытный образец комплекса «Круг». В результате напряженной работы уже в декабре того же года было получено подтверждение правильности принятых решений. Затем начался длительный процесс отработки аппаратуры и систем управления. Как вспоминает сам Иосиф Матвеевич, во время испытаний комплекса «Круг» он находился в командировке примерно восемь месяцев в году.

Войсковой ЗРК – это согласованное сочетание сложнейших элементов: гусеничного или колесного шасси, РЛС, системы управления, пусковых установок и, конечно, самих ракет. Конструктор такого комплекса подобен дирижеру большого оркестра, исполняющего грандиозную оперу. Подобных комплексов в армиях иностранных государств, как по принципу действия, так и по боевым характеристикам тогда еще не было.

Испытания длились почти три года. Рабочий день, как правило, включал две смены: днем – пуски ракет, ночью – подготовка техники к следующим испытаниям и лабораторные проверки.

Государственные совместные испытания комплекса «Круг» проходили с января 1963 г. по июнь 1964 г. Техническими руководителями испытаний были Вениамин Павлович Ефремов и Лев Вениаминович Люльев. Иосиф Матвеевич Дризе входил в состав комиссии от Госкомитета по радиоэлектронике.

В ходе испытаний были выявлены серьезные проблемы с ракетой: флаттер, разрушение ракеты при отделении стартовиков. Из 26 пусков, выполненных до конца 1960 г., шесть ракет разрушились в полете, у семи не включился маршевый двигатель, и только 12 стрельб были относительно успешными. С учетом выявленных недостатков было принято решение изменить конструкцию стабилизаторов горения и повысить жаростойкость камеры сгорания маршевого двигателя.

Несмотря на сложности, был и обнадеживающий результат. Так, анализ возможностей станции наведения ракет и динамики наведения зенитной управляемой ракеты показал возможность обеспечения приемлемой точности наведения при использовании только радиокомандной системы управления.

Доработанный комплекс «Круг» отлично показал себя при испытаниях и эксплуатации в войсках. За значительный вклад в его разработку И. М. Дризе в 1967 г. была присуждена Ленинская премия.

Время шло, и вечная борьба пули и брони привела к тому, что авиационные средства воздушного нападения стали маловысотными, поэтому из-за влияния радиогоризонта обнаружить их можно было только на ближних рубежах. С учетом этого новый комплекс «Оса» проектировался сразу как средство борьбы с низколетящими целями. Работы по низковысотному комплексу противовоздушной обороны (ПВО) начались одновременно в СССР и США в 1959 г., но успешно завершить эти работы удалось только советским инженерам.

В 1968 г. И. М. Дризе был назначен начальником отдела № 15. Иосиф Матвеевич привел с собой из отдела № 3 слаженную команду из семи ведущих разработчиков, кроме того ему повезло с коллективом нового отдела, который сложился в основном на базе 5-й лаборатории, руководимой М. М. Косичкиным.



Большая заслуга Иосифа Матвеевича состояла в том, что он со своей командой сумел создать сплоченный коллектив без нарушения его традиций и объединить усилия для дальнейшей работы по изделию «Оса». С поставленной задачей – за год создать новое изделие «Оса» – коллектив справился отлично.

Показательно и то, что за почти полвека руководства отделом не легла на полку ни одна работа. Все научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки были внедрены в действующие образцы вооружения как Российской армии, так и армий зарубежных стран, что еще раз подтверждает особый талант организатора и конструктора И. М. Дризе.

До 1967 г. были пройдены все этапы создания автономного войскового зенитного ракетного комплекса малой дальности «Оса» до государственных испытаний включительно. Из-за обнаруженной проблемы, связанной со сложностью компоновки изделия, – антенный пост и пусковое устройство были размещены на одном самоходе, но на разных осях, что не позволяло стрелять через антенный пост, – экспертной комиссией Главного ракетно-артиллерийского управления (ГРАУ) Министерства обороны СССР было принято решение о доработке системы.

В 1969 г. И. М. Дризе стал основным разработчиком нового, так называемого колендрического, варианта изделия «Оса», и всего за год его соосный вариант (в котором антенный пост и ракеты вращались на одной оси) прошел испытания, а в 1970 г. был сдан в серийное производство.

И. М. Дризе внес большой вклад в быстрое освоение изделия «Оса» на серийном заводе «Купол» (г. Ижевск), многие технологические проблемы, связанные с изготовлением первого образца, были решены благодаря его смекалке и инженерной интуиции. В результате ЗРК получился столь удачным, что один командир войсковой системы «Оса» сказал, что на стрельбы с «Осой», как с пистолетом.

Тем временем под руководством Иосифа Матвеевича в институте продолжались работы по совершенствованию этого изделия. Решением военно-промышленного комитета при Совете Министров СССР предложенные изменения

были утверждены и внесены в тактико-технические требования ГРАУ. По одному из главных принципиальных вопросов (стрельбе на ходу) в НИЭМИ с участием руководства и начальника ГРАУ маршала артиллерии П. Н. Кулешова состоялось совещание, на котором В. П. Ефремов предложил:

- исключить из тактико-технического задания на разработку боевой машины стрельбу на ходу и ввести стрельбу с короткой остановкой при сохранении требования обнаружения цели в движении;
- ввести в боевую машину «Оса» второй канал автосопровождения ракеты, обеспечив залповую стрельбу по цели.

По докладу В. П. Ефремова состоялась оживленная дискуссия, в ходе которой представители ГРАУ выступили против.

Маршал артиллерии П. Н. Кулешов, выслушав все мнения, дал согласие на внесение изменений в тактико-техническое задание. С этого момента «зеленая улица» для разработчиков ЗРК «Оса» была открыта.

Работу по перекомпоновке ЗРК «Оса» возглавил И. М. Дризе. Спустя полтора года при испытаниях на полигоне комплекс превзошел все ожидания. Показательно, что второй образец комплекса был изготовлен на серийном заводе, что само по себе редкость в практике разработок столь сложных систем.

Опытный образец боевой машины в новой концентрической компоновке в марте-июне 1970 г. прошел заводские испытания, а во второй половине года – совместные (государственные) испытания. Строгая и авторитетная комиссия во главе с генералом М. М. Савельевым дала комплексу путевку в жизнь.

Комплекс «Оса» был введен в серийное производство, боевые машины начали поступать в войска. Для серийного производства новой техники были задействованы производственные мощности заводов в гг. Свердловске (ныне г. Екатеринбург), Саратове, Днепрпетровске, Брянске, Ижевске, Туле, Муроме, Йошкар-Оле.

Комплекс «Оса» до сих пор находится на вооружении 24 стран мира – 40 % населения Земли. Продолжается успешная служба комплекса «Оса» и в российских войсках.



Периодически проводились модернизации ЗРК «Оса», в ходе которых устранялись конструктивные недоработки по замечаниям командования войск, вводились усовершенствования, связанные с появлением более технически оснащенных средств воздушного нападения (СВН) и новых тактических приемов их использования. Возможности по модернизации ЗРК оказались весьма значительны. Усовершенствованный комплекс «Оса-АК» отличался расширенной зоной поражения, что в конце 1974 г. было подтверждено на совместных испытаниях.

Одновременно с войсковым ЗРК «Оса» велась разработка и корабельного варианта комплекса для защиты от низколетящих целей и противокорабельных ракет ВМФ. И хотя разработку морского варианта комплекса «Оса» проводило МКБ «Радуга» (в настоящее время МКБ «Аметист»), Иосиф Матвеевич активно участвовал в разработке и испытаниях корабельного варианта системы. Морской вариант ЗРК «Оса-М» (потом «Оса-МА» и «Оса-МА2») стал самым распространенным средством защиты кораблей, особенно малого водоизмещения. До сих пор этот комплекс надежно служит ВМФ РФ и флотам многих зарубежных стран.

Труд большой группы разработчиков ЗРК «Оса» была отмечена государственными наградами – Ленинской и Государственной премиями. В. П. Ефремов был награжден орденом Ленина и золотой медалью «Герой Социалистического Труда», И. М. Дризе и А. Д. Веселова – орденами Ленина. Н. Н. Покрамович, В. А. Леонов, В. П. Наркова, С. Д. Прохоров, К. Н. Базанов, Б. И. Ильин, Л. П. Кравчук, В. В. Морозов, В. Е. Меркулов, А. И. Смержевский, И. П. Воробьев, В. А. Чеканов, Ю. В. Тимкин и многие другие были награждены орденами и медалями Советского Союза. А. М. Рожнов, Н. Ф. Лавров и В. В. Осипов стали лауреатами Ленинской премии, а Б. З. Белокриницкий, М. М. Новиков, В. З. Пескин и В. Н. Фомин – лауреатами Государственной премии.

Тандем В. П. Ефремов – И. М. Дризе, сложившийся при работе над комплексом «Оса», оказался многолетним и очень плодотворным, они прекрасно дополняли друг друга. В. П. Ефремов – человек представительный всегда был

на первых ролях. И. М. Дризе, напротив, был человеком непубличным, невысокого роста с тихим голосом, только живые глаза выдавали в нем богатый природный ум и смекалку. Иосиф Матвеевич был электронщиком «от бога», обладал обширными знаниями, талантом изобретателя и удивительной работоспособностью. Будучи доброжелательным человеком, он прекрасно мог организовать дело, был требовательным дальновидным начальником и надежным защитником своих подчиненных.

Вскоре команда В. П. Ефремова приступила к разработке ЗРК «Тор», способного отразить СВН нового класса – высокоточного, беспилотного, интеллектуального оружия.

В 1972 г. перед НИЭМИ была поставлена задача провести НИР «Изыскание путей создания всепогодного АЗРК МД, унифицированного для ПВО СВ, ВДВ, ВПВО и кораблей ВМФ», ответственным исполнителем был назначен И. М. Дризе, его заместителями – А. М. Рожнов, Б. З. Белокриницкий и В. В. Осипов.

Результаты НИР обнадеживали, и в 1975 г. ГРАУ выдало тактико-техническое задание на ОКР «Тор», а в 1976 г. отдел № 15 защитил эскизно-технический проект нового комплекса. Работы по ОКР «Тор» продолжались в течение 1975–1983 гг., в результате которых коллективу разработчиков удалось удовлетворить практически все концептуальные требования ГРАУ.

Главным конструктором ЗРК «Тор» был В. П. Ефремов, а непосредственно разработкой ЗРК «Тор» руководил И. М. Дризе (главный конструктор боевой машины и первый заместитель главного конструктора системы). Немало сложностей возникло у команды В. П. Ефремова за 8 лет работы, пока родилось это чудо войсковой ПВО.

ЗРК «Тор» стал первой в мире мобильной системой ПВО, предназначенной для борьбы с высокоточным оружием (ВТО). Ее технические средства и оружие размещены на одном унифицированном гусеничном шасси высокой проходимости, серийно выпускаемом Минским тракторным заводом. Компактная, технически совершенная и функционально завершенная боевая машина позволяет выполнять боевые задачи как автономно, так и в составе



системы ПВО без дополнительной заправки и оперативного заряжения в боевых условиях, обеспечивать боевое дежурство или сопровождение войск и на марше и в бою. ЗРК «Тор» позволил обеспечить войсковую ПВО по существу первой машиной-роботом с цифровыми способами управления – системами и элементами искусственного интеллекта, позволяющими вести бой с малоразмерными и высокоскоростными поражающими элементами ВТО за считанные секунды, упрощая тем самым до предела действия боевого расчета.

Комплекс «Тор» состоит из трехкоординатной РЛС обнаружения, обеспечивающей обзор заданного пространства за возможно короткое время, РЛС сопровождения целей и РЛС сопровождения ракет, дублирующих оптических средств сопровождения целей, ракеты с бортовым блоком связи с информационной системой. Каждый элемент комплекса «Тор» может адаптироваться к изменяющейся боевой обстановке при работе в условиях помех, маневра целей и т. п.

По результатам испытаний комплекс подтвердил возможности выполнения возложенных на него задач, успешно поразив все цели, участвовавшие в налете на его позиции. Боевая машина великолепно поражала вертолеты, в том числе находящиеся на земле, а также малоразмерные цели и ракеты типа «Харм». В 1986 г. ЗРК «Тор» начал поступать в войска на смену комплексам «Оса». За значительный вклад в создание ЗРК «Тор» И. М. Дризе в 1985 г. был награжден орденом Ленина.

Прогрессивные технические решения, заложенные в конструкцию комплекса «Тор», такие как ФАР, высокопотенциальные РЛС, цифровая обработка информации, вертикальный старт ЗУР и другие, позволили в значительной мере повысить боевые и эксплуатационные характеристики боевой машины путем модернизации ЗРК, что привело к созданию семейства этих комплексов. Первый цикл работ по модернизации ЗРК «Тор» прошел в 1986–1989 гг.

В целом модернизированная двухканальная по цели система «Тор-М1» наилучшим образом отвечала самым современным требованиям по эффективной обороне от совре-

менных средств воздушного противника в любых точках Земли, что позволило уже в конце XX в. назвать ЗРК «Тор-М1» машиной начала XXI в. По данным независимой экспертизы, по совокупности боевых характеристик ЗРК «Тор-М1» превосходит ЗРК «Рапира-2000» более чем в 3 раза, а ЗРК «Кроталь» – в 2,4 раза.

В 1990 г. состоялся первый показ комплекса на Международной выставке в г. Маниле на Филиппинах, его представлял главный конструктор И. М. Дризе – так система «Тор» получила мировую известность.

Система «Тор» была представлена на выставках в ОАЭ, Малайзии, Греции, Индии, Китае, Республике Корея, Франции, Англии, Чили, Бразилии, на Международном аэрокосмическом салоне в подмосковном г. Жуковском.

Принятый на вооружение в 1991 г. ЗРК «Тор-М1» неоднократно показывал свои боевые возможности на учебных стрельбах, войсковых учениях и выставках современного оружия в ряде стран мира. Особо отметим представление ЗРК «Тор-М1» в феврале 1993 г. на одной из крупнейших международных выставок вооружения и военной техники IDEX-93 в Абу-Даби (ОАЭ).

Характерен перечень целей, по которым успешно работал ЗРК «Тор»: самолеты-мишени, крылатые ракеты, планирующие бомбы, ДПЛА. Поражение практически всегда обеспечивалось с первого выстрела.

И. М. Дризе сумел организовать специальные испытания ЗРК «Тор-М1» в Греции в условиях действия радиопомех средствам ПВО от ВВС стран НАТО. Зенитный ракетный комплекс «Тор» не подвел и здесь – из 19 сценариев прекрасно отработал в 16, оставшиеся 3 сценария были успешно отработаны с помощью дублирующего телеоптического визира.

После этих испытаний по инициативе И. М. Дризе была поставлена и успешно разработана ОКР «Томь», реализация результатов которой позволила значительно повысить помехозащищенность ЗРК «Тор», в том числе и при использовании противником специальных уводящих помех самоприкрытия. На вооружение был представлен новый вариант ЗРК – «Тор-М1В» с расширенной зоной поражения.



Все это свидетельствует о том, что, невзирая на возраст, Иосиф Матвеевич оставался генератором идей, мудрым организатором творческого поиска новых технических решений. Любые изменения в тактике применения предполагаемым противником СВН учитывал И. М. Дризе при развитии ЗРК семейства «Тор».

Сегодня, когда реальным стало массовое применение беспилотных средств воздушного нападения, необходимо повышение огневой производительности и пропускной способности войсковой ПВО. Следуя неизменным принципам работы на опережение противника, разработчики ЗРК «Тор» по инициативе и при личном участии И. М. Дризе создали практически новый комплекс, способный одновременно обрабатывать и обстреливать четыре цели в расширенном угловом секторе. Огневая производительность увеличилась в 2 раза. Эту способность ЗРК «Тор» продемонстрировал не только в процессе государственных испытаний, но и на демонстрационном показе на полигоне Капустин Яр для иностранных делегаций, присутствовавших на Международном салоне «МАКС-2009». Уникальные возможности комплекса «Тор-М2У» произвели на представителей министерств обороны 11 стран

огромное впечатление, и спустя месяц стали поступать официальные заявки на переговоры о приобретении этого комплекса.

Комплекс «Тор» непрерывно модернизируется в зависимости от совершенствования летательных аппаратов и тактики их применения, особенно это относится к борьбе с ВТО и применению новых типов помех.

Сбываются пророческие слова В. П. Ефремова: «Не имеющий аналогов в мире ЗРК «Тор-М1» может стать самым продаваемым оружием ПВО в ближайшие годы».

Последние годы Иосиф Матвеевич продолжал дело своей жизни, будучи заместителем генерального директора – главным конструктором ЗРК АО «ИЭМЗ «Купол».

Светлая память об Иосифе Матвеевиче Дризе – выдающемся конструкторе и замечательном человеке сохранится в наших сердцах.

Статья подготовлена на основе публикации *Осипов В. В., Козлов Г. В., Большаков Д. Ю.* И. М. Дризе: 60 лет побед // Вестник «Концерн ПВО «Алмаз-Антей». 2009. № 2. С. 83–86.

Поступила 10.11.16

Козлов Геннадий Викторович – доктор физико-математических наук, профессор, заместитель руководителя аппарата генерального директора, руководитель секретариата АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва.

Большаков Денис Юрьевич – кандидат технических наук, начальник отдела АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва.