История – это союз между умершими, живыми и еще не родившимися.

И.А. ЛИПКИН

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ РДД

И.А. ЛИПКИН

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ РАКЕТАМИ ДАЛЬНЕГО ДЕЙСТВИЯ

Москва
«Вузовская книга»
2001

ББК 30г

Липкин И.А. История создания отечественных систем радиоуправления ракетами дальнего действия. — М.: Вузовская книга, 2001. — 112 с.: ил.

ISBN 5-89522-148-3

В книге излагается история отечественных систем радиоуправления ракетами дальнего действия, начиная с системы боковой радиокорреляции для первой отечественной ракеты Р-1 и кончая системами радиоуправления для первых межконтинентальных ракет. Рассматриваются принципы построения всех этих систем, основные проблемы возникавшие при их разработке, наиболее интересные моменты при испытаниях систем в стендовых и полигонных условиях. Изложение основано на воспоминаниях автора как о разработке систем радиоуправления, так и о их творцах — главных конструкторах. Рассказывется о достижениях и неудачах в нашем соревновании с американцами в ракетно-космической области.

Книга рассчитана на инженеров-радистов и, прежде всего, на тех, кто причастен к разработке систем радиоуправления ракетами.

ISBN 5-89522-148-3

© Липкин И.А., 2001
© «Вузовская книга», оформление, 2001

Посвящается моим друзьям — участникам разработки первых систем радиоуправления, не дожившим до наших дней.

Предисловие автора

До самого последнего времени у меня не было никаких намерений заняться историей систем радиоуправления. Такое предложение возникло внезапно для меня при совершенно случайном стечении обстоятельств. Я пришел в неизвестное мне издательство «Вузовская книга» с предложением издать мою рукопись, посвященную спутниковым навигационным системам. Руководитель издательства Владислав Юрьевич Садовский отнесся к моему предложению с большим интересом, и уже через час был заключен договор на издание книги. Представляясь Владиславу Юрьевичу, я упомянул, что связан с разработкой радиотехнических средств ракетных и космических систем с 1946г., с момента зарождения у нас этой отрасли. Мы уже прощались, когда от Владислава Юрьевича последовало неожиданное предложение: «А не хотите ли Вы написать для нас книгу по истории развития систем радиоуправления?» Я ответил категорическим отказом из чисто этических соображений. Когда Борис Евсеевич Черток создает четырехтомник по истории ракетной и космической техники [1], ни у кого не может возникнуть вопрос: а почему именно он пишет об этом? Кому, как не ему, «правой руке» Сергея Павловича Королева, одному из руководителей всех разработок, участнику, а часто и техническому руководителю почти всех запусков ракет и космических кораблей писать об этом. Я же, взявшись за этот труд, буду выглядеть «самозванцем». На прощанье Владислав Юрьевич просил все же подумать об этом. И спустя некоторое время, поразмыслив, я действительно передумал по следующим мотивам.

Во-первых, с начала развития систем радиоуправления прошло уже более 50 лет, и ушли в мир иной не только главные конструктора систем радиоуправления Борис Михайлович Коноплев, Евгений Яковлевич Богуславский, Михаил Иванович Борисенко, но и многие другие из тех, кто с самого начала участвовал в создании систем радиоуправления. Пройдет немного времени и никого из них уже не останется. Так что щепетильность не ко времени: если есть что сказать — пиши, пока не поздно. Волею судеб я с самого начала был активным участником этой истории и знаю ее не понаслышке, а изнутри. В памяти остались многие детали создания систем радиоуправления. Самой яркой страницей в моей

жизни осталась разработка системы радиоуправления первых межконтинентальных ракет. Есть что вспомнить.

Во-вторых, история систем радиоуправления, на мой взгляд, незаслуженно забыта. Есть замечательная монография Бориса Евсеевича Чертока [1]. Я читал ее с огромным удовольствием, взахлеб. И вместе с тем после ее прочтения остался неприятный осадок: о системах радиоуправления в ней говорится вскользь и то, как о «младшем, непутевом брате» автономных и астронавигационных систем. Он смотрит на систему радиоуправления, созданную в 50-х годах, из 90-х годов. А тогда вопрос стоял так: или ждать, когда создадутся условия для создания более совершенной системы радиоуправления для межконтинентальной ракеты, или строить эту систему «из того материала», который уже есть, проявляя максимум изобретательности, чтобы и в этих условиях достичь требуемых характеристик. А ждать было нельзя, ибо только межконтинентальная ракета могла обеспечить нам паритет с Америкой в средствах доставки ядерного оружия (у американцев были базы «по всему свету», и эту задачу у них могли успешно решать самолеты). Добиться такого паритета нужно было в кратчайшие сроки, любой ценой (Хиросима и Нагасаки еще свежи были в нашей памяти). И разработчики первой системы радиоуправления взялись за эту задачу, трезво оценивая все трудности и сознавая, что эта система обречена на короткую жизнь и «славы в веках» не принесет. И создали систему, обеспечившую требуемые технические характеристики. Честь и хвала им за это!

Из главных конструкторов систем радиоуправления в монографии Б.Е.Чертока упоминается только Евгений Яковлевич Богуславский (да и то чаще в качестве разработчика телеметрической системы). По-моему, это несправедливо. Системы радиоуправления должны найти достойное место в истории развития ракетной техники, а такие крупные фигуры, как Борис Михайлович Коноплев, Евгений Яковлевич Богуславский, Михаил Иванович Борисенко должны быть в ней увековечены. Это и заставило меня взяться за перо.

Наконец, мне просто было интересно перелистать эти самые романтические страницы и в моей жизни, и в истории систем радиоуправления. И если бы даже эта рукопись не была издана, я не пожалел бы затраченного на нее труда.

Сейчас эта книга выходит в свет. И если она найдет своих читателей и доставит им удовольствие, я буду безгранично рад.

Термин «история», использованный в названии книги, не совсем соответствует ее жанру. История предполагает исследование архивов (увы, все проектные материалы по системам радиоуправления в НИИКП уничтожены), поиски материалов и пр. Книга

представляет мои воспоминания, сверенные с тем, что сохранилось в памяти моих друзей — участников разработки первых систем радиоуправления, и мои представления о роли систем радиоуправления в развитии ракетной техники. В ряде случаев я, правда, пользовался информацией, содержащейся в изданиях 1994 и 1996 гг. «Истории НИИ космического приборостроения» [2].

Это приводит к некоторой неравномерности отражения событий. Так, работе и жизни на Тартугае — «провинции» полигона, где располагался Главный пункт наземной аппаратуры радиоуправления и где я проводил все время, уделено гораздо больше внимания, чем жизни «столицы» полигона Тюра-Тама. Соответственно распределилось и внимание между испытаниями (и описанием) наземной и бортовой аппаратуры радиоуправления. Не отражен, а лишь упомянут, очень важный период создания проекта «Топаз» в НИИ-20 МПСС, предшествовавший разработке аппаратуры системы радиоуправления первой межконтинентальной ракеты Р-7 и во многом определивший заложенные в нее решения. Тем не менее, автор надеется, что это не помешает читателю получить достаточно полное представление о развитии отечественных систем радиоуправления.

Книга расчитана и на ветеранов-радистов, участников разработки первых систем радиоуправления ракетами, которым приятно будет вспомнить романтические годы их создания, и на новое поколение радистов, связанных с разработкой радиотехнических средств космических комплексов. Ведь история систем радиоуправления является предысторией последних: первые командно-измерительные комплексы (КИК'и) разрабатывали, в основном, коллективы, создававшие системы радиоуправления, используя в них и те наработки, которые были накоплены при создании систем радиоуправления. История систем радиоуправления межконтинентальных ракет и космических радиокомплексов — единая неразрывная история.

Кто-то из читателей может не согласиться с некоторыми оценками, кому-то они могут показаться пристрастными. Но это — мое восприятие тех событий, участником которых я был, мои ощущения.

Автор выражает свою глубокую признательность докторам технических наук, профессорам, академикам международной Академии информатизации А.М.Трахтману и Э.М.Манукяну, кандидату технических наук В.К.Старцеву и кандидату технических наук И.У.Гинзбургу, взявшим на себя труд ознакомиться с рукописью данной книги и высказавшим ряд ценных советов и уточнений.

Доктор технических наук *И. Липкин*

О книге и ее авторе

Отечественная ракетно-космическая техника уже имеет полувековую историю, изобилующую замечательными событиями и фактами.

В последние годы в открытой печати появляется большое число публикаций, посвященных воспоминаниям видных ученых, инженеров, разработчиков и военных, повествующих о путях преодоления многочисленных проблем при создании систем ракетно-космических комплексов и особенностях их конструктивного исполнения и функционирования.

В основном в них идет речь о самих ракетах, ракетных двигателях, системах энергопитания, автономного управления и наземной инфраструктуре полигонов запуска. И лишь кое-где мимоходом упоминается о существовании систем радиоуправления межконтинентальных баллистических ракет (МБР).

Такое положение нельзя считать справедливым, т.к. в течение длительного времени, пока шло совершенствование автономных систем управления, единственным средством, обеспечивающим высокую точность стрельбы межконтинентальных ракет, являлись именно системы радиоуправления.

Создание и развитие этих систем имеет свою богатую историю, неотделимую от людей, их создавших.

Книга И.А.Липкина в значительной степени восполняет указанный пробел и дает представление о том, какими методами решались задачи радиоуправления ракетами в их развитии от простой системы боковой радиокоррекции для первых баллистических ракет типа Р-1 до систем радиоуправления по дальности и направлению межконтинентальных баллистических ракет.

Ценность книге придает тот факт, что автор сам находился в гуще разработок и событий, сопутствующих созданию этих систем.

Появление книги И.А. Липкина у меня, и, я думаю у других сотрудников Военного представительства, непосредственно в те годы работавших под его руководством, вызывает большое удовлетворение.

Талантливый ученый, прекрасный знаток своего дела, он буквально заражал нас, в то время молодых специалистов — военпредов, своей неуемной энергией, целеустремленностью и завидной способностью быстро ориентироваться в сложных технических решениях создаваемой институтом аппаратуры.

В последующем переход на работу в Академию им.Дзержинского позволил И.А.Липкину целиком сосредоточиться на научной работе. Там он защитил сначала кандидатскую, а потом докторскую диссертацию. Обе диссертации были посвящены системам радиоуправления МБР. А по увольнении из Армии в 1973 г. И.А.Липкин вернулся в НИИП уже в качестве начальника сектора института.

Читая книгу И.А.Липкина, буквально погружаешься в мир техники не столь уж далекого прошлого.

Описываемые в книге системы основывались на последних достижениях науки и техники того периода. Более того, их создание способствовало прогрессу в развитии многих направлений отечественной радиотехники, микроэлектронники, вычислительной техники, освоению новых диапазонов радиоволн, появлению новых совершенных технологий.

С не меньшим интересом прочтут эту книгу и разработчики радиотехнических систем управления ракет и космических комплексов, среди которых И.А.Липкин пользовался непререкаемым авторитетом не только как требовательный и принципиальный представитель заказчика, но и как достойный оппонент при обсуждении самых сложных вопросов.

И.А.Липкину довелось в своей работе тесно общаться с лидерами разработки систем радиоуправления, а с некоторыми из них у него сложились дружеские отношения.

Благодаря своему доброжелательному и общительному характеру, он всегда был желанным участником творческих встреч и дискуссий, на которых зачастую вырабатывались принципиальные подходы к решению возникавших технических вопросов.

В этой связи воспоминания И.А.Липкина о таких выдающихся ученых-инженерах как Б.Н.Коноплев, Е.Я.Богуславский, М.И.Борисенко, которые руководили созданием радиотехнических систем управления МБР, особенно привлекательны для тех, кто сталкивался с ними лишь в официальной обстановке.

Книга И.А.Липкина адресована не только ветеранам-радистам, чья жизнь связана с ракетной техникой, но и молодежи, интересующейся малоизвестными и неизвестными страницами и событиями ракетно-космической истории, рассказанными непосредственными их участниками.

Кандидат технических наук *В.К. Старцев*

1
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СИСТЕМ БОКОВОЙ РАДИОКОРРЕКЦИИ НЕМЕЦКОЙ РАКЕТЫ ФАУ-2. ПЕРВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ РАКЕТЫ Р-1 И Р-2. СИСТЕМА БОКОВОЙ РАДИОКОРРЕКЦИИ БРК-1

Развертыванию в нашей стране работ по ракетной технике предшествовала кропотливая работа в Германии по восстановлению немецких ракет и технической документации на их изготовление. Немцы первыми оценили большие возможности управляемых ракет дальнего действия и в ходе Второй мировой войны создали сначала крылатые ракеты ФАУ-1, а затем «секретное оружие» — баллистические ракеты ФАУ-2. Они рассчитывали, что это «секретное оружие» позволит сломить сопротивление Англии.

По Лондону и другим городам Англии были выпущены тысячи ракет ФАУ-2. Сломить сопротивление Англии не удалось, но всем стали ясны большие потенциальные возможности этого нового оружия. Еще в последние месяцы войны мы послали своих специалистов для розыска ракет и технической документации в Германию (мы начали эту работу еще после освобождения Польши, где был расположен полигон для испытания ракет). Были посланы специалисты из институтов и КБ различных министерств (Министерства Оборонной Промышленности, Министерства Промышленности средств Связи, Министерства Авиационной Промышленности и др.), а также военные инженеры из Главного Артиллерийского Управления. В этой работе принимали участие также офицеры бригады особого назначения (БОН), возглавлявшейся генералом Тверецким, которая предназначалась в дальнейшем для обслуживания пусков ракет на нашем полигоне.

К работе по восстановлению ракет и документации были привлечены также немецкие специалисты, участвовавшие в разработке и изготовлении ракет, (американцам удалось собрать более богатый «урожай», включая главного конструктора ракеты ФАУ-2 — Вернера фон Брауна).

Этот этап работы по восстановлению ракетной техники очень хорошо и полно описан в первой книге четырехтомника Бориса Евсеевича Чертока «Ракеты и люди» [1], и я не буду на нем останавливаться. Расскажу только об одном эпизоде, в котором мне самому довелось участвовать. К осени 1946 г. была собрана вся аппаратура немецкой системы боковой радиокоррекции ракеты

«ФАУ-2», нехватало только антенн для наземного передатчика «Гавайя». Антенны бесхитростные, диполи, можно было без труда изготовить и самим, но хотелось, чтобы все было штатным, немецким. Один из техников — немцев, участвовавших в восстановлении аппаратуры и документации, сообщил, что эти антенны можно без труда достать на складе одного из заводов, расположенного во французской зоне оккупации Берлина. Для этого достаточно пары пачек сигарет. Я в это время был в краткосрочной командировке в Берлине, и эту «операцию» поручили мне. Вместе с немцем — техником мы поехали на этот завод. Завод был пуст, и единственным хозяином всего имущества был сторож. Он с удовольствием отдал нам за две пачки сигарет интересовавшие нас антенны. Антенны представляли диполь, состоящий из двух пустотелых медных цилиндров довольно большого диаметра с соответствующими стойками. С этими «трофеями» мы без хлопот вернулись к себе.

К осени 1946 г. работы в Германии по восстановлению ракет (не только ракет дальнего действия, но и зенитных управляемых ракет) и технической документации были закончены, и все наши специалисты вернулись на Родину, прихватив с собой и немецких специалистов. Постановлением Совета Министров СССР всем нашим специалистам, работавшим в Германии, было предложено возвращаться не в свои «родные» институты и КБ, а в институты и КБ, на которые возлагалась разработка ракетной техники. В основном, это были вновь создаваемые институты и КБ. Специалисты, вернувшиеся из Германии, составили их ядро (из их числа были все Главные конструкторы отдельных систем и их заместители, большинство начальников отделов).

Головным институтом по разработке ракет стал НИИ-88 Министерства Оборонной Промышленности (МОП), разместившийся в подмосковных Подлипках на площадях, которые до этого занимали КБ известного артиллерийского конструктора Василия Гавриловича Грабина и завод, выпускавший пушки его разработки. Главным конструктором ракет дальнего действия был назначен Сергей Павлович Королев. Для разработки систем управления, включая как автономную систему, так и систему радиоуправления, был создан НИИ-885 Министерства промышленности средств связи (МПСС), разместившийся в Москве у «новых домов», на площадях, занимавшихся ранее заводом № 1 Министерства обороны, выпускавшим телефонные и телеграфные аппараты. Главным конструктором систем радиоуправления был назначен Михаил Сергеевич Рязанский, а Главным конструктором автономных систем — Николай Алексеевич Пилюгин. Были созданы также КБ по

разработке реактивных двигателей для ракет (Главный конструктор Валентин Петрович Глушко), наземного стартового оборудования (Главный конструктор Владимир Павлович Бармин). Часть аппаратуры разрабатывалась в уже существующих институтах соответствующего профиля. Так, разработка гироскопов была возложена на НИИ-10 Министерства судостроительной промышленности (МСП), разрабатывавший аналогичные приборы по морской тематике (Главный конструктор Виктор Иванович Кузнецов). Соответствующим уже существующим институтам была поручена также разработка аккумуляторов для ракет (Главный конструктор Николай Степанович Ледоренко), бортовых преобразователей напряжения (Главный конструктор Андроник Гевондович Иосифьян), наземных подвижных электростанций для стартовой позиции и систем радиоуправления (Главный конструктор Александр Михайлович Гольцман) и др.

Этим же предприятиям, в той же кооперации, первоначально была поручена и разработка зенитных управляемых ракет: тяжелой ракеты с вертикальным стартом по типу немецкой зенитной ракеты «Вассерфаль» и легкой ракеты с наклонным стартом по типу ракеты «Шметтерлинг». С этой целью в НИИ-88, помимо КБ Королева, были созданы еще три КБ: по разработке ракет типа «Вассерфаль» (Главный конструктор Евгений Васильевич Синельщиков), типа «Шметтерлинг» (Главный конструктор Рашков) и по разработке двигателей для зенитных ракет (Главный конструктор Алексей Михайлович Исаев). В НИИ-885 разработка систем радиоуправления для этих ракет была поручена отделу Говядинова Владимира Алексеевича, а автономных приборов управления — отделу Пилюгина. Гироскопы разрабатывались в НИИ-10 МСП. Разработка зенитных ракет в этой кооперации продолжалась до конца 40-х годов. Были изготовлены первые партии ракет, был проведен первый этап летных испытаний (не очень удачный). А в начале 50-х годов работа над зенитными ракетами во всех этих институтах была прикрыта, и эта работа была поручена вновь созданному КБ-1, который опекал сам Лаврентий Павлович Берия. Вся документация по зенитным ракетам из институтов, ранее ими занимавшихся, была передана КБ-1. КБ-1 создавался первоначально, как мне кажется, «под сына Лаврентия Павловича», выпускника Ленинградской Академиии связи им. Буденного Серго Берия, писавшего диплом по зенитным управляемым ракетам и решившего, что именно так должны выглядеть эти ракеты. Он, вместе со своим руководителем Григорием Васильевичем Кисунько, имея столь высокого покровителя, добился создания специального КБ. Я обо всем этом знаю лишь по слухам, а вот в книге Бориса Ев-

сеевича Чертока [1] все это описано от первого лица: Борис Евсеевич был членом экспертной комиссии, рассматривавшей проект Серго Берия и Кисунько. Естественно, вопрос был решен положительно. КБ-1 вытеснило с насиженной территории НИИ-20 МОП и завод № 465, разрабатывавшие радиолокаторы точного сопровождения (они переехали в Кунцево на территорию завода, выпускавшего ранее, кажется, патроны) и получило карт-бланш по набору высококвалифицированных специалистов из любых институтов и КБ. В частности, из ЦНИИ-108, головного института Министерства обороны по радиолокации, был приглашен Александр Андреевич Расплетин, ставший Главным конструктором системы радиоуправления зенитной ракетой (впоследствии Академик). Была мобилизована и Академия наук: была создана специальная Радиолаборатория АН СССР, возглавляемая академиком Александром Львовичем Минцем. В столь мощном окружении Серго Берия, поначалу возглавлявший КБ, оказался не на первом плане, а его курсовой проект так и остался курсовым проектом. История зенитных управляемых ракет с начала 50-х годов стала историей, кстати, весьма славной, КБ-1. История же работ по зенитным ракетам в НИИ-88, НИИ-885 и др. осталась «недопетой песней», прервавшейся на «первом куплете». Так что писать об этом, хоть я и был ее участником и присутствовал на первых испытаниях зенитных ракет, нет никакого смысла.

Вернемся к испытаниям восстановленной в Германии системы боковой радиокоррекции для ракеты ФАУ-2. В Москве подготовка этой аппаратуры к испытаниям была поручена проектно-конструкторскому бюро (ПКБ) 886. Эта довольно непонятная по своим функциям организация размещалась вместе с НИИ-885. Она просуществовала менее года и в 1947 г. влилась в НИИ-885.

В ПКБ-886 эта работа велась в лаборатории Михаила Ивановича Борисенко, в дальнейшем ставшего одной из ключевых фигур в разработке систем радиоуправления. Михаил Иванович отличался огромной энергией и фанатической преданностью делу. К осени 1947 г. система БРК была готова к летным испытаниям ракет ФАУ-2 (они получили у нас наименование А-4). Испытания прошли в октябре — ноябре 1947 г. на Государственном центральном полигоне, разместившемся вблизи населенного пункта Капустин Яр, Астраханской области.

Несколько слов о полигоне. Полигон был создан в малонаселенной пустынной местности Астраханской области в Заволжье. Был в течение одного года доведен до полной готовности к пускам, но для строительства жилья времени не хватило, были только несколько бараков. Все участники экспедиции, приезжавшие для

проведения испытаний, жили в вагонах, так называемого, спецпоезда, изготовленного в Германии. Вагоны достаточно комфортабельные, но в жару дышать в них было нечем. Полигон был на значительном расстоянии от ст. Капустин Яр, и прибывающим на него поодиночке приходилось дозваниваться в штаб, чтобы прислали машину. Для «оживляжа» приведу связанный с этим эпизод, историческую достоверность которого автор гарантирует. Начальником штаба полигона был полковник Карась (впоследствии — генерал-полковник, начальник Главного управления космических средств — ГУКОС). На заводе «Прожектор», выпускавшем подвижные электростанции, входившие в состав наземного оборудования ракет, районным инженером от ГАУ был полковник Ерш. И вот, полковник Ерш прибывает на станцию Капустин Яр. Как положено, звонит в штаб полигона и просит адъютанта соединить его с начальником штаба. Услышав слова: «Полковник Карась слушает», он, как положено по Уставу, произносит: «Товарищ полковник, докладывает полковник Ерш...» На этом разговор прекращается, короткие гудки... Полковник Ерш набирает телефон штаба вторично и снова, услышав: «Полковник Карась слушает», произносит: «Товарищ полковник, докладывает полковник Ерш...» — в ответ ненормативная лексика и короткие гудки. Пришлось ждать попутной машины. Каково же было удивление полковника Карася, когда в его кабинет вошел подлинный полковник Ерш и доложил: «Товарищ полковник! Полковник Ерш прибыл для выполнения служебного задания».

Но вернемся к испытаниям немецкой системы боковой радиокоррекции «Гавайя-Виктория» (это название она получила по наименованию наземного передающего устройства и бортового приемного устройства). Система состояла из передатчика «Гавайя» с разнесенными антеннами, контрольно-выносного пункта (КВП) и бортового приемного устройства «Виктория». Принцип действия этой системы сводился к следующему. Передатчик мощностью 1,5 квт вырабатывал непрерывные сигналы в метровом диапазоне волн ($\lambda \approx 3$ м), которые поступали на разнесенные антенны с базой 100 м. В результате интерференции колебаний, поступающих от разных антенн, образуется многолепестковая диаграмма направленности суммарного сигнала. Если бы сигналы, излучаемые обеими антеннами, были синфазны, максимум центрального лепестка отвечал бы плоскости, проходящей через центр базы, перпендикулярно к ней. Остальные максимумы лежали бы на поверхностях гиперболоидов, отвечающих разностям расстояний до антенн, кратным λ. На расстояниях, много больших базы d, гиперболы можно заменить их ассимптомами, исходящими из центра базы, а

гиперболоиды заменить соответствующими коническими поверхностями. Ось центрального из них перпендикулярна базе, а вершина лежит в центре базы. В сечении плоскостью, проходящей через базу и точку, определяющую положение ракеты, получится многолепестковая диаграмма направленности, приведенная на рис. 1, (при распространении этой диаграммы на все пространство лепесткам отвечают соответствующие тела вращения относительно базы).

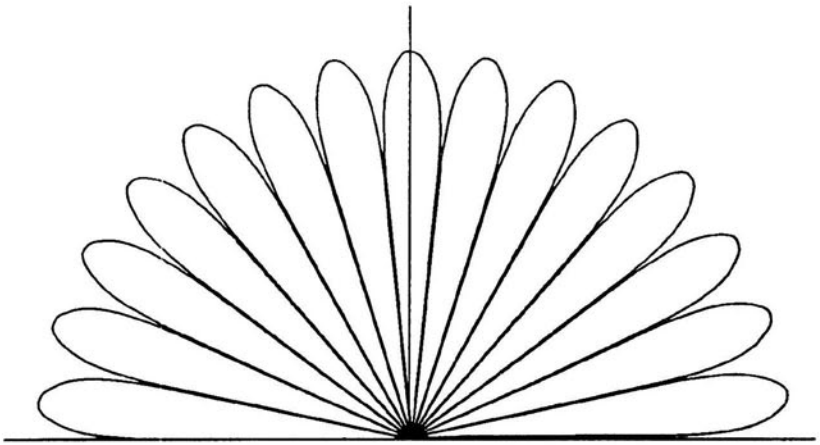


Рис. 1

Угол α между направлениями максимумов диаграммы направленности и перпендикуляром к базе (направлением на максимум центрального лепестка) находится из условия $\Delta R = d \sin \alpha = K\lambda$, где Δ — разность расстояний до антенн. Угол α_1 между центральным ($\alpha = 0$) и первым боковыми лепестками отвечает условию $\sin \alpha_1 = \frac{\lambda}{d}$. В нашем случае, когда $\frac{\lambda}{d} = 0{,}03$, можно принять $\sin \alpha_1 \approx \alpha_1$, *paq* и, соответственно, $\alpha_1 = \frac{\lambda}{d} = 0{,}03$, *paq* $\approx 1{,}7^{\circ}$. Это же значение имеет и ширина центрального лепестка диаграммы направленности. По мере удаления от перпендикуляра к базе лепестки расширяются.

В системе «Гавайя-Виктория» предусматривался попеременный сдвиг по фазе сигналов, поступающих на каждую из антенн (для определенности примем в сторону опережения). При сдвиге в сторону опережения сигнала, поступающего на правую антенну, все лепестки диаграммы направленности сместятся на соответствующий угол в сторону левой антенны, а при сдвиге фазы сигнала,

поступающего на левую антенну — в сторону правой антенны (рис. 2). Частота этой коммутации диаграммы направленности принята равной 50 Гц. Если ракета находится в направлении строго перпендикулярном базе, уровень сигнала при коммутации диаграммы направленности остается неизменным. При отклонении ракеты в сторону левой антенны суммарный сигнал, поступивший

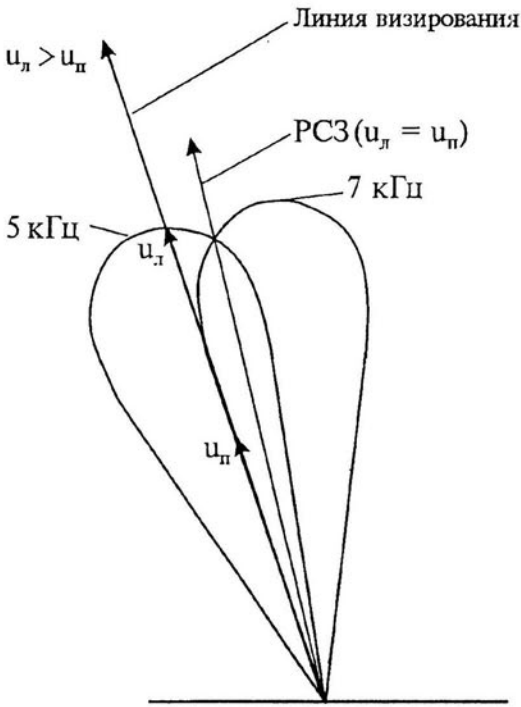


Рис. 2

от обеих антенн, при опережающей фазе сигнала от правой антенны будет больше, чем при опережающей фазе сигнала от левой антенны. При отклонении ракеты в сторону правой антенны будет обратная картина (на рис. 2 картина приведена только для центрального лепестка). Для различения на борту, какая из двух антенн на данном интервале излучает сигнал, опережающий по фазе, производится модуляция сигнала разными тональными частотами — 5 кГц и 7 кГц (для определенности примем, что 5 кГц отвечает сдвигу фазы сигнала, поступающего в правую антенну, а 7 кГц — в левую). Отметим, что в случае, если не обеспечивается равенство мощностей сигналов, поступающих в разные антенны, положение лепестков не изменится: максимум суммарного сигнала

по-прежнему определяется синфазностью сигналов по несущей частоте, а минимум — их противофазностью. Разница только в том, что минимальный уровень сигнала не равен нулю.

Рассмотрим принцип работы приемного устройства (детали схемного решения рассматривать не будем, а ограничимся рассмотрением логики его работы). Принимаемый сигнал в случае отклонения ракеты от плоскости стрельбы будет иметь меандрообразную модуляцию с частотой 50 Гц, обусловленную коммутацией диаграммы направленности, и модуляцию несущей попеременно частотами 5 кГц и 7 кГц, в зависимости от направления отклонения максимума диаграммы направленности от равносигнальной зоны (плоскости стрельбы). Амплитуда меандра характеризует величину отклонения ракеты от плоскости стрельбы, а для определения знака команды бокового управления («правая» или «левая») используются модулирующие сигналы частоты 5 кГц или 7 кГц, выделяемые соответствующими фильтрами. Если максимуму меандра сопутствует наличие сигнала частоты 5 кГц на выходе соответствующего фильтра, то выдается «правая» команда, если же максимуму меандра сопутствует выделение сигнала частоты 7 кГц, то выдается «левая» команда.

Пеленгационная чувствительность системы «Гавайя-Виктория» составляла ~ 10—15 угл. сек [2].

Для контроля совмещения равносигнальной зоны с плоскостью стрельбы предусматривался контрольно-выносной пункт, включающий такой же, как на борту ракеты, приемник и простенькую антенну. Антенна выставлялась в плоскости стрельбы на удалении много большем длины базы между антеннами. Проверялось совпадение равносигнальной зоны с плоскостью стрельбы.

Система «Гавайя-Виктория» обладала рядом недостатков:

— низкая помехоустойчивость;

— наличие ложных равносигнальных зон, отстоящих от основной всего на 1,7°;

— сложность перенацеливания по направлению стрельбы.

При летных испытаниях ракет ФАУ-2 (А-4) использование системы «Гавайя-Виктория» предусматривалось только при двух последних пусках. Пуск первой из этих двух ракет был неудачным — ракета закрутилась вокруг продольной оси. Наступила драматическая для судьбы системы «Гавайя-Виктория» ситуация. Поскольку два предыдущих пуска были удачными, подозрения, без всяких на то оснований, пали на радистов. Система «Гавайя-Виктория» «ни сном, ни духом» повлиять на стабилизацию по крену не могла. Да и результаты предыдущих пусков давали основания возложить вину на автономную систему: из 11 предшество-

вавших пусков 4 были аварийными именно из-за вращения ракеты вокруг продольной оси. Судьба испытаний системы «Гавайя-Виктория» при последнем пуске висела на волоске. Все начальство —и военные и промышленники — было настроено не рисковать и пускать последнюю ракету без БРК. И только «нижние чины» (от военных — я в ранге заместителя начальника отдела и старший офицер нашего отдела Исаак Ильич Юлиус, а от промышленности, понятно, Михаил Иванович Борисенко) яростно уговаривали пускать последнюю ракету с БРК. Нас, правда, поддерживали немецкие специалисты, присутствовавшие на испытаниях. С огромным трудом нам удалось уговорить начальство не снимать «Викторию» при последнем пуске. Результат оказался триумфальным: пуск прошел абсолютно «гладко», ракета на всем участке активного полета не выходила из плоскости стрельбы более, чем на 3,5°, тогда как лучший результат по уходу из плоскости стрельбы при полете ракеты с автономным управлением составлял более 20^1 [2].

Параллельно с восстановлением и испытаниями немецкой ракеты ФАУ-2 шла разработка первой отечественной ракеты Р-1. На самом высоком уровне было принято принципиальное решение начать с разработки ракеты, повторяющей характеристики ракеты ФАУ-2 (та же предельная дальность стрельбы ~ 270 км, тот же состав аппаратуры и т.п.). Предусматривалась только доработка отдельных агрегатов и приборов для устранения недостатков, выявившихся при пусках ракет ФАУ-2. В состав системы управления ракетой Р-1 была включена и система боковой радиокоррекции БРК-1. Она, в основном, повторяла систему «Гавайя-Виктория» с тем лишь отличием, что в качестве антенн вместо диполей были использованы антенны типа «Удаяги», обладающие большей направленностью.

Система БРК-1 успешно прошла летные испытания (они начались в 1948 г.) и в составе ракеты Р-1 была принята на вооружение Советской Армии в 1951 г. [2].

Практически параллельно с разработкой ракеты Р-1, повторяющей характеристики немецкой ракеты ФАУ-2, шла разработка ракеты Р-2 с дальностью стрельбы до 600 км. Для этой ракеты предусматривалась та же, что и для ракеты Р-1 система боковой радиокоррекции БРК-1. Главным конструктором этой системы был Михаил Иванович Борисенко.

Ракета Р-2 с системой боковой радиокоррекции БРК-1 также успешно прошла Государственные испытания на полигоне и была принята на вооружение в том же 1951 г. [2].

Помимо ракеты Р-2 в штатном составе, на ее основе была разработана ракета Р-2Р, специально предназначенная для испытаний

в условиях реального полета системы радиоуправления для ракеты нового поколения Р-5. Ракеты Р-2Р помимо штатной системы управления ракеты Р-2 несли в головной части вместо боевого заряда бортовые приборы разрабатываемой для ракеты Р-5 системы радиоуправления, испытывавшейся в «режиме датчика». Работа аппаратуры системы радиоуправления для ракеты Р-5 проходила при этом полную проверку, только вырабатываемые ею команды радиоуправления не поступали в контур управления ракеты, а передавались на Землю.

Испытания систем радиоуправления для очередной разрабатываемой ракеты на ракете, уже принятой на вооружение, стали затем традицией. Система радиоуправления для первой межконтинентальной ракеты Р-7 испытывалась в режиме датчика на ракете Р-5Р, а сменившая ее фазовая система радиоуправления испытывалась в режиме датчика на ракете Р-7.

2
СИСТЕМА РАДИОУПРАВЛЕНИЯ РАКЕТЫ Р-5 (8А-62)

Следующей ракетой, разработанной КБ Сергея Павловича Королева, была ракета средней дальности Р-5 (индекс присвоенный ей военными — 8А62). Предельная дальность стрельбы этой ракеты 1200 км. Систему управления (автономную и радиотехническую) разрабатывал НИИ-885. Для обеспечения требуемой точности стрельбы предусматривалась не только боковая радиокоррекция, но и радиоуправление дальностью полета ракеты. Первоначально Постановлением СМ СССР от 14 апреля 1948 г. предусматривалась разработка эскизного проекта ракеты Р-3 и соответствующей системы радиоуправления с дальностью действия от 600 до 3000 км. Но затем это решение было пересмотрено и решено было разрабатывать вместо этого две ракеты: ракету Р-2 с дальностью действия 600 км и ракету Р-5 с дальностью действия 1200 км [2].

Работа над системой радиоуправления ракеты Р-5 началась с лета 1950 г., сначала применительно к испытаниям ее на ракете Р-2Р, а затем с мая 1951 г. (с учетом опыта ее испытаний на ракете Р-2Р) началась разработка системы радиоуправления непосредственно для ракеты Р-5.

В апреле 1950 г. из НИИ-20 Министерства Промышленности средств связи в НИИ-885 для участия в разработке этой системы была переведена группа инженеров во главе с Борисом Михайловичем Коноплевым, который и стал Главным конструктором системы радиоуправления ракеты Р-5. Главным конструктором системы боковой радиокоррекции для ракеты Р-5 остался Михаил Иванович Борисенко.

§ 2.1.Система боковой радиокоррекции ракеты Р-5 (БРК-2)

Разработка системы БРК-2 («Лена») началась в 1952 г.

Система БРК-1, использовавшаяся для боковой радиокоррекции ракет Р-1 и Р-2, обладала недостаточной помехозащищенностью и рядом эксплуатационных недостатков, связанных прежде всего со сложностью предстартовой юстировки из-за наличия разнесенных антенн. Основным направлением повышения помехозащищенности

при разработке системы БРК-2 был переход из метрового в 3-х сантиметровый диапазон волн, что позволило в полной мере использовать пространственную селекцию бортовых антенн. Кроме того было предусмотрено кодирование сигналов.

Система БРК-2 представляла собой импульсную систему с длительностью импульсов ~1 мксек и частотой посылок импульсных кодов — 500 Гц. Использовался тот же принцип равносигнальной зоны («радиотропы»), что и в системе БРК-1. Передатчик имел мощность 8 кВт в импульсе. Использовалась наземная сегментно-параболическая антенна с раскрывом в горизонтальном сечении ~3 м, что обеспечило ширину диаграммы направленности по азимуту ~1,5° (по углу места ширина диаграммы 35°) [2]. Коэффициент усиления антенны 2000. Равносигнальная зона создавалась попеременной запиткой антенны двумя облучателями, симметрично смещенными вправо и влево относительно фазового центра антенны. Коммутация поступления на эти облучатели энергии, генерируемой сантиметровым передатчиком, осуществлялась с частотой 50 Гц. Соответственно происходила коммутация направления основного лепестка диаграммы направленности антенны. Для «окраски» излучения, отвечающего тому или иному положению диаграммы направленности использовалось изменение расстановки импульсов в двухимпульсном коде. Использование двухимпульсного кода способствовало, в какой-то мере, повышению помехозащищенности (правда, двухимпульсный код обладал в этом отношении недостаточной эффективностью).

Принцип формирования на борту команд бокового управления оставался таким же, как в системе БРК-1, только место разных тональных частот, определяющих положение коммутируемого лепестка диаграммы направленности, заняли разные двухимпульсные коды.

Бортовая приемная антенна представляла собой плоскую рупорную антенну, расположенную на внешней поверхности ракеты, с шириной диаграммы в азимутальной плоскости ~ 15°. Коэффициент усиления бортовой антенны 20.

По сравнению с системой БРК-1 сократился состав наземной аппаратуры, стала более простой конструкция антенны и улучшились эксплуатационные характеристики системы. Совмещение равносигнальной зоны с плоскостью стрельбы осуществляется простым разворотом антенны с оптическим контролем ее ориентации.

Передатчик системы БРК-2 устанавливался в плоскости стрельбы на расстоянии ~ 50 км позади старта. Переход в 3-х сантиметровый диапазон волн, пространственная селекция антенн, кодиро-

вание излучаемых сигналов (правда, сравнительно простое) обеспечили повышение помехозащищенности системы БРК-2.

Система БРК-2 была принята на вооружение в составе ракеты Р-5 (8А62) в 1956 г. [2].

§ 2.2. Система радиоуправления дальностью ракеты Р-5

Увеличение дальности стрельбы до 1200 км потребовало для обеспечения требуемой точности стрельбы дополнения автономной системы управления не только системой БРК, но и системой радиоуправления дальностью. Поскольку, независимо от возможного рассеивания «трубки траекторий» в пределах, обусловленных погрешностью автономной системы управления, дальность полета монотонно возрастает по мере увеличения скорости ракеты, задача системы радиоуправления дальностью сводится к своевременной выдаче команды на выключение двигателя в момент, когда параметры движения ракеты отвечают условиям достижения требуемой дальности стрельбы. Соответствующим выбором программной траектории и положения наземной аппаратуры управления относительно старта (направления на конечный участок траектории активного полета ракеты) имеется возможность свести число основных параметров, определяющих требуемый момент выключения двигателя, до двух — радиальной скорости и дальности (этот результат был получен А.Б.Найшулем, разработавшим совместно с Б.М.Коноплевым математический аппарат «радиобаллистики»). Конечно, обеспечение строгого выполнения этого условия за счет изменения расположения наземной аппаратуры в зависимости от выбранной цели неприемлемо. Однако, при соблюдении этого условия для некоторой «опорной» цели влияние отклонения от программного значения составляющей скорости, нормальной к направлению линии визирования ракеты в конце активного участка траектории, остается относительно малым для достаточно широкого диапазона перенацеливания, так что сохраняется возможность ограничиться учетом только этих двух параметров. Соответственно, система радиоуправления дальностью стрельбы должна включать: радиолинию измерения радиальной скорости, радиолинию измерения дальности, счетно-решающее устройство, определяющее момент выдачи команды на выключение двигателя, и командную радиолинию. Наиболее ответственной задачей являлось обеспечение высокой точности измерения радиальной скорости, оказывающей наибольшее влияние на дальность полета ракеты. Это заставило остановиться для радиолинии измерения радиальной скорости на метровом диапазоне волн, хотя с точки зрения помехозащищенности это было крайне нежелательно. Но создание радиолинии

измерения радиальной скорости с использованием непрерывных сигналов в сантиметровом диапазоне не было в то время обеспечено соответствующими вакуумными приборами: отсутствовали требуемые выходные мощные усилители непрерывного сигнала для наземного и бортового передатчиков, обеспечивающие когерентное усиление поступающих на их вход сигналов. Правда, был принят ряд мер для повышения помехозащищенности этой линии в метровом диапазоне (сменные частоты, кодирование импульсных сигналов, сменные коды). Но все же помехозащищенность оставалась слабым местом системы.

Радиолиния измерения радиальной скорости включала наземный передатчик мощностью 1,5—2 кВт в диапазоне 97—102 МГц ($\lambda \approx 3$ м) (использовался такой же передатчик, что и в системе БРК-1). На борту принятый сигнал запроса скорости преобразовывался в бортовом приемо-ответчике по частоте в отношении 2:3 (схема дробно-частотного преобразователя была предложена Б.М.Коноплевым), и на частоте 145÷153 МГц (~2м) посылался на Землю, где принимался наземным приемником. Выделялась частота биений принятого сигнала с излучавшимся с Земли сигналом, также преобразованным в отношении 2:3. Частота биений, определяемая эффектом Доплера, будет равна:

$$F_д = \frac{R}{C}\left(f_з + \frac{3}{2} f_з\right) = 2{,}5\,\frac{R}{C} f_з ,$$

где $f_з$ — частота излученного запросного сигнала.

При скорости ракеты в конце активного участка для предельной дальности стрельбы ~ 5000 м/с и $f_з = 100$ МГц доплеровская частота составит ~ 4 кГц.

Измерение дальности осуществлялось импульсной радиолинией, работающей в диапазоне волн ~1,5 м с мощностью наземного передатчика 50 кВт, бортового ответчика — 20 вт и длительностью импульсов ~1мксек.

Точность измерения радиальной скорости ~ 2 м/сек, дальности — ~ 50 м [2].

Счетно решающий прибор был построен на аналогово-временном принципе. Интервал, отвечающий фиксированному числу n периодов измеряемой доплеровской частоты, сравнивался с искусственно вырабатываемым в соответствии с полетным заданием для данной дальности стрельбы интервалом, в который вносилась коррекция, отвечающая преобразованному в соответствующем масштабе измеренному значению дальности (подробнее см. гл.3, §3.4). По мере нарастания радиальной скорости, интервал, образованный

n периодами доплеровской частоты, сжимался, и когда он сравнивался по своей величине с интервалом, отвечающим полетному заданию с поправкой на дальность, выдавалась команда на выключение двигателя. При этом предусматривались две команды: «Предварительная» — на снижение тяги двигателя и «Главная» — на полное выключение двигателя (соответственно, для выдачи предварительной команды по полетному заданию вводился несколько удлиненный интервал, а после выдачи предварительной команды выставлялся интервал, требуемый для выдачи «главной» команды). Предварительная команда вводится для того, чтобы уменьшить ошибку из-за разброса импульса последствия. Выключение двигателя осуществляется прекращением ввода топлива в камеру сгорания, но догорание в ней топлива продолжается, создавая так называемый импульс последействия. Его расчетное значение учитывается при составлении полетного задания, но возможный его разброс дает ошибку. Переход на малую тягу по предварительной команде позволяет эту ошибку уменьшить.

Точность сопоставления интервалов в счетно-решающем приборе составляла $\sim 10^{-4}$. Этот прибор разрабатывался под руководством Евгения Яковлевича Богуславского, и при его создании был использован огромный опыт по время-импульсной технике, накопленный при создании первой отечественной телеметрической системы «Дон», главным конструктором которой был Е.Я.Богуславский. (Формально первой отечественной телеметрической системой может считаться система «Бразилионит», разработанная в НИИ-20 МПСС под руководством Г.Дегтяренко, но называть ее «отечественной» — не поворачивается язык: это была копия немецкой телеметрической системы «Мессина»).

Основой время-импульсной техники является создание источников пилообразного напряжения с высокой степенью линейности ("пилы").

На рис. 3, *а* проиллюстрировано превращение расстояния между импульсами (скажем, между запросным и ответным импульсами дальномерной системы) в соответствующее постоянное напряжение. Запросный импульс «запускает» линейную "пилу", а ответный считывает с нее напряжение, достигнутое к моменту его прихода. Масштаб преобразования определяется выбором наклона «пилы». На рис. 3, *б* проиллюстрировано обратное преобразование заданного напряжения в интервал между импульсами. «Опорный» импульс запускает линейную «пилу» с соответствующим ее наклоном, а в момент, когда она достигает заданного напряжения, образуется импульс, фиксирующий соответствующий интервал. Варьируя крутизну пил, можно осуществить нужное преобразование длительности интервала. В рассмотренной задаче в качестве

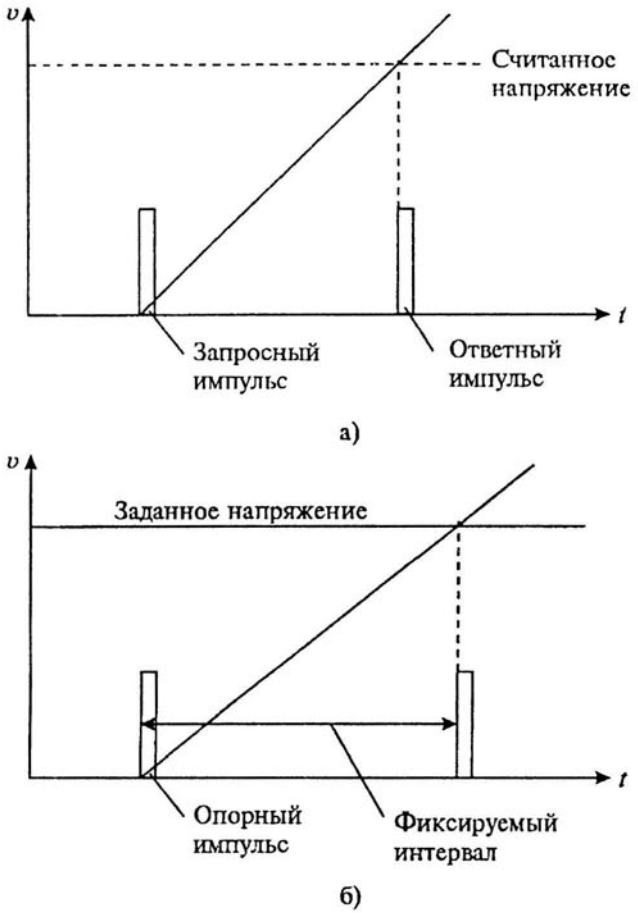


Рис. 3

«опорного» импульса при обратном преобразовании служит окончание интервала, отвечающего полетному заданию, и за счет описанного преобразования к нему добавляется поправка, учитывающая измеренное значение дальности. Е.Я.Богуславский добился высокого совершенства схем, вырабатывающих линейное пилообразное напряжение, проявив при этом исключительную изобретательность. Показатель относительной точности ~ 10^{-4} говорит сам за себя.

Команды управления дальностью («Предварительная» и «Главная») передаются по импульсной кодированной линии, совмещенной с дальномерным каналом. Использовались трехимпульсные коды. Кодирование и декодирование кодов строилось на использовании специально разработанных А.М.Трахтманом широкополос-

ных линий задержки с точностью задержки ~ 0,2% и температурной стабильностью 10^{-4} на 1° [2].

По ответной линии дальномерного канала с использованием соответствующих кодов передавались на Землю информация об уровнях команд боковой коррекции, вырабатываемых на борту системой БРК-2, а также «квитанции» о прохождении «Предварительной» и «Главной» команд на выключение двигателя.

Для повышения помехоустойчивости в радиолинии измерения скорости была предусмотрена возможность установки 10 фиксированных длин волн, а в радиолинии измерения дальности — 3-х фиксированных длин волн и смена кодов. При этом наземные передатчики перенастраивались, а на борту устанавливались приборы, настроенные на соответствующую волну.

Наземная аппаратура системы радиоуправления дальностью располагалась позади стартовой площадки на расстоянии 18—30 км и была вынесена в сторону, вправо от направления стрельбы на расстояние 18—30 км. Угол между линией визирования и продольной осью ракеты составлял при этом 15—28°. Эта мера позволяла избежать влияния струи двигателя на распространение радиоволн (в отличие от 3-х сантиметрового диапазона, метровый диапазон подвержен этому влиянию). При этом выбранное расположение согласовывалось с рассмотренными выше условиями оптимальности, вытекающими из «радиобаллистики».

§ 2.3. Испытания системы радиоуправления ракеты Р-5 на ракетах Р-2Р и полигонные испытания ракеты Р-5

Перед полигонными испытаниями ракеты Р-5 система радиоуправления дальностью этой ракеты прошла испытания в «режиме датчика» с использованием пусков ракеты Р-2Р. На первом этапе этих испытаний исследовались условия прохождения радиоволн метрового и трехсантиметрового диапазонов через газовую струю двигателя (НИР «Опыт»). Пуски ракет Р-2Р при этих испытаниях проводились с полигона Капустин Яр, а наземная аппаратура радиоуправления дальностью стрельбы располагалась возле селения Черный Яр километрах в 50-ти от старта. Я в этих испытаниях не участвовал (в это время я работал еще в 4-м управлении ГАУ) и могу сказать только об их результатах. Испытания показали, что в трехсантиметровом диапазоне газовая струя двигателя не оказывает ощутимого влияния на прохождение радиоволн, а вот в метровом диапазоне, в котором работает система радиоуправления дальностью ракеты Р-5, для смягчения этого влияния направление связи должно составлять некоторый угол с осью ракеты так, чтобы радиолуч миновал ядро факела двигателя.

Второй этап испытаний с использованием пусков ракет Р-2Р проводился уже с целью непосредственной проверки в летных условиях аппаратуры радиоуправления дальностью ракеты Р-5. Я в этих испытаниях принимал непосредственное участие (в это время я уже работал в военной приемке НИИ-885), но особо ярких эпизодов, относящихся к испытаниям, память не сохранила. В целом испытания прошли удачно и показали, что аппаратура к летным испытаниям ракеты Р-5 готова.

Нормально проходили и полигонные испытания ракеты Р-5.

§ 2.4. Ракета Р-5М

Параллельно с разработкой в КБ С.П.Королева ракет дальнего действия в курчатовском институте велась интенсивная работа над созданием ядерного заряда, пригодного к использованию в качестве боевой части ракеты. И в то время, когда разработка ракеты Р-5 шла полным ходом, уже начались (конечно, в глубокой тайне) совместные конструкторские работы КБ Королева и курчатовского института по созданию модификации ракеты Р-5 с ядерным зарядом (эти работы были засекречены даже для нас). Ракете был присвоен индекс Р-5М. Это была первая отечественная ракета с ядерным зарядом. Все следующие за ней (уже межконтинентальные) ракеты проектировались только с ядерным зарядом: переносить через океан на ракете обычный заряд, конечно, не имело никакого смысла.

В январе 1955 г. состоялся запуск ракеты Р-5М. В 1956 г. она была принята на вооружение вместо ракеты Р-5. Система управления для ракеты Р-5М была принята в автономном варианте. Это обуславливалось тем, что при наличии мощного ядерного заряда некоторое повышение точности, вносимое системой радиоуправления, несущественно повышало эффективность ядерного удара. В значительной мере на это решение повлияла недостаточная помехозащищенность системы радиоуправления дальностью. Ракета Р-5 с обычным боевым зарядом на вооружении фактически не состояла, и соответственно не состояла на вооружении и система радиоуправления. Было принято решение об изготовлении партии ракет Р-5 для испытаний на них системы радиоуправления для межконтинентальной ракеты Р-7. Эти ракеты получили индекс Р-5Р.

Несмотря на то, что система радиоуправления ракеты Р-5 практически не состояла на вооружении, опыт ее разработки сыграл положительную роль при разработке системы радиоуправления ракеты Р-7, а счетно-решающий прибор, разработанный для этой системы, стал прототипом счетно-решающего прибора для системы радиоуправления дальностью ракеты Р-7.

3
СИСТЕМА РАДИОУПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕРВОЙ МЕЖКОНТИНЕНТАЛЬНОЙ РАКЕТЫ Р-7

Создание первой межконтинентальной ракеты — это не просто новый этап в разработке ракет с наращиванием количественных характеристик. Это — новая эпоха в ракетостроении, качественный скачок. Принципиально новая задача встала перед разработчиками ракеты. Принципиально новые требования выдвигались и перед системой радиоуправления.

Все разработанные до этого ракеты дальнего действия были одноступенчатыми: единственный двигатель (он мог быть и многокамерным) включался в момент старта ракеты и продолжал работать в течение всего активного участка полета ракеты. Дальность полета до 10 000 км могла обеспечить только двухступенчатая ракета. Она представляет как бы две самостоятельные ракеты с общей системой управления и автоматикой. Первая ступень ракеты, имеющая свой двигатель и свои топливные баки, работает на первом участке активного полета ракеты, а когда топливо в ней кончается, она отбрасывается. Двигатель второй ступени разгоняет уже освободившуюся от лишней массы вторую ступень ракеты, что обеспечивает более эффективное использование ее топлива для дальнейшего разгона ракеты.

В классическом варианте двухступенчатой ракеты («тандем») первая ступень ракеты пристыковывается к хвостовой части второй ступени (рис. 4, *а*), и в момент старта включается только двигатель первой ступени. По окончании его работы первая ступень отбрасывается и включается двигатель второй ступени. Для ракеты Р-7 была принята другая схема компоновки ракет первой и второй ступени, так называемый «пакет» (рис. 4, *б*). 4 ракеты первой ступени («боковушки») пристыковываются по бокам к ракете второй ступени так, чтобы сопла двигателей всех пяти ракет оставались открытыми (на рисунке показаны только две "боковушки"). При старте запускаются одновременно двигатели всех 5 ракет. Когда топливо в ракетах 1-й ступени заканчивается, они отбрасываются, и дальнейший полет продолжает только ракета 2-й ступени, в баках которой еще остается основная часть топлива. Эта схема снимала проблему запуска двигателя второй ступени в полете (для ракеты Р-7 предусматривалось использование также, как и в предыдущих ракетах Королева, несамовоспламеняющихся

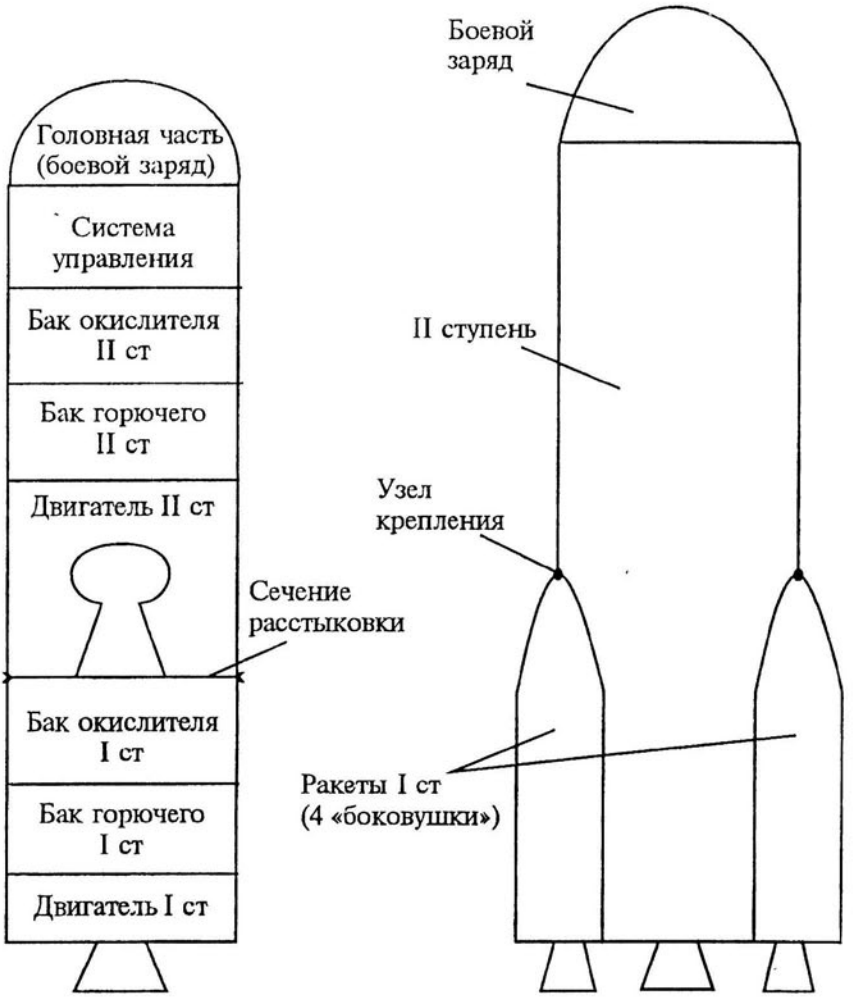


Рис. 4

компонентов топлива: керосина и жидкого кислорода, требующих при запуске двигателя принудительного поджига).

Качественно новые требования предъявлялись и к точности системы радиоуправления. Резко возросли значения производных от координат точки падения по значениям измеряемых параметров в конце активного участка траектории (так называемые баллистические производные). Особенно это относится к измерению скорости. Для бокового управления зависимость бокового отклонения точки падения от погрешности определения боковой скорости в первом приближении определяется временем полета ракеты на

пассивном участке траектории, которое составляет до 1500 сек. Так что ошибка в определении боковой скорости в 1м/с приведет к боковому отклонению в 1,5 км. Баллистическая производная дальности полета по скорости в плоскости стрельбы в несколько раз больше (достигает ~ 5—7т.сек), и здесь ошибка в 1 м/с может привести к ошибке стрельбы по дальности в 5 и больше км. Требования же к точности стрельбы межконтинентальными ракетами по сравнению с ракетой Р-5 не снижались.

Баллистические производные по координатам на момент отключения двигателя относительно невелики. Для бокового отклонения они составляют ~ 1 (при правильном направлении стрельбы — вектора скорости, боковое отклонение ракеты в конце активного участка как бы переносится в точку падения). Для отклонения координаты в конце активного участка по нормали к траектории в плоскости стрельбы баллистическая производная не превосходит нескольких единиц (зависит от настильности траектории). Так что главной проблемой при создании системы радиоуправления межконтинентальной ракетой является обеспечение высокой точности измерения составляющих скорости.

3.1. Выбор варианта построения системы радиоуправления

Выбор варианта построения системы радиоуправления для ракеты Р-7 представлял большие трудности, причем трудности эти лежали не в технической, а скорее в психологической сфере. Было ясно из соображений помехозащищенности, что система радиоуправления должна использовать трехсантиметровый диапазон волн. После того, как систему управления дальностью, работающую в метровом диапазоне, «уволили» с ракеты Р-5М, несущей ядерную боевую головку, из-за недостаточной ее помехозащищенности, было ясно что для межконтинентальной ракеты, также несущей ядерный заряд, метровый диапазон не пройдет. Да, и совесть не позволила бы делать для этой ракеты систему с недостаточной помехозащищенностью. Так что 3 см принимались безапелляционно.

Технически было ясно, что в случае использования непрерывных сигналов в 3-х сантиметровом диапазоне волн никаких проблем с обеспечением требуемой точности не возникало бы. Измерение доплеровского смещения с дискретностью в 1 период уже обеспечивало бы точность измерений радиальной скорости с точностью до нескольких сантиметров в секунду. Необходимую точность измерений в боковом направлении можно было обеспечить с использованием фазовых измерений на больших базах. При измерении разности фаз сигналов трехсантиметрового диапазона, при-

нятых на концах базы, погрешность фазовых измерений ~ 10° отвечает погрешности определения разности дальностей ~ 1 мм, что при базе в несколько метров определяет направление на ракету относительно направления базы с точностью в несколько угловых минут. Требуемая точность определения угловой скорости обеспечивается при базе в сотни метров.

Все было бы прекрасно, но ...вакуумщики к тому времени не создали в этом диапазоне мощных усилителей непрерывных сигналов, которые могли бы быть использованы в наземном и бортовом передатчиках. И никаких определенных сроков решения этой задачи разработчики этих приборов назвать не могли.

Альтернативой мог являться вариант с использованием для измерения всех параметров импульсных сигналов 3-х сантиметрового диапазона. Потери здесь были очевидны. При измерении боковых скоростей с использованием больших баз точность измерения разностей дальностей в несколько метров потребует увеличения размеров этих баз с сотен метров до сотен км. Это явно не понравится военным. А вот как измерить с использованием импульсных сигналов радиальную скорость с требуемой точностью вообще тогда представлялось проблемой с неясным исходом.

Получалось, как в известной миниатюре Карцева с раками (с небольшой перестановкой): можно сделать хорошую систему (с непрерывным излучением), но завтра, а сегодня можно сделать импульсную систему, но она будет хуже и даже может не выполнить предъявленные требования.

А фактор времени был решающим. Ситуация к этому времени была такая: мы имели паритет с Америкой в обладании ядерной бомбой, но не имели паритета в обладании ядерным оружием — у нас не было эффективных средств его доставки на территорию Америки. Америка обладала базами практически по всему Земному шару, и доставить ядерную бомбу с помощью самолетов в кратчайший срок в любую точку для нее не было проблемой. У нас же такой возможности не было. Только наличие межконтинентальной ракеты, снабженной ядерной боевой головкой, обеспечивало полный паритет в обладании ядерным оружием.

Конечно, можно было надеяться, что Америка не применит ядерное оружие (и в это верилось), но, с другой стороны, пример Хиросимы и Нагасаки был жив, а ведь там никакой военной необходимости в применении ядерного оружия не было, война явно кончалась. Совершенно очевидно, что главной целью Трумена при этом была демонстрация перед нами возможностей Америки (и он положил на это десятки тысяч жизней мирных японцев). Совсем другое дело, если бы у нас и у Америки были равные возможности в применении ядерного оружия: пойти на обмен ядерными уда-

рами — это уже безумие. И вся последующая жизнь подтвердила эффективность ядерного сдерживания.

В этой обстановке Главный конструктор системы радиоуправления Борис Михайлович Коноплев принял смелое и рискованное решение: не ждать, когда появится требуемая вакуумная техника для реализации варианта с непрерывным излучением сигнала, а принять к разработке импульсный вариант.

По другому пути имел возможность пойти Герман Алексеевич Барановский, которому была поручена разработка системы контроля траектории ракет (в свое время он работал у Борисенко и разрабатывал наземный передатчик для системы БРК-2, но к этому времени работал уже в Харьковском СКБ). Он сделал ставку на фазовый метод контроля траектории, заказал требуемый клистрон в Фрязино и ждал выполнения этого заказа. Это решение было в данном случае совершенно оправданным: над ним не так довлели сроки (еще не было ракет, траектории которых требовалось проверять, да и спрос за срыв сроков будет не столь суров), а точность, чтобы контролировать систему радиоуправления, нужна была очень высокая. Кстати, в значительной мере именно он подготовил почву для создания в 60-х годах фазовой системы радиоуправления (но об этом позже).

3.2. Система боковой радиокоррекции ракеты Р-7

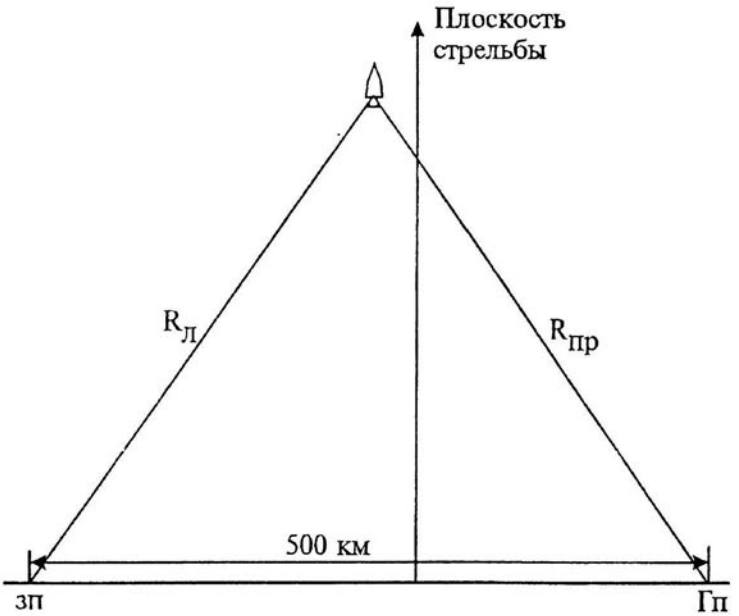
Для определения бокового отклонения ракеты использовалась разностно-дальномерная система, основывающаяся на определении разности расстояний до двух наземных пунктов («главного» и «зеркального»), расположенных симметрично относительно плоскости стрельбы, на удалении от нее ~ 250 км (рис. 5, *а*). На рис. 5, *б* показана схема распространения сигналов между главным пунктом, бортом ракеты и зеркальным пунктом. Код запроса (условно обозначим его К1), открывающий цикл измерения дальности и бокового отклонения, излучается передатчиком главного пункта. По поступлении на борт он ретранслируется через соответствующие антенны на главный пункт (код К2) и на зеркальный пункт (код К3). В процессе полета ракеты на участке радиоуправления (после отделения ракеты 1-ой ступени) две бортовые антенны программно ориентируются на главный и зеркальный пункты.

Интервал $\tau_д$ между излучением с главного пункта кода запроса К1 и приемом на главном пункте ответного кода К2 характеризует дальность ракеты от главного пункта. После приема кодов К2 и К3 главный и зеркальный пункты ретранслируют их обратно на борт (коды К4 и К5). Интервал $\tau_б$ между моментами приема на

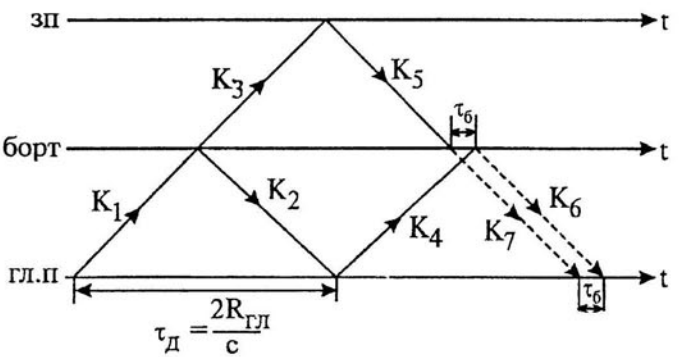
борту кодов К4 и К5 характеризует разность расстояний ракеты до основного и зеркального пунктов, которая при заданной базе между пунктами и данном удалении ракеты определяет величину и знак бокового отклонения ракеты. Здесь требуется уточнение. Через шифраторы и соответственно дешифраторы проходят импульсы, расширенные с 0,1 мкс до ~1 мкс. Однако, эти расширенные импульсы после дешифрации используются лишь в качестве стробов для выделения импульсов длительностью 0,1 мкс из следующей за кодами пачки, которые напрямую проходят через широкополосный приемник. Так что при измерениях (и дальности, и бокового отклонения, и радиальной скорости) используются только, так называемые «красные» импульсы, длительностью 0,1 мксек (это — предложение В.Э.Лемберга, ему же принадлежит и термин «красные»). Эта мера одновременно повышает помехозащищенность канала измерения доплеровского смещения, т.к. стробируются все импульсы пачки, следующей за кодом. База известна, а расстояние до ракеты при выработке команд бокового управления определяется по измерениям дальности (можно без ущерба для точности бокового управления принять программное значение дальности для конца активного участка траектории).

В системе радиоуправления, участвовавшей в 1-ом этапе полигонных испытаний, выработка команд бокового управления предусматривалась на борту ракеты. Импульсы, образующиеся после декодирования кодов К4 и К5, поступают каждый на свой фильтр, настроенный на некоторую гармонику частоты повторения кодов (с учетом многократной ретрансляции прохождение всей последовательности кодов занимает более 5 мс и частота повторения кодов была выбрана 100 Гц). Расхождение фаз колебаний, выделяемых этими фильтрами, определяется расхождением моментов поступления соответствующих импульсов на фильтры, т.е. интервалом $\tau_б$, характеризующим боковое отклонение ракеты (рис. 5, *б*). Эти колебания поступали на фазовый дискриминатор, вырабатывающий постоянное напряжение, знак и величина которого определяются расхождением фаз сравниваемых сигналов, т.е. величиной и знаком интервала. Сигнал с фазового дискриминатора поступал в автомат стабилизации автономной системы управления, где после его дифференцирования с использованием RC-ячейки, дающего составляющую, характеризующую боковую скорость ракеты, вырабатывались соответствующие команды бокового управления.

Команды боковой радиокоррекции начинали поступать в усилитель — преобразователь автономной системы управления лишь на конечном отрезке активного участка траектории. Время, отводимое на боковую радиокоррекцию, было выбрано по результатам



а)



б)

Рис. 5

моделирования из условия, чтобы при максимальных возмущениях движения ракеты на активном участке траектории переходные процессы бокового управления завершились к началу выдачи команды на снижение тяги двигателя.

Система боковой коррекции предусматривала компенсацию влияния на боковое отклонение точки падения вращения Земли (это влияние зависит от дальности стрельбы). Это осуществлялось соответствующим смещением кода К4 на главном пункте перед рет-

рансляцией его на борт, с использованием для этого секционированной линии задержки.

Следует отметить, что в 1956-57 гг. коллективом разработчиков системы боковой коррекции БРК-2 под руководством Михаила Ивановича Борисенко была предпринята попытка решить задачу боковой коррекции ракеты Р-7 за счет модернизации системы БРК-2 (она получила название БРК-71 по индексу 8К71, присвоенному ракете Р-7). Однако возможности системы БРК-71 оказались совершенно недостаточными для обеспечения требуемой точности стрельбы. Как показал в дальнейшем опыт работы над фазовой системой управления, разрабатывавшейся тем же коллективом, для обеспечения требуемой точности определения боковой скорости требовалась не антенна с раскрывом 3 м, а база между антеннами, длиною в 400 м.

3.3. Система радиоуправления дальностью

В отличие от системы радиоуправления ракеты Р-5 в данном случае при выработке команд управления дальностью уже не удается ограничиться учетом только двух параметров: радиальной скорости и дальности, а приходится учитывать значение координаты и составляющей скорости ракеты в направлении нормали к линии визирования, расположенной в плоскости стрельбы. Для этой цели в состав Главного пункта был введен специальный пеленгатор. Раскрыв его антенны в сечении, совпадающем с плоскостью стрельбы, составлял 7 м.

Радиопеленгатор представлял собой очень громоздкое устройство. Антенно-поворотное устройство для него пришлось заказывать на ленинградском заводе «Большевик», специализирующемся на разработке и изготовлении корабельных башен для ВМФ.

Антенна для пеленгатора изготовлялась на авиационном заводе в г. Горьком, поскольку по технологии изготовления она была близка к технологии изготовления крыльев самолетов. Для защиты от ветровых нагрузок пеленгатор пришлось поместить в специальное сооружение по типу куполов астрономических обсерваторий. С помощью сложной оптической системы антенна пеленгатора выставлялась с высочайшей точностью в заданном направлении. Угловое отклонение направления на ракету от этого опорного направления снималось с потенциометров пеленгатора, фиксировавших изменения ориентации линии визирования, а угловая скорость линии визирования — с тахогенераторов.

Самым ответственным из измеряемых параметров являлась радиальная скорость. Для ее определения из запросной и ответной импульсных последовательностей выделялась очень высокая гар-

моника рекуррентной частоты их повторения (ее порядковый номер составлял, кажется, тысячи, но это — по памяти). Определялось доплеровское смещение, представлявшее разность частот одинаковых гармоник, выделенных из ответной и запросной импульсных последовательностей. Частота повторения импульсных посылок составляла 100 Гц (она ограничивалась общей длительностью совокупной импульсной последовательности, претерпевавшей несколько ретрансляций, см. § 3.2.).

Для повышения энергетики канала выделения доплеровского смещения (улучшения отношения «сигнал/шум») Эдуардом Миграновичем Манукяном было предложено вместо одиночных импульсов посылать вслед за запросным кодом дальности пачку импульсов (от 36 до 63 импульсов [2]), следующих с интервалом 20 мкс. Это одновременно повышало помехозащищенность канала. В то время как раз был в моде квадратно-гнездовой метод посадки картофеля, и предложенный Манукяном сигнал нарекли «квадратно-гнездовым». Спектр этого сигнала изображен на рис 6. Отдельные линии спектра, следующие через 100 Гц (рекуррентная частота импульсной последовательности) дважды промодулированы: частотой следования импульсов в пачке (50 кГц) и частотой 20 МГц, определяемой длительностью импульсов (0,1 мкс). На рис. 6 периоду модулирующей частоты отвечают две «арки», на границе между которыми знак модулирующего спектр сигнала меняется на обратный. На рисунке представлена упрощенная картинка спект-

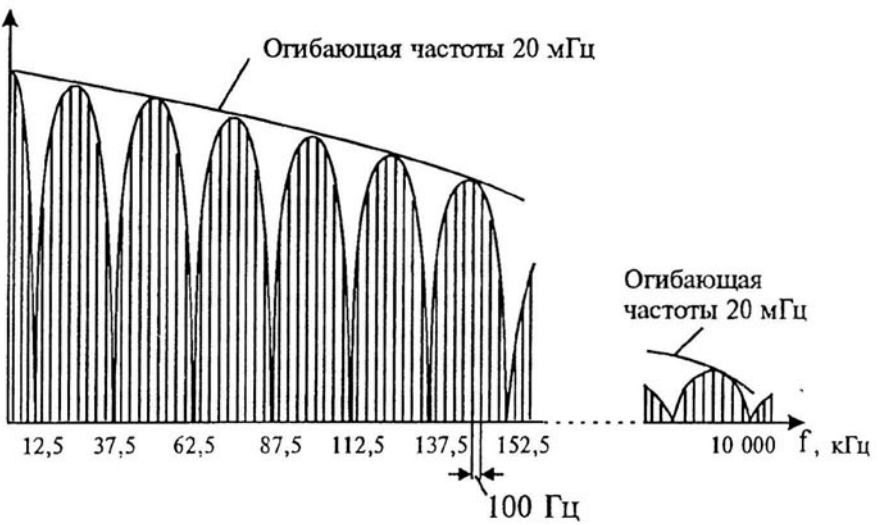


Рис. 6

ра. На самом деле форма огибающей спектра зависит еще от числа импульсов в пачке. Для фильтрации используют спектральную линию в выбранном диапазоне частот, отвечающую местному максимуму спектра. Выделяемая для измерения доплеровского смещения гармоника (на рисунке она принята условно) отмечена на рисунке жирной линией. Для выделения столь высокой гармоники «чистенькой» при интервале между соседними спектральными линиями всего 100 Гц была разработана очень сложная система кварцевых фильтров. Она явилась результатом глубоких теоретических и экспериментальных исследований, проведенных исполнителем этой аппаратуры Ильей Давыдовичем Черномордиком.

3.4. Счетно-решающее устройство. Командная радиолиния

Началу работы над системой радиоуправления ракеты Р-7 предшествовала разработка в НИИ-20 МПСС эскизного проекта системы радиоуправления ракеты Р-3 («Топаз») коллективом, возглавляемым Главным конструктором Борисом Михайловичем Коноплевым. Эта работа завершилась выпуском эскизного проекта в декабре 1948 г. В дальнейшем работы над ракетой Р-3 были прекращены, и вместо нее была включена в план разработка ракеты Р-5. Однако идеи, заложенные в НИР «Топаз», в существенной мере вошли в разрабатываемую под руководством того же Бориса Михайловича Коноплева систему радиоуправления ракеты Р-7 (как уже указывалось, Борис Михайлович вместе со своей группой перешел в НИИ-885 в апреле 1950 г.). В проекте «Топаз» была заложена цифровая вычислительная машина. При всей научной прогрессивности этой идеи, ее реализация в то время была абсолютно не обеспечена элементной базой. Родился бы совершенно неработоспособный Голиаф. В варианте, принятом в «Топазе», цифровая вычислительная машина содержала ~ 10000 ламп и, соответственно, ~ 10000 ламповых панелей с очень ненадежными контактными соединениями, так что ни о какой надежности этой ЦВМ не могло быть и речи. Евгений Яковлевич Богуславский предложил создать аналоговое вычислительное устройство с использованием импульсно-временной техники, аналогичное тому, которое использовалось в системе радиоуправления ракеты Р-5. Аналоговое вычислительное устройство содержало всего 200 ламп. К тому же предусматривалось его «четверирование» (см. § 3.5). Хотя с чисто научной точки зрения переход от ЦВМ к аналоговому счетно-решающему устройству являлся шагом назад, сравнение предлагавшейся ЦВМ с аналоговым счетно-решающим устройством, предложенным Е.Я.Богуславским, было явно в пользу последнего.

Рассмотрим работу этого вычислительного устройства. На вход вычислительного устройства поступает последовательность импульсов, привязанных к моментам перехода сигналов доплеровской частоты через нуль в положительном направлении. Делением частоты следования этих импульсов в n раз образуется периодическая последовательность интервалов, длительностью в n периодов текущего значения доплеровской частоты.

Найдем связь между требуемым значением $nT_{\text{доп}}^{(\text{гл})}$ на момент выдачи главной команды и расчетным его значением для программной траектории $nT_{\text{доп}}^{(\text{пр})}$. Для этого воспользуемся следующим соотношением:

$$nT_{\text{доп}}^{(\text{гл})} = nT_{\text{доп}}^{(\text{прогр})} + \alpha_{\Delta R}\,\Delta R + \alpha_{\Delta\beta}\,\Delta\beta + \alpha_{\Delta\dot{\beta}}\,\Delta\dot{\beta}, \qquad (1)$$

где $nT_{\text{доп}}^{(\text{прогр})}$ — значение $nT_{\text{доп}}$ на момент главной команды при программной траектории полета ракеты (расчитываемая величина);

поправки $\alpha_{\Delta R}\,\Delta R$, $\alpha_{\Delta\beta}\,\Delta\beta$, $\alpha_{\Delta\dot{\beta}}\,\Delta\dot{\beta}$ отражают вклад в дальность стрельбы отклонений от программных значений параметров R, β, $\dot{\beta}$, учитываемых при управлении дальностью.

Коэффициенты $\alpha_{\Delta R}$, $\alpha_{\Delta\beta}$, $\alpha_{\Delta\dot{\beta}}$ определяются отношением баллистических производных для этих параметров к баллистической производной для $\dot{R}$. Положительному значению отклонений ΔR, $\Delta\beta$ и $\Delta\dot{\beta}$ отвечает увеличение дальности стрельбы, что приводит к понижению требуемого значения доплеровской частоты на момент выдачи главной команды и, соответственно, к увеличению интервала $nT_{\text{доп}}^{(\text{гл})}$ по сравнению с его значением для программной траектории. Поэтому коэффициенты $\alpha_{\Delta R}$, $\alpha_{\Delta\beta}$, $\alpha_{\Delta\dot{\beta}}$ — положительны.

Представляя отклонения ΔR, $\Delta\beta$ и $\Delta\dot{\beta}$ в виде разности измеренных и программных значений этих параметров:

$$\Delta R = R_{\text{изм}} - R_{\text{пр}};\quad \Delta\beta = \beta_{\text{изм}} - \beta_{\text{пр}};\quad \Delta\dot{\beta} = \dot{\beta}_{\text{изм}} - \dot{\beta}_{\text{пр}},$$

выражение (1) можно представить в виде:

$$nT_{\text{доп}}^{(\text{гл})} = T_{\text{расч}} + \alpha_{\Delta R}\,R_{\text{изм}} + \alpha_{\Delta\beta}\,\beta_{\text{изм}} + \alpha_{\Delta\dot{\beta}}\,\dot{\beta}_{\text{изм}}, \qquad (2)$$

где $T_{\text{расч}} = nT_{\text{доп}}^{(\text{прогр})} - \alpha_{\Delta R} R_{\text{пр}} - \alpha_{\Delta\beta} \beta_{\text{пр}} - \alpha_{\Delta\dot{\beta}} \dot{\beta}_{\text{пр}}$ — величина, рассчитываемая для программной траектории, входит в полетное задание.

Таким образом, для выработки команд управления дальностью используются только расчетные величины $T_{\text{расч}}$, $\alpha_{\Delta R}$, $\alpha_{\Delta\beta}$, $\alpha_{\Delta\dot{\beta}}$, входящие в полетное задание, и непосредственно измеряемые величины.

Процедура выработки команд управления дальностью отображена на рис. 7.

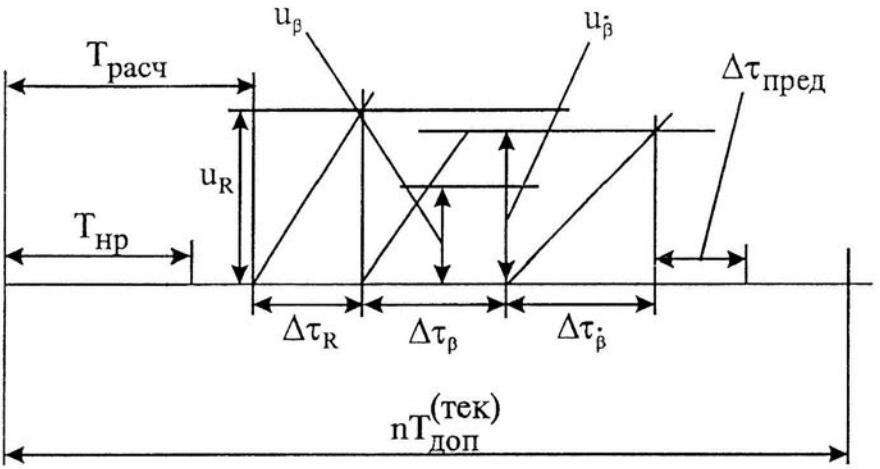


Рис. 7

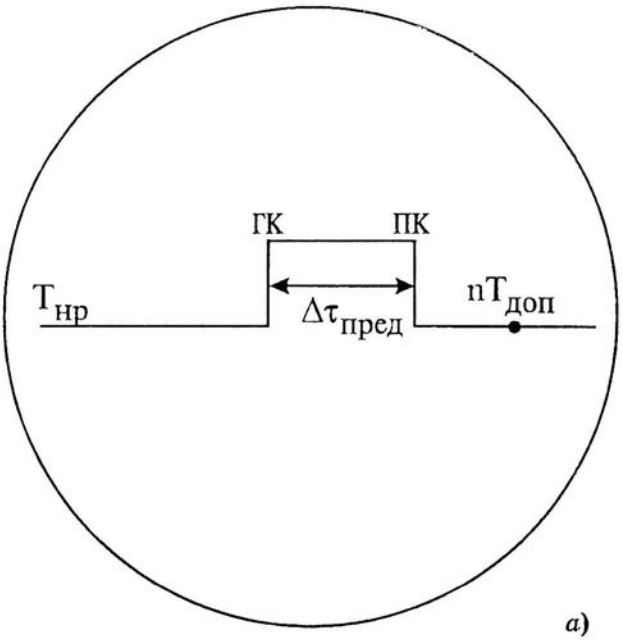
От начала каждого из интервалов $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$ отвечающего текущему значению доплеровского смещения, отсчитывается интервал, длительность. $T_{\text{расч}}$, отвечающий полетному заданию. Этот интервал формируется с использованием соответствующим образом настроенных делителей исходной импульсной последовательности частоты 100 кГц, поступающей от хронизатора системы. Требуемое значение дробной части периода исходной импульсной последовательности для формирования значения $T_{\text{расч}}$ «добирается» с помощью секционированной широкополосной линии задержки, с использованием соответствующего ее отвода. Значение $T_{\text{расч}}$, наращивается поправками на истинные значения дальности, угла места и угловой скорости его изменения (см. формулу (2)), которые поступают в виде соответствующих напряжений (дальность,

представляющая в исходной форме интервал между импульсами, предварительно, с использованием линейного пилообразного напряжения, преобразуется в соответствующее напряжение, см. рис. 3, *а*, § 2.2). Поправки вводятся последовательно с использованием пилообразных напряжений, а наклон «пилы» выставляется по полетному заданию в соответствии с значениями коэффициентов $\alpha_{\Delta R}$, $\alpha_{\Delta\beta}$, $\alpha_{\Delta\dot{\beta}}$, отвечающими моменту выдачи главной команды для данной дальности стрельбы. Сначала от конечной точки расчетного интервала $T_{\text{расч}}$ запускается пилообразное напряжение, отвечающее поправке на дальность, и в момент, когда пилообразное напряжение сравняется с напряжением, определяющим значение этой первой поправки, выделяется импульс окончания интервала на данную поправку. От этого импульса запускается пилообразное напряжение, отвечающее баллистической производной для следующей поправки (рис. 7) и т.д. После дополнения расчетного интервала всеми этими поправками добавляется еще фиксированный интервал $\Delta\tau_{\text{пред}}$, отвечающий разности значений $nT_{\text{доп}}$ на момент предварительной и главной команды. При переходе двигателя на режим малой тяги предусматривается специальная его подготовка по, так называемой, команде «Форсаж». Именно этой команде соответствует «Предварительная команда», передаваемая системой радиоуправления. Следующая же за ней через малый интервал времени команда на снижение тяги двигателя вырабатывается самостоятельно автономной системой управления. Следует напомнить, что интервал $\Delta\tau_{\text{пред}}$ представляет не интервал времени между «гк» и «пк», а расхождение значения интервалов $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$ на момент выдачи этих команд. Когда конец интервала $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$ сравняется с границей поправки $\Delta\tau_{\text{пред}}$, выдается «Предварительная команда». Когда, при дальнейшем наращивании скорости ракеты, интервал $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$ сократится до величины, отвечающей расчетному интервалу $T_{\text{расч}}$ с поправками на момент главной команды — выдается «Главная команда». Все просто и красиво, если к этому добавить, что усилиями Евгения Яковлевича Богуславского точность время — импульсных преобразований была доведена до уровня, отвечающего относительной погрешности $\sim 10^{-4}$. Правда, при более рациональном подходе к оценке этого счетно-решающего устройства может возникнуть замечание, связанное с необходимостью достаточно кропотливой настройки на-

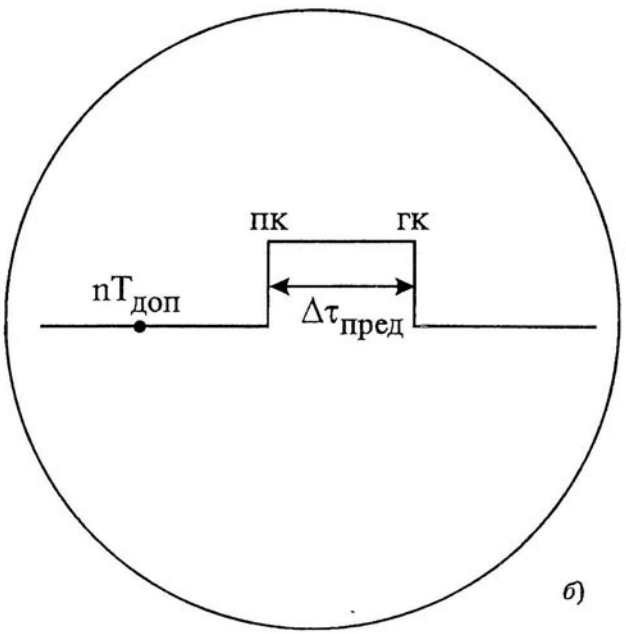
клона пилообразных напряжений в соответствии с полетным заданием. С ЦВМ все было бы гораздо проще. Но если эта ЦВМ — «Голиаф» с 10000 ненадежных ламп, то сравнение явно в пользу детища Богуславского.

Разработчики счетно-решающего прибора предложили очень наглядный способ отображения не только моментов выдачи предварительной и главной команд, но и ситуации на конечном участке активного полета ракеты. Выделим на интервале $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$ точку, смещенную от начала этого интервала на $T_{\text{нр}}$, определяющую начало горизонтальной развертки осциллографа. Тогда на экране высветится конечная часть интервала $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$, а также интервала $nT_{\text{доп}}^{(\text{расч})}$ с поправками и начальная часть следующего интервала $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$.

На интервале $\Delta\tau_{\text{пред}}$, определяющем условия выдачи «Предварительной» и «Главной» команд, на горизонтальной развертке создается пьедестал за счет подаваемого на пластины вертикального смещения луча напряжения с триггера, управляемого граничными импульсами этого интервала (рис. 8, *а*). Границы интервала $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$ отмечены усиленной яркостью. Таким образом на картинке, изображенной на рис 8, *а*, в виде пьедестала отмечены границы значений $nT_{\text{доп}}^{(\text{тек})}$, отвечающие условиям выдачи «Предварительной» (задняя граница пьедестала) и «Главной» (передняя его граница) команд на выключение двигателя, а позади этого пьедестала высвечена точка, отражающая текущее значение $nT_{\text{доп}}$, которая постепенно приближается к задней границе пъедестала. Для большей наглядности изображения вместо горизонтальной развертки слева-направо была использована развертка справа-налево. В этом случае яркая точка, отображающая текущее значение доплеровской частоты будет «наезжать» слева направо на пъедестал. Сравнявшись с точкой ПК (момент выдачи «Предварительной» команды), она взбирается на пъедестал, а в момент выдачи ГК сходит с него. Все это при пусках воспринималось очень эмоционально. Вот точка «Зависла», так и не добравшись до пъедестала. Общий горестный выдох — аварийный пуск. Вот она взобралась на пъедестал — всеобщее оживление. Вот прошла его до конца — громкое ура!



а)



б)

Рис. 8

Выработанные счетно-решающим устройством предварительная и главная команды на выключение двигателя передавались, как и в системе радиоуправления ракеты Р-5, трехимпульсным кодом по запросной линии дальномерного канала. По ответной линии дальномерного канала выдавались также трехимпульсными кодами, так называемые, «квитанции», подтверждавшие нормальное исполнение переданных с земли команд, а также вырабатываемых на борту команд бокового управления.

3.5. Резервирование наземной аппаратуры

Для повышения надежности наземной аппаратуры управления предусматривалось ее резервирование. Вся цепочка приборов, участвующих в выработке команд управления, начиная с приемников (дешифраторы, счетно-решающие устройства, а также шифраторы выработки запросных кодов и всех команд) «четверировалась», и сигналы и команды поступали на выход с соответствующей машины в следующее звено системы управления только в случае полного совпадения выходных сигналов не менее, чем по двум комплектам (принцип «голосования»). Вообще, для осуществления «голосования» достаточно было бы 3-х комплектов аппаратуры, четвертый добавлялся в качестве «горячего резерва» на случай выхода из строя одного из комплектов, но он также включался в систему голосования. В устройствах, не встраивавшихся в систему голосования (передатчики и др.), вводились жесткие меры контроля их нормальной работы и горячее резервирование для мгновенного перехода на резервный комплект при возникновении в основном комплекте неисправности. Это, конечно, резко увеличивало состав наземной аппаратуры, но требование надежности стояло выше всего.

Предусмотренное резервирование полностью исключило случаи ненормальной работы аппаратуры из-за ее неисправности.

При управлении дальностью было предусмотрено резервирование радиосистемы автономной аппаратурой. Конечно, простое их запараллеливание исключалось: в этом случае результирующая точность могла бы навязываться более грубой автономной системой. Поэтому автономная аппаратура настраивалась на небольшой перелет, перекрывавший возможные ее ошибки в сторону опережения команды на выключение двигателя. Эта мера резервирования автономной системой системы радиоуправления дальностью сработала только один раз. Но какой это был «раз»! Но об этом отдельно в § 4.6. Помимо основной аппаратуры, входящей в контур радиоуправления, в составе Главного пункта была предусмотрена «станция контроля и управления» («Командная машина»).

Эта машина — детище Авраама Менделевича Трахтмана, предложенная им и разработанная под его руководством, оказалась крайне полезной как при комплексных испытаниях аппаратуры главного пункта во время подготовки к пуску или при регламентных проверках, так и во время самого пуска. Помимо средств для диспетчерского обеспечения работы всего комплекса в ней были сосредоточены средства отображения, дублирующие аналогичные средства в соответствующих машинах: панели с индикаторами выдачи всех команд, а также поступивших с борта ракеты «квитанций» об исполнении всех команд, индикаторы готовности машин к работе и пр., и пр. И, конечно, «украшением» командной машины был индикатор выдачи команд управления дальностью, изображенный на рис. 8б, точно такой же, как в машине счетно-решающих устройств. Кроме того, в этой станции моделировались программные значения параметров движения ракеты для комплексной проверки пункта в режиме, имитирующем реальный пуск.

В заключение, чтобы дать представление о комплекте аппаратуры в целом, перечислим основные машины, входившие в состав главного и зеркального пунктов [2].

А. Состав станций главного пункта радиоуправления.

1. Станция счетно-решающих устройств системы радиоуправления дальностью — С-411 (ответственный разработчик Токарев Ф.И.).

2. Станция выделения скорости — С-412 (ответственный разработчик Манукян Э.М.).

3. Станция хронизаторов — С-413 (ответственный разработчик Герасимов В.И.).

4. Станция фоторегистраторов — С-414 (ответственный разработчик Пешнев С.Г.).

5. Станция контроля и управления — С-415 (ответственный разработчик Трахтман А.М.).

6. Станция счетно-решающих устройств системы бокового управления — С-416 (ответственный разработчик Трахтман А.М.) — введена в состав пункта со 2-го этапа испытаний (см. § 3.9).

7. Станция перешифраторов — С-430 (ответственные разработчики Вилков Г.А., Сычужникова Е.Г.).

8. Станция приемных устройств — Е-436 (ответственный разработчик Чигирев Р.А.).

9. Станция передающих устройств — Е-435 (ответственный разработчик Зыков К.К.).

10. Наземные передающие антенны — Е-518.

11. Наземные приемные антенны — Е-519.

12. Пеленгатор (Гл. Конструктор Гуськов Г.Я., ЦНИИ 108 МО).

13. Станция локационного обнаружения и наведения («СЛОН») (ответственный разработчик Розенман Е.А.) — введена со 2-го этапа испытаний ракеты (см. § 3.9).

В состав зеркального пункта вошли станции, указанные в приведенном выше списке под номерами 7,8,9,10,11,13.

Таким образом в состав наземной аппаратуры на главном и зеркальном пунктах входило всего 19 станций, не считая агрегатов питания.

В. Состав бортовой радиоаппаратуры.

1. Бортовая приемно-передающая антенна — Е-500.
2. Передающее устройство — Е-128.
3. Приемное устройство — Е-125.
4. Перешифратор — С-136.
5. Бортовые антенны — Е-545 и Е-550 и прибор управления антеннами — Е-129.

Индексы «С» относятся к низкочастотной аппаратуре, разрабатывавшейся в отделе Е.Я.Богуславского, индексы «Е» — к высокочастотной аппаратуре, разрабатывавшейся в отделе М.И.Борисенко.

3.6. Первое включение всего комплекса аппаратуры. Стендовые испытания

Никогда ни до, ни после этой разработки я не наблюдал такого всеобщего энтузиазма. Это был не просто энтузиазм, а азарт, охвативший каждого, начиная с Главного конструктора и его ближайших помощников и кончая техником, охвативший в равной мере представителей промышленности и военную приемку. Мы первые в мире! Мы впереди Америки! Каждый, кому были поручены стойки, блок, отдельный прибор, узел относились к нему как к родному ребенку, за которого он, и только он лично в ответе. Никого не надо было просить задержаться: каждый, если его прибор отставал, задерживался сам, не считаясь со временем.

И вот наступил торжественный момент. Все приборы готовы к комплексному включению, все собраны в большом зале комплексного стенда, соединены кабелями. Всеобщее волнение. Всех тревожит прежде всего, как поведет себя линия измерения радиальной скорости, самое «тонкое» место в системе. Все остальное многократно встречалось, испытано: передача импульсных кодов, их ретрансляция. И непринципиально в какой точке стоит передатчик или приемоответчик, сколько раз будет повторяться ретрансляция. А вот выделить из сложной импульсной последовательности «чистую» очень высокую гармонику, рядом с которой через 100 Гц расположены соседние гармоники — этого еще делать не

приходилось никогда, и сомнения одолевали всех. Хватит ли для этого селекции системы кварцевых фильтров? Твердой уверенности в этом не испытывал даже разработчик этой системы Илья Давыдович Черномордик.

И вот, первое включение! Все взоры обращены на электронно-лучевую трубку, которая должна вынести приговор. На вертикальные и горизонтальные ее пластины поданы выходные сигналы доплеровского смещения с двух разных комплектов аппаратуры. Если сигналы от обоих комплектов «чистые», на трубке должна появиться четкая «фигура Лиссажу»: прямая линия по ее диагонали, если сигналы строго синфазны, эллипс, если между ними имеется сдвиг фаз, окружность, если они сдвинуты по фазе ровно на четверть периода (а сдвиг фаз зависит от длин кабелей, соединяющих стойки с осциллографом). И вот подается на все приборы напряжение питания и ... общий тяжкий вздох разочарования. Экран осциллографа сплошь замазан клубком линий, не оставляющих даже открытого пятнышка. Полный провал! А доплеровская линия — сердце системы, нет доплера — нет системы!

Единственный, кто в этой обстановке сохранил присутствие духа, был Евгений Яковлевич Богуславский. Интуиция и огромный опыт наладки приборов подсказали ему, что наиболее вероятной причиной этого «полного безобразия» могли служить фоны питания большого числа блоков, участвующих в фильтрации. Такая «тонкая» задача предъявляла непривычно высокие требования к «чистоте» питания, не встречавшиеся еще раньше в практике исполнителей. И Евгений Яковлевич принимает гениально простое решение: запитать все стойки аппаратуры выделения доплеровского смещения частоты от аккумуляторов. Со всего института и с завода на стенд стаскиваются аккумуляторы. Заменяют ими штатные блоки питания стоек. И, о чудо! На экране появляется красавица «Лиссажу». Всеобщий восторг! Теперь ясно что надо делать: «чистить» все блоки питания. И тут — второе «гениальное» решение Богуславского: оставить все стойки, кроме какой-то одной, на питании от аккумуляторов, вынести блок питания этой единственной стойки на адаптере и устранять в ней фоны питания ориентируясь на чистоту «фигуры Лиссажу». За наладку первых блоков питания сел сам Богуславский, и только после удачной зачистки ряда блоков питания и накопления определенного опыта он доверил эту работу наиболее опытным разработчикам. Эта работа заняла не один день. Но победа была полной!

После этого начались нормальные комплексные испытания аппаратуры на стенде. Выявлялись и другие недостатки, но уже спо-

койно, по деловому выяснялись их причины и проводились коррекции. Стенд заработал в нормальном ритме.

3.7. Испытания системы радиоуправления ракеты Р-7 на ракетах Р-5Р

В мае—июне 1956 г. проводились частичные испытания системы радиоуправления ракеты Р-7 при пусках ракеты Р-5Р с ГЦП «Капустин Яр». Проходила частичные испытания наземная аппаратура Главного пункта и бортовая аппаратура. Пункт радиоуправления размещался у поселка Соленое Займище Астраханской области, с соблюдением штатного расположения Главного пункта относительно стартовой позиции.

Испытания преследовали следующие цели:

— отработка импульсной системы измерения радиальной скорости в сантиметровом диапазоне волн (основная задача);

— испытания макета радиопеленгатора, разработанного для системы радиоуправления ракеты Р-7 в ЦНИИ-108 МО;

— исследования прохождения радиоволн 3-х сантиметрового диапазона через газовую струю двигателя ракеты;

— разработка рекомендаций по изменениям в системе радиоуправления при подготовке к полигонным испытаниям ракеты Р-7.

Соленое Займище оказалось очень удачным местом для проведения испытаний и по природным и по бытовым условиям. Это — небольшое село. Основная часть экспедиции разместилась в здании местной школы (обстановка напоминала пионерский лагерь). Был снят еще один домик, где разместился Богуславский, а затем по приезде на испытания к нему присоединился я.

Испытания в целом прошли успешно. В моей памяти сохранился только один существенный дефект, выявленный в канале измерения радиальной скорости: при первом пуске ракеты Р-5Р выявилась непонятная нестабильность в работе этого канала. Причина быстро была выявлена (тут заслуга Богуславского): источником нестабильности было непостоянство числа импульсов в пачке, использовавшейся для выделения доплеровского смещения. На осциллографе было видно, что при формировании пачки последний импульс то появлялся, то исчезал. Причина была в нестабильности заднего фронта строба, определявшего длительность пачки. Строб формировался с использованием кипп-реле. Было решено для определения длительности пачки вместо кипп-реле использовать счетчики, четко определявшие число импульсов, входящих в «пачку». Для большей надежности использовалась последователь-

ность делителей с малыми коэффициентами деления (не более 5). С тех пор дефект ни разу не повторился.

В целом испытания прошли успешно, и аппаратура вернулась в Москву.

3.8. Первый этап полигонных испытаний

К апрелю 1957 г. ракета и все ее системы успешно прошли стендовые испытания, и был сделан вывод о готовности ракеты Р-7 к полигонным испытаниям. Испытания проводились на специально сооруженном для запусков межконтинентальных ракет полигоне возле казахского поселка Тюра-Там. Выезд экспедиции для проведения пусков ракет начался еще в феврале 1957 г. Главный пункт системы радиоуправления расположился в 250 км от старта возле поселка Тартугай, а зеркальный пункт — симметрично ему относительно плоскости стрельбы — возле поселка Тугуз. Испытания на полигоне разбивались на два этапа с тем, чтобы в перерыве между ними провести необходимые доработки ракеты и отдельных систем по опыту прошедших испытаний.

Окрестности Тартугая, где располагался главный пункт, представляли типичный степной район. Вблизи протекала река Аму-Дарья, которая сослужила нам верную службу в невыносимо знойные дни. Мы — обитатели Главного пункта находились на положении хуторян, жили своей независимой от «столицы» — Тюра-Тама жизнью. За все время экспедиции крупное начальство навещало нас трижды с однодневными визитами. Мне пришлось принимать Главнокомандующего ракетных войск Главного Маршала артиллерии Митрофана Ивановича Неделина и Заместителя Министра Обороны по Вооружению генерал-полковника Николая Николаевича Алексеева. Я провел Главного маршала артиллерии по всем машинам главного пункта и дал довольно подробные объяснения назначения каждой из них. Он слушал внимательно и, как мне показалось, суть улавливал. Экскурсия затянулась более чем на час. Все прошло гладко. После этого состоялся (уже без меня) обход Главным маршалом территории и казарм. Он проходил совсем в другом стиле, но закончился, в основном, благополучно.

Посещение Николая Николаевича Алексеева проходило в приятной непринужденной обстановке. Во-первых, мы были хорошо знакомы по прежней совместной работе в ГАУ. Во-вторых, он был высококвалифицированным радистом (стоял у истоков освоения радиолокационной техники) и все мои объяснения понимал с полуслова.

Посетил еще однажды Главный пункт Заместитель министра радиотехнической промышленности Сергей Михайлович Владимирский (он приехал на очередной пуск ракеты), но это уже была забота Евгения Яковлевича Богуславского (правда, весьма приятная). Вообще, Сергей Михайлович проявил себя очень внимательным и деликатным человеком. Получилось так, что с этим пуском совпала моя личная трагедия: в Горьком умерла моя мама. Мои друзья сообщили об этом по ВЧ из Москвы в Тюра-Там. Сергей Михайлович, вылетая из Тюра-Тама в Тартугай, знал об этой печальной новости. Посовещавшись с Богуславским, они решили, чтобы не выбивать меня из колеи перед ответственной работой (а на меня во время пусков возлагались достаточно ответственные обязанности), сообщить мне об этом на следующее утро (пуск, как всегда, был ночью). И вот рано утром в нашей комнате (а я жил вдвоем с Богуславским) неожиданно появляется вместе с Богуславским Сергей Михайлович Владимирский и, выражая свое искреннее соболезнование, сообщает мне об этой печальной новости. Он предлагает мне тут же вылететь с ним на самолете в Тюра-Там. Оттуда в тот же день был запланирован вылет экспедиции в Москву. Я был очень тронут тем тоном, которым все это выражалось.

Но вернемся к нашим рабочим будням. В основном мы жили в своем рабочем ритме, планируя свою работу независимо от «центра». С первого же дня работы на пункте (а началась она, кажется, в мае) стало ясно, что работать днем в станциях невозможно: в машине передатчиков температура достигала 80°. Было принято решение работать ночью, благо дневная жара здесь сменяется прохладными ночами. Был принят следующий распорядок дня. После завтрака все выезжали на Аму-Дарью. Наше пребывание там напоминало лежбище бегемотов: большинство лежало, погрузив практически все тело в воду, высовывая на берег только голову, чередуя это состояние с редкими заплывами.

В таком растительном образе жизни проходил весь день. В шестом часу вечера мы возвращались на обед в столовую, и только с 6 часов начиналась работа, которая продолжалась до 12 часов ночи. Условия для работы в машинах в это время были уже терпимыми. Следует отметить, что этот распорядок не вызывал никаких нестыковок с работой на старте, даже в дни пусков ракет. Дело в том, что наилучшие условия для определения точки падения (а она приходилась на акваторию в районе Камчатки), создавались, когда «приводнение» головной части приходилось на часы восхода Солнца, а для Казахстана это — ночное время. Поэтому

наш ночной режим работы на Главном пункте полностью соответствовал графику подготовки ракеты к пуску в Тюра-Таме.

Мы устраивали ежедневные (точнее еженощные) работы по комплексной проверке аппаратуры. Они имели две цели: длительный «прогон» аппаратуры для выявления ненадежных или нестабильных элементов и мелких недостатков в схемах и тренаж экипажей в проведении предстартовой проверки пункта.

Для проведения этих комплексных проверок был отработан специальный сценарий, где не только были расписаны содержание и последовательность операций в каждой из машин, но и тексты всех команд и докладов об исполнении операций. Это не только дисциплинировало экипажи отдельных машин и придавало более торжественный (а, значит, и более ответственный) характер испытаниям, но и позволяло не упустить ни одну из деталей комплексной проверки. Поначалу эта процедура занимала несколько часов, но впоследствии, когда все участники проверки приобрели навыки (и выучили наизусть свои роли по сценарию) комплексная проверка (она же и предстартовая) занимала 30÷40 мин.

«Экипаж» каждой машины состоял из 4÷5 человек. Начальником машины был обычно или начальник разрабатывавшей ее лаборатории или руководитель группы из этой лаборатории. В помощь ему выделялся еще один инженер из той же лаборатории (стойки аппаратуры стояли по боковым стенкам фургонов и обслуживать их следовало вдвоем). В каждой машине присутствовал офицер военной приемки, ведущий эту аппаратуру. Наконец, в каждой машине были стажеры из войсковой части, которая в дальнейшем должна обслуживать эту аппаратуру на боевой позиции.

В ходе комплексных проверок часто выявлялись мелкие недостатки в отдельных схемах. Был отработан четкий регламент их устранения. Для этого был заведен специальный журнал, куда вносились все коррекции. Порядок внесения коррекций устанавливался следующий. Начальник машины вносит обоснованное предложение о проведении коррекции. Его рассматриваем Богуславский и я с участием разработчика и представителя военной приемки. Если коррекция признается обоснованной, она вносится в журнал за двумя подписями: Богуславского и моей. Коррекцию в аппаратуре проводит монтажник (а на пункте были два монтажника высочайшей квалификации) под наблюдением военпреда и оба расписываются в журнале о проведении коррекции. Наконец, после проведения коррекции аппаратура проверяется начальником машины и военпредом, и они расписываются в журнале о соответствии аппаратуры ТЗ. Таких мелких коррекций за время экспеди-

ции накопилось около двухсот. А после приезда в Москву этот журнал был передан начальнику конструкторского бюро Александру Николаевичу Микиртумянцу, который в течение пары недель провел эти коррекции с соблюдением всех норм и правил отработки документации. Это обеспечило рекордно короткий срок проведения коррекций, при этом все строгие правила отработки документации были скрупулезно соблюдены. Это, безусловно, «ноу-хау» в отработке документации, но поделиться своим открытием я не мог: сразу бы обрушилась «кара» за нарушение норм отношений между военной приемкой и разработчиками. Кстати, об отношениях, сложившихся между военным представительством и разработчиками, при создании первой системы радиоуправления для межконтинентальной ракеты, следует поговорить особо. Традиционно считается, что производственники и военные представители — два постоянно конфликтующих лагеря: первые отвечают за выпуск аппаратуры с требуемыми характеристиками *в срок*, а вторые только за то, чтобы *не пропустить* при ее приемке дефекты. В первую очередь это относится к серийному производству, где над производственниками дамокловым мечом висит план, а военных волнует только соответствие продукции ТУ. Совсем иная обстановка сложилась у нас: и разработчики и военные в равной мере были поглощены грандиозностью, престижностью и ответственностью задачи, и качество аппаратуры в равной мере стояло на первом месте и у тех, и у других. Если разработчик аппаратуры обнаруживал какой-то дефект или слабое место, он сам делился своими заботами с ведущим этот прибор военпредом, и они вместе сидели ночами, чтобы довести прибор до нужной кондиции. Если у разработчика появлялась какая-то задумка о совершенствовании прибора, он, как правило, обсуждал ее с военпредом. Иногда идеи такого рода выдвигали военные. И это на всех уровнях. Если у кого-то в процессе разработки аппаратуры появлялась интересная новая идея, то тут же у Богуславского собирался «мозговой центр» (состав его зависел от тематики). Постоянными участниками этих обсуждений были Эдуард Мигранович Манукян, Авраам Менделевич Трахтман. Этой чести всегда удостаивался и я. Начинался «мозговой штурм». При этом могли высказываться самые абсурдные, на первый взгляд, идеи, и с этим хаотическим набором идей после бурного обсуждения все расходились с тем, чтобы на следующий день, уже спокойно все взвесив, собраться вновь и общими усилиями выделить рациональное зерно. Иногда его вообще не находилось, но чаще какой-то «навар» получался.

На полигоне между начальниками машины и курирующими их военпредами часто складывались товарищеские отношения, но это

не было панибратством, которое могло бы отрицательно сказаться на строгости контроля за качеством аппаратуры. Напротив, обеспечивался двойной строжайший контроль качества со стороны разработчиков и военных.

Активное участие в обсуждениях принимал курировавший этот заказ от ГУРВО Евгений Иванович Панченко. Был он тогда, кажется, в чине старшего лейтенанта, но по своей активности, категоричности суждений, подтверждаемой, как правило, их основательностью, и непререкаемости тона, отнюдь не отвечал этому скромному званию (Борис Михайлович Коноплев за эти его качества величал его генерал-лейтенантом). Евгений Иванович был почти постоянным участником полигонных экспедиций и внес большой вклад в испытания системы. Кстати, ироничные слова Бориса Михайловича обернулись пророчеством: Евгений Иванович стал-таки генерал-лейтенантом, Заместителем начальника ГУКОС'а.

Перед полигонными испытаниями произошло опечалившее всех нас событие: из института по причинам далеким от техники (и от интересов работы) ушел Главный конструктор системы радиоуправления ракеты Р-7 Борис Михайлович Коноплев (этой истории мы еще коснемся в главе 6). Его фактическим преемником стал Евгений Яковлевич Богуславский, хотя обязанности Главного конструктора системы радиоуправления были возложены на Главного контруктора института Михаила Сергеевича Рязанского, а Богуславский был его заместителем.

Пуск первой ракеты Р-7 на первом этапе испытаний состоялся в мае 1957 г. Был он неудачным: ракета пошла «за бугор» (так назывались аварийные пуски, заканчивавшиеся падением ракеты невдалеке от старта). Аварийным был и второй пуск, состоявшийся в июне 1957 г. В обоих случаях до вступления в работу системы радиоуправления дело не дошло. И лишь 21 августа 1957 г. состоялся успешный запуск ракеты Р-7 с участием системы радиоуправления.

В целом 1-ый этап испытаний, закончившийся к осени 1957 г., прошел успешно, но одновременно он выявил и ряд недостатков, на устранение которых было отведено время перед вторым этапом полигонных испытаний.

3.9. Второй этап полигонных испытаний ракеты Р-7

Помимо доработки наземной аппаратуры радиоуправления для устранения недостатков, выявленных на первом этапе испытаний, ко второму этапу испытаний был существенно изменен ее состав. Наиболее важное из этих изменений относится к системе бокового

управления. Было ясно, что отсутствие возможности широкого маневра направлением стрельбы при фиксированном направлении базы между главным и зеркальным пунктами не может удовлетворить военных. Использование для этой цели переноса зеркального пункта или тиражирования зеркальных пунктов было также явно неприемлемо. Поэтому еще до начала 1-го этапа испытаний было принято решение внести коренные изменения в формирование команд бокового управления, позволяющие обеспечить сектор стрельбы в пределах ± 40°. Реализовать такое управление на борту не представлялось возможным, и было решено перенести задачу формирования команд бокового управления на Землю, для чего было начато проектирование специальной дополнительной станции С-416. К первому этапу испытаний ее разработка не успевала, и станция С-416 была введена в состав главного пункта управления только со второго этапа полигонных испытаний. Идеологом этого варианта боковой радиокоррекции был А.М.Трахтман, а позднее его лабораторию и, соответственно, эту работу унаследовал И.У.Гинзбург (Трахтман стал заместителем Богуславского).

Маневр направлением стрельбы при неизменной базе между главным и зеркальным пунктами потребовал осуществления управления боковым движением ракеты с учетом всех измеряемых параметров движения ракеты в конце активного участка траектории. Для этого станция С-416 содержала специально разработанное счетно-решающее устройство аналогового типа, вырабатывающее требуемое значение величины боковой составляющей скорости (определяющего параметра по отношению к пяти остальным) в конце активного участка траектории, отвечающее «попадающей (по боку) траектории» при данных отклонениях от программных значений остальных параметров. Для решения этой задачи в счетно-решающем устройстве имелись блоки задания программных значений наклонной дальности, разности дальностей до главного и зеркального пунктов. В результате сравнения фактических значений этих параметров с программными их значениями для данного направления стрельбы вычислялись их вариации, а после их дифференцирования в блоках дифференциальных усилителей постоянного тока получались и соответствующие скорости их изменения. В счетно-решающем устройстве полученные вариации умножались на заранее расчитанные для данной траектории коэффициенты, содержащиеся в полетном задании, и суммировались, образуя требуемую коррекцию боковой скорости.

Будь в распоряжении разработчиков ЦВМ, решение всех этих задач свелось бы к реализации несложных алгоритмов, но в аналоговом варианте это вылилось в весьма сложный комплекс

средств, включающих помимо электронных схем электромеханические устройства.

В зависимости от требуемой величины коррекции предусматривалась выдача на борт ракеты одной из пяти команд, определявших фиксированные уровни коррекции: «Большая правая», «Малая правая», «Большая левая», «Малая левая» и «Нулевая». По этим командам усилители-преобразователи автономной системы поддерживали (до прихода следующей команды) соответственно значения угла рыскания $+3{,}5^{\circ}$, $+1^{\circ}$, $-3{,}5^{\circ}$, -1° и 0° [2].

В связи с переносом задачи бокового управления на землю, коды К4 и К5, образующие интервал τ_6 (рис. 5, *б*), ретранслировались в виде кодов К6, К7 на главный пункт (на рис. 5, *б* эта ретрансляция, не предусматривавшаяся в аппаратуре для 1-го этапа испытаний, показана пунктиром).

Перенос бокового управления на Землю позволил и при управлении дальностью (машина С-411) помимо поправок на отклонение от программных значений дальности, угла места и угловой скорости его изменения (см. рис.7) ввести дополнительно поправку на боковую скорость ракеты.

Для проверки модернизированной системы боковой радиокоррекции в полном объеме при испытании 2-го этапа был проведен один пуск с отклонением направления стрельбы на 40° относительно перпендикуляра к базе. Это было реализовано за счет соответствующего переноса зеркального пункта (направление стрельбы, естественно, было сохранено). Пуск прошел нормально.

Кроме того, для повышения помехозащищенности и энергетики системы к 2-му этапу полигонных испытаний ракеты Р-7 в состав «Главного» и «Зеркального» пунктов радиоуправления были введены станции локационного обнаружения и наведения антенн, получившие в соответствии с аббревиатурой громкое название «Слон» (хотя по сравнению с основным пеленгатором главного пункта это были мелкие слонята). «Слон», используя систему синхронной передачи, обеспечивал сопровождение всеми передающими и приемными антеннами обоих пунктов направлений на ракету, что позволило сузить диаграммы направленности этих антенн.

При подготовке ко второму этапу полигонных испытаний был проведен и ряд более мелких доработок. В частности, было принято предложение военной приемки перейти в целях повышения помехозащищенности с трехимпульсных на четырехимпульсные коды (это потребовало существенной доработки всех шифраторов и дешифраторов).

4 октября 1957 г., еще во время 1-го этапа испытаний ракеты Р-7, был выведен на орбиту первый искусственный спутник

Земли. Это событие имело огромный общественный резонанс и внутри страны и за рубежом. Люди выходили по вечерам из домов полюбоваться на довольно быстро перемещающуюся звездочку. Это был зримый символ нашего лидерства в освоении космоса. Конечно, сам по себе первый искусственный спутник Земли не представлял особого достижения в области космической техники. Это был пустотелый шарик диаметром чуть больше полуметра с четырьмя рожками — антеннами и небольшим передатчиком внутри, передававшим звук «пи-пи». Создать на месте головной части ракеты Р-7, имевшей массу ~1 т, третью ступень, разгоняющую маленький шарик с начальной скоростью около 7000 м/с до орбитальной скорости спутника, несколько меньшей первой космической скорости* (7910 м/с), не представляло особых технических трудностей. Этот спутник, своими «пи-пи» говорил: «Мы первые в космосе!» Он играл такую же роль, как вымпел и надпись на скале с фамилией первого альпиниста, покорившего новую высоту, и датой восхождения. Но высота — то была не земная, а поднебесная! Было чем гордиться! Объективно же это были «пенки», снятые с достижений ракетной техники, и запуск ракеты Р-7 с первым спутником на борту для нас внешне ничем не отличался от остальных запусков в ходе полигонных испытаний ракет Р-7. И сами участники этого запуска воспринимали его не столь эмоционально, как восприняли остальные люди. Но запуск нами 1-го искусственного спутника Земли имел и другой очень важный смысл: он наглядно и убедительно продемонстрировал всему миру, что у нас уже есть ракета, способная доставить ядерный заряд на другой континент. Поэтому 4 октября 1957 г., возможно, и является отсчетом начала эпохи ядерного сдерживания. Ведь для США даже возможность запуска хоть одной ракеты, с единственной стартовой позиции на полигоне, выбравшей целью, скажем, Нью-Йорк, являлась достаточным предостережением, чтобы заставить воздержаться от нанесения ядерного удара самые горячие головы. А с другой стороны, это явилось толчком к резкой активизации работ в Америке по ракетному оружию. С созданием у нас межконтинентальной ракеты преимущество США в наличии разветвленной сети авиационных баз исчезало: межконти-

---

* Первая космическая скорость — это минимально необходимая скорость тела «брошенного» с поверхности Земли, для того, чтобы оно не упало на Землю, а превратилось бы в ее спутник. Она не совпадает с орбитальной скоростью спутника, которая тем меньше, чем выше спутник. Она приблизительно совпадает со скоростью спутника, совершающего «бреющий полет» над самой поверхностью Земли.

нентальные ракеты давали большое стратегическое преимущество перед авиацией как по времени доставки до цели ядерного заряда, так и по их практической (по крайней мере, для того времени) неуязвимости. И гонка в создании ракетной техники (которой в первые годы после войны Америка не уделяла такого внимания) стала одной из основных составляющих политики США в гонке ядерного оружия.

В ходе 2-го этапа полигонных испытаний ракеты Р-7 был совершен второй прорыв в космос — запуск такого же миниатюрного аппарата на Луну. Этот запуск не имел особого технического содержания: аппарат нес на себе только «вымпелы» (медали с гербом Советского Союза и датой пуска), которые после удара аппарата о Луну должны были рассыпаться на ее поверхности. Это уже была полная аналогия с обозначением своего первопроходства альпинистами — покорителями высочайших горных вершин. Но такой «вершиной» в данном случае была Луна. Мы первыми достигли поверхности Луны! Это было очень престижно, но особых достижений в космической технике еще не представляло. Эпоха освоения космоса начнется несколько позже: с запуска первого космического корабля с космонавтом Гагариным на борту, с создания орбитальных станций «Салют» и «Мир», с запусков автоматических космических аппаратов, сфотографировавших обратную сторону Луны и других «лунных программ», полетов автоматических космических аппаратов к Венере и Марсу, а также с созданием связных, навигационных и других спутников Земли, решающих важные хозяйственные и военные задачи. Но это не входит в задачу данной книги, хотя в последней главе мы немного поговорим и об этом.

С запуском первого «лунника», который должен был доставить наши «вымпелы» на поверхность Луны, связана одна мало кому известная история (а в то время неизвестная никому кроме участников этого события). Дело в том, что первый «лунник» «промазал» мимо Луны и превратился в спутник Солнца. Поскольку в то время ни один из запусков заблаговременно не объявлялся, легко и изящно удалось сохранить наше реноме: было объявлено, что в СССР был произведен первый в Мире запуск искусственного спутника Солнца. Во-первых, это соответствовало истине, а, во-вторых, ни у кого не вызвало никаких подозрений: запуск искусственного спутника Солнца (преодоление гравитационного поля Земли) вслед за запуском искусственного спутника Земли выглядел вполне логично. И это был тот редкий случай, когда в западной прессе не появилось никаких опровержений на сей счет. А причиной «промаха» явились ошибочные измерения нашего радиопеленгатора

из-за просчета при его проектировании. Просчет же заключался в том, что разработчики, уповая на сильное подавление боковых лепестков диаграммы направленности при антенне с 7-ми метровым раскрывом, вообще упустили их из виду. Естественно, что при сканировании основного лепестка диаграммы, одновременно сканируют и боковые лепестки, образуя свои «равносигнальные зоны», правда, со слабым сигналом. И вот, надо же, после стольких благополучных сеансов работы радиопеленгатора на этот раз он захватил сигнал, ретранслированный с ракеты, ложной равносигнальной зоной, образованной первыми боковыми лепестками. То-ли поиск начался раньше обычного при меньшем удалении ракеты, то-ли наложились какие-то другие случайные обстоятельства, но захват ложной равносигнальной зоной произошел, и, соответственно, имела место систематическая ошибка, равная ширине лепестка диаграммы направленности антенны. К чести бригады ЦНИИ-108, обслуживавшей пеленгатор, они очень быстро разобрались в причине ошибки и тут же нашли защиту от нее. В режим работы пеленгатора был введен предварительный обзор зоны поиска сигнала с блокировкой режима «захвата», во время которого определялся максимальный уровень сигнала, отвечающий попаданию ракеты в основной лепесток диаграммы, и устанавливался соответствующий этому уровню порог срабатывания схемы обнаружения сигнала. Это исключало возможность ложного «захвата» в зоне «боковиков». И уже к следующему запуску ракеты Р-7 (а это был повтор, на этот раз уже успешный, запуска «Лунника») пеленгатор был готов к работе.

Второй этап испытаний ракеты Р-7 в целом прошел благополучно и в 1958 г. ракета Р-7 вместе с системой радиоуправления была принята на вооружение [2].

3.10. Войсковые испытания наземной аппаратуры радиоуправления. Ввод в эксплуатацию первой боевой позиции ракеты Р-7

За всю историю разработки ракет дальнего действия войсковые испытания были предусмотрены впервые. Этот вид испытаний традиционно существовал для других видов оружия, но для ракет все обычно заканчивалось Государственными испытаниями, проводимыми под руководством Государственной комиссии. Государственную комиссию всегда возглавлял крупный военачальник (на сей раз это был Главный маршал артиллерии М.И.Неделин), в нее входили Главный конструктор ракеты, некоторые его заместители, главные конструктора отдельных систем и высокопоставленные представители военного ведомства. Проведение войсковых ис-

пытаний уже после принятия ракеты на вооружение, повидимому, было связано с желанием проверить при реальном пуске (а на эти испытания был отведен только один пуск) специально изготовленный для первых боевых позиций комплект наземной аппаратуры. Так что героями этих испытаний, повидимому, должны были стать мы. И мы стали «героями» по причине, на которой я остановлюсь подробнее.

Войсковые испытания проводились в конце лета (или в начале осени) 1959 г. Получилось так, что Евгений Яковлевич Богуславский, обычно присутствовавший на главном пункте, исполняя обязанности технического руководителя, на этот раз не приехал, и обязанности технического руководителя исполнял Михаил Иванович Борисенко. По существовавшему в институте распределению работ отдел Борисенко разрабатывал только высокочастотную аппаратуру системы радиоуправления Р-7, а всю низкочастотную аппаратуру, обработку информации, комплекс в целом, общую идеологию системы вел Богуславский. Михаил Иванович в комплексных вопросах разбирался слабо, и получилось так, что при возникновении каких-то вопросов, касающихся работы комплекса, в отсутствие Богуславского руководители машин часто обращались ко мне.

Пуск ракеты во время войсковых испытаний шел наредкость нормально. Прошла «предварительная команда», прошла «главная команда», все, вроде, идет отлично. И тут, сразу после прохождения «главной команды» в командную машину врывается бледный Вадим Васильевич Засецкий, начальник 416-ой машины, и обращается ко мне: «Исаак Аронович, у нас ЧП!» И это, действительно, было ЧП. По сценарию предстартовой проверки аппаратуры пункта предусмотрена проверка выдачи команд бокового управления. Для этого каждый комплект аппаратуры 416-ой машины имитирует соответствующие команды искусственной расстройкой балансной схемы на выходе блока, определяющего уровень команды. По окончании этой проверки балансная схема должна выставляться строго в нуль. Все манипуляции проводят два оператора, каждый из которых обслуживает пару комплектов, стоящих по одну из сторон машины. С одной стороны работал сам Вадим Васильевич, а стойки на другой стороне обслуживал инженер его лаборатории Семен Коткин. И Семен забыл после окончания проверки выставить балансные схемы обоих своих комплектов в нуль, оставив их на уровне «Малая правая». В результате при пуске комплекты аппаратуры работали вразнобой: два комплекта выдавали одну команду, два — другую.

Мне картина стала сразу ясна. При расхождении «голосов» два на два в данном случае приоритет отдается «Малой правой» команде, и боковая коррекция будет вести ракету с боковым отклонением, отвечающим выбранному пороговому уровню «Малой правой» команды. Все баллистические производные имелись в полетном задании, находящемся на пункте, и не стоило труда выяснить боковое отклонение, которое внесет эта ошибка. Уже через несколько минут я объяснил Михаилу Ивановичу ситуацию и сообщил ожидаемое боковое отклонение точки падения ракеты. Он тут же позвонил Председателю Государственной комиссии, передал ему о ЧП и сообщил ожидаемое боковое отклонение. Это сообщение прошло, когда ракета была еще в полете. И тут на смену всех бед пришло везение: точка падения с небывалой точностью совпала с предсказанным нами отклонением (закон распределения случайных ошибок был на этот раз благосклонен к нам).

Ну а дальше, на итоговом заседании Государственной комиссии Михаил Иванович Борисенко с присущей ему находчивостью и яркостью выступлений «сделал из г...а конфетку». Он сказал, что ошибка оператора только обогатила испытания: мы смогли проверить возможности системы радиоуправления в коррекции направления стрельбы. По своей сути сообщение Борисенко давало абсолютно правильную оценку точности системы бокового управления по результатам пуска: совпадение бокового отклонения с предсказанным его значением действительно подтверждало ее точность. А вот утверждение, что ошибка оператора лишь обогатила результаты испытаний, представляло импровизацию, лишенную смысла, что, правда, осталось незамеченным (по крайней мере, не отмеченным) на совещании. Для изменения направления стрельбы (не таким, конечно, способом) и не на несколько км бокового отклонения, а на $\pm 40^{\circ}$ как раз и служило, машина С-416, и эффективность ее работы была уже подтверждена на 2-ом этапе испытаний удачным пуском ракеты при отклонении направления стрельбы от перпендикуляра к базе между «главным» и «зеркальным» пунктами на 40°. Но в результате на комиссии все прошло «на ура» и никаких претензий к системе радиоуправления предъявлено не было, и даже виновник «ЧП» Семен Коткин не пострадал.

Ввод в эксплуатацию первых боевых позиций ракеты Р-7 состоялся в конце 1959 — начале 1960 г. Стартовые позиции ракеты разместились в районе г. Плисецк, Архангельской области, «Главный пункт» в районе населенного пункта Пудож под Петрозаводском (место размещения «Зеркального пункта» — не помню). Я довольно много времени провел в Пудоже на вводе Главного пункта. Чудесное место: изумительный лес, прелестное озеро. Но на-

сладиться природой не довелось: я был зимой, а походить на лыжах времени не было.

После снятия с вооружения «семерки» стартовая позиция под Плисецком превратилась в ракетный полигон, а сейчас это — основной космодром в России (главный наш космодром — Байконур, как известно, в Казахстане).

В заключение этой главы зададимся вопросам: оправдался ли риск, на который пошли разработчики, начав разработку системы с использованием доступной тогда в трехсантиметровом диапазоне, но неперспективной импульсной системы? А риск был двояким:

— используя импульсные системы, можно было вообще не достичь требуемых характеристик;

— при благоприятном стечении обстоятельств у вакуумщиков весь труд радистов над этой системой мог оказаться напрасным, если во-время удастся создать систему, использующую непрерывное излучение сигнала в 3-х сантиметровом диапазоне волн.

На поставленный вопрос, нам кажется, есть единственный ответ: да, риск оказался оправданным.

В части характеристик системы были достигнуты следующие результаты [2]:

— погрешность измерения радиальной скорости $\leq 0{,}6$м/сек;

— погрешность измерения боковой скорости $\leq 0{,}5$ м/с;

— погрешность измерения дальности ≤ 60 м;

— погрешность измерения бокового отклонения ≤ 60 м;

— погрешность измерения угла места ≤ 30 угл.сек;

— погрешность измерения скорости его изменения $\leq 0{,}5$ угл.сек/сек;

Для импульсной системы это — превосходные характеристики. Они обеспечивали заданные требования к точности стрельбы ракетой Р-7.

Межконтинентальная ракета с этой системой управления появилась уже во второй половине 50-х годов, и фактически уже 4 октября 1957 г., запуском первого искусственного спутника Земли, было наглядно показано всему миру существование у нас межконтинентальной ракеты. А это означало конец угрозы ядерного удара со стороны США, фактическое начало эпохи ядерного сдерживания. Так что ядерное противостояние, исключившее возможность ядерной войны, можно отсчитывать с 4 октября 1957 г. А фазовая система радиоуправления лишь 12 апреля 1961 г. проходила испытания в режиме датчика при запуске первого спутника с космонавтом на борту, выведенного в космос ракетой Р-7, а принята на вооружение только в 1964 г. Выигрыш почти десятка лет в достижении этой цели безусловно «стоил свеч».

Конечно, ракета Р-7 с импульсной системой радиоуправления не во всем удовлетворяла военных по своим технико-тактическим и эксплуатационным характеристикам, но она обеспечивала на то время главную задачу — возможность ответного удара (возмездия) на случай применения против нас ядерного оружия, задачу сдерживания от развязывания ядерной войны.

3.11. Модернизация ракеты Р-7. Система радиоуправления ракетой Р-7А(8К74)

Уже в ходе испытаний ракеты Р-7 начались работы по ее модернизации. Главной целью модернизации самой ракеты было смягчение основного ее недостатка как оружия, связанного с использованием в качестве окислителя жидкого кислорода. Естественно, что на боевом дежурстве ракета должна стоять полностью заправленная, и испарение жидкого кислорода будет требовать ее периодической дозаправки. Это будет приводить к временному нарушению боеготовности, да и накладно с экономической точки зрения: производство жидкого кислорода достаточно дорогое удовольствие. Это — органический недостаток выбранного топлива (керосин и жидкий кислород), и речь могла идти только о некотором его смягчении.

Меры, принимавшиеся при доработке ракеты, которые сводились к улучшению теплоизоляции кислородных баков и охлаждению его стенок с помощью жидкого гелия, позволили существенно увеличить интервал между дозаправками. Радикально же устранить этот недостаток можно было, только перейдя на другие компоненты топлива. Такое решение было принято при разработке ракеты Р-16, сменившей через некоторое время ракеты Р-7А на боевых позициях. Эта ракета разрабатывалась уже не фирмой С.П.Королева, а КБ «Южное» в Днепропетровске, ее Главным конструктором был Михаил Кузьмич Янгель, работавший раньше заместителем Королева. В качестве горючего в ракете Р-16 использовался высококипящий диметил-гидразин, а окислителем служила азотная кислота. Они образовывали самовоспламеняющуюся пару, что давало этому топливу дополнительное преимущества, но представляло и немалую опасность (к тому же это топливо токсично). Мы еще к этому вернемся, но по другому (печальному) поводу.

Одновременно с модернизацией ракеты была произведена модернизация системы радиоуправления. Технический проект модернизированной системы радиоуправлния ракеты Р-7А(8К74) был выпущен в 1 квартале 1960 г., разработка конструкторской документации на «стационарный» вариант системы (аппаратура уже не размещалась в спецкузовах) была закончена в течение 1960 г. [2].

Прежде всего было решено избавиться от 250-километровых «крыльев», наличие которых вызывало крайние нарекания военных из-за вносимых этим больших неудобств в боевом управлении ракетным комплексом. Опыт пусков при полигонных испытаниях ракет выявил, что с задачей бокового управления достаточно успешно справляется автономная система, и задачу системы радиоуправления можно ограничить управлением ракетой по дальности стрельбы. Поэтому решено было зеркальный пункт исключить, а главный пункт перенести в район старта, сохранив в нем только каналы, измеряющие параметры в плоскости стрельбы: канал измерения радиальной скорости, дальномерный канал и пеленгатор (повторные ретрансляции сигнала, связанные с определением бокового отклонения соответственно исключались). В связи с тем, что при исключении боковой радиокоррекции зона радиоуправления сократилась до короткого конечного участка активного полета ракеты, отпала необходимость в изменении ориентации бортовой и наземных антенн в процессе полета ракеты. Поэтому из состава аппаратуры были исключены на пункте радиоуправления станция локационного обнаружения и наведения (СЛОН), а на борту ракеты — прибор управления антеннами (на ракете осталась единственная неподвижная рупорная антенна). Раскрыв антенны пеленгатора в плоскости стрельбы решено было уменьшить с 7-ми метров до 4-х (опять таки по опыту испытаний, и с учетом того, что влияние погрешностей пеленгатора можно существенно уменьшить за счет соответствующего выбора расположения наземной аппаратуры управления, см. гл. 2). Это позволило отказаться от «астрокупола», защищавшего от ветровых нагрузок прежнюю антенну. «Усеченная» наземная аппаратура системы управления компактно располагалась в районе старта.

Вся эта модернизация далась сравнительно «малой кровью» («ломать — не строить»). Исключение составила только необходимость изготовления новой аптенны, но и тут уменьшение ее размеров было благоприятно для производства.

Зимой 1960-1961 гг. на ГЦП Тюра-Там была введена в строй, так называемая, 31-я площадка, представлявшая первый штатный комплекс для запуска ракеты Р-7А. В 1961-62 гг. производилось изготовление и выпуск «стационарного» (без использования кузовов) варианта наземной аппаратуры управления («стационаров») для ракеты Р-7А и ввод в строй боевых стартовых позиций. А в 1961-63 гг. введено в эксплуатацию и сдано на вооружение 5 комплектов ракеты Р-7А с модернизированной системой радиоуправления [2].

Кстати, здесь мы употребили непривычное для читателей название ГЦП «Тюра-Там». Это действительно то место, где располагался и поныне располагается всемирно известный космодром «Байконур». Населенный же пункт Байконур, чье название было присвоено позднее ГЦП и, соответственно, космодрому, находится километрах в 200-х от фактического их расположения. И обязаны мы этому красивому названию нашим режимщикам, которые хотели таким образом засекретить истинное расположение полигона (хотя все иностранные спецслужбы прекрасно знали где Тюра-Там, где Байконур и откуда на самом деле пускают ракеты и запускают космические корабли и космические аппараты).

Ракета Р-7А сравнительно недолго была «в строю», ее заменила ракета Р-16. Но после снятия с вооружения ракета Р-7 несла верную службу в мирном космосе, обеспечивая запуск всех космических кораблей. По своим энергетическим характеристикам керосин и жидкий кислород представляют весьма эффективное топливо, а испарение кислорода в условиях, когда время пуска запланированно и заправка ракеты производится непосредственно перед пуском, не существенно. К тому же это — абсолютно безопасное топливо.

Так что после снятия с боевых позиций «семерки» не пропали для страны, а «верой и правдой» все это время служат по космическому ведомству.

Выше я рассказал об аппаратуре системы радиоуправления первой межконтинентальной ракеты Р-7. Но история создания систем радиоуправления, это не только история развития идей и приборов, но и история людей их создававших. Последняя заслуживает отдельной книги иного жанра. В этой книге я ограничусь лишь краткой характеристикой Главных конструкторов систем радиоуправления (им посвящена отдельная глава) и упомяну отдельных ведущих исполнителей. По системе радиоуправления ракеты Р-7 это — первые помощники Коноплева и Богуславского Авраам Менделевич Трахтман и Эдуард Мигранович Манукян, а также Геннадий Алексеевич Гуськов, Федор Иванович Токарев, Иосиф Ушерович Гинзбург, Юрий Михайлович Круглов, Юрий Сергеевич Павлов, Владимир Иванович Герасимов, Сергей Григорьевич Пешнев, Константин Константинович Зыков, Аркадий Бениаминович Найшуль, Евгений Аронович Розенман, Борис Георгиевич Сергеев, Виктор Эфроимович Лемберг, Николай Емельянович Иванов, Израиль Исаакович Пиковский, Игорь Яковлевич Сытин, Вячеслав Павлович Кузовкин, Вадим Васильеич Засецкий, Ефим Ефимович Цейтлин, Вадим Викторович Завьялов, Максим Леонидович Наталович, Борис Петрович Симонович, Вадим Федорович Грушецкий, Александр Николаевич Микиртумьянц и др.

Отдельно хочу отметить женщин, по-праву завоевавших положение ведущих специалистов в сильном мужском коллективе:Евгению Федоровну Дубовицкую, Елену Григорьевну Сычужникову, Эльгу Львовну Боброву, Надежду Николаевну Ананьеву. Нельзя не отметить вклад в отработку системы радиоуправления ведущих офицеров военной приемки: Якова Моисеевича Темкина, Михаила Павловича Медведева, Владимира Кузьмича Старцева, Вадима Владимировича Миткина, Вадима Федоровича Грицая, Александра Григорьевича Горделяна, Геннадия Алексеевича Рагулина, Валентина Николаевича Филиппова и др.

Я прошу прощения у тех, кого я забыл упомянуть, и они вошли в категорию «и др.». Прошло около полувека и некоторые фамилии стерлись в памяти (ведь это лишь воспоминания). Я долго колебался по этой причине прежде, чем решился на перечисление конкретных фамилий. Надеюсь, что никто на меня не обидится.

4
ФАЗОВАЯ СИСТЕМА РАДИОУПРАВЛЕНИЯ МЕЖКОНТИНЕНТАЛЬНЫМИ РАКЕТАМИ

4.1. Фазовая система — «незаконнорожденный ребенок». Общая характеристика системы

В конце 50-х годов в отделе Михаила Ивановича Борисенко началась работа по созданию новой системы радиоуправления, использующей для определения разностей дальностей фазовые измерения. Это была не просто инициативная работа (по распределению обязанностей в институте отдел №14, который возглавлял Борисенко, разрабатывал только высокочастотные устройства — передатчики и приемники, а всей низкочастотной аппаратурой, обработкой информации и всей «идеологией» системы занимался отдел №15, возглавлявшийся к тому времени Евгением Яковлевичем Богуславским), а работа, проводившаяся в глубокой тайне, почти подпольно. Явилась «миру» эта работа уже практически в готовом виде, являя собой как бы «незаконнорожденного ребенка». Но «ребенок» родился, и хорошенький, отказаться от него уже было нельзя.

Михаил Иванович Борисенко во-время уловил новые возможности, открывшиеся к этому времени — появление мощных клистронов трехсантиметрового диапазона, способных усиливать с сохранением когерентности поступающие на него непрерывные сигналы, а также возможность создания на полупроводниковой базе цифровых вычислительных машин. Вообще-то слово «уловил» не совсем точно отражает истинное положение дел в отношении фазовых измерений. Возможности для разработки фазовой системы были созданы усилиями Германа Алексеевича Барановского, которому была поручена разработка системы радиоконтроля траектории ракет «Вега» (эта работа велась в Харьковском институте). В отличие от разработчиков системы радиоуправления ракетой Р-7, над Германом Алексеевичем не так довлели сроки. С другой стороны, система радиоконтроля траектории, контролирующая, по-существу, работу системы управления, должна обеспечивать особо высокую точность, и импульсная система для этого была явно неприемлемой. Поэтому Герман Алексеевич с самого начала сделал ставку на фазовую систему, заказал разработку клистрона с требуемыми для этого характеристиками НИИ по вакуумной технике в

Фрязино и следил за ходом дел там, подталкивая разработчиков. Герман Алексеевич Барановский в свое время работал у Михаила Ивановича Борисенко, был ведущим по разработке передатчика для системы БРК-2. Так что Михаил Иванович был в курсе дел по системе «Вега». Собственно говоря, приоритет в создании системы, использующей фазовые измерения, должен принадлежать Барановскому: в системе радиоуправления, разработанной в отделе Борисенко, в части фазовых измерений заложены те же решения, которые использовались в системе «Вега». Так что Герман Алексеевич Барановский по праву должен был бы считаться соавтором этой системы радиоуправления. Но это не отнимает огромных заслуг Борисенко в создании фазовой системы радиоуправления. Большая заслуга Борисенко, в частности, в том, что, используя появление полупроводниковой элементной базы, он ввел вместо аналогового счетно-решающего устройства цифровую вычислительную машину (ЦВМ). Главной же его заслугой является то, что он смог сплотить вокруг этой новой задачи и свою «гвардию», и «рядовых» сотрудников, ставших на «ударную вахту», и сумел в рамках одного своего отдела решить эту сложную задачу в очень короткий срок.

Название «фазовая» не совсем полно отражает содержание этой системы радиоуправления: помимо фазовых измерений она использует и импульсную радиолинию измерения дальности и доплеровский принцип измерения радиальной скорости. Фазовые измерения просто представляют основной отличительный признак этой системы.

Переход от импульсной системы к системе, использующей фазовые измерения в сантиметровом диапазоне волн, радикально изменяет облик всей системы. Даже при погрешности фазовых измерений ~ 10° фазы при использовании 4-х сантиметрового диапазона волн погрешность определения разности дальностей по соответствующей разности фаз не превзойдет единицы мм, для импульсной же системы она составляет десятки метров. Это позволлило без проигрыша в точности сократить базу между антеннами с сотен км, как это имеет место для импульсной системы, до сотен метров при измерении угловой скорости и до единиц метров при определении направления. А это позволяет компактно разместить всю наземную аппаратуру системы радиоуправления в районе старта ракет (в сантиметровом диапазоне влияние газовой струи не накладывает ограничения на ее расположение).

Фазовая система при использовании двух ортогональных баз позволяет определить не только боковое отклонение линии визирования ракеты от плоскости стрельбы, но и положение линии визи-

рования в пространстве, что дает возможность исключить из этой системы радиопеленгатор, необходимый в системе радиоуправления, разработанной для ракеты Р-7.

Дополнение фазовой системы доплеровской системой измерения радиальной скорости (в 3-х сантиметровом диапазоне) и импульсной системой измерения дальности позволяет получить отклонения от программных значений всех 6-ти параметров движения центра масс ракеты (по всем трем составляющим координат и скорости ракеты). Наличие ЦВМ позволяет выработать требуемые команды управления, строго учитывая значения всех 6-ти измеряемых параметров.

4.2. Фазовый метод определения направления на ракету и угловой скорости линии визирования ракеты

Фазовая система определения направления на ракету и угловой скорости его изменения использует ответный сигнал радиолинии измерения доплеровского смещения частоты (см. 4.3), имеющий длину волны ~ 4,3 см.

Для обеспечения требуемой точности измерения угловой скорости линии визирования ракеты используются две ортогональные горизонтальные базы между наземными приемными устройствами, равные 400 м. Для угломерных измерений используются ортогональные базы, длиною в несколько метров.

Начнем с рассмотрения угломерных измерений. Воспользуемся известным соотношением между разностью дальностей до антенн ΔR и углом α между базой и направлением на ракету (рис. 9),

$$\Delta R = d \cos \alpha, \tag{1}$$

справедливым при условии, что база d, много меньше расстояния до ракеты R.

Отсюда следует, что знание разности дальностей ΔR для двух ортогональных баз совместим с ними оси OX и $OУ$ декартовой системы координат (рис. 10), позволяет определить направляющие косинусы направления на ракету относительно этих баз $\cos \alpha_x$, $\cos \alpha_y$.

А значения направляющих косинусов относительно двух осей данной системы координат однозначно определяет направление на ракету, поскольку между направляющими косинусами существует связь:

$$\cos^2 \alpha_x + \cos^2 \alpha_y + \cos^2 \alpha_z = 1.$$

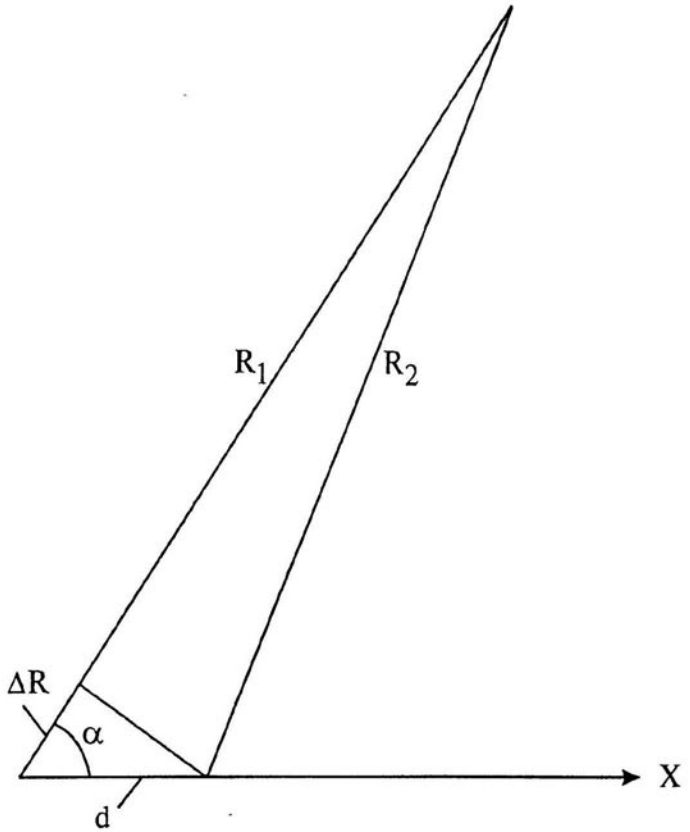


Рис. 9

Разность расстояний связана с разностью фаз сигналов, принимаемых на концах базы d, соотношением:

$$\Delta\varphi = \left(\frac{\Delta R}{\lambda}\right)_{\text{mod } 1}, \qquad (2)$$

где $\Delta\varphi$ — разность дольных (не учитывающих целое число периодов) значений фазы сигналов в долях периода, отвечающая одновременным их отсчетам на концах базы (приемники могут однозначно фиксировать только значения дольных фаз).

Одновременность сравниваемых отсчетов фазы обеспечивается за счет равенства электрических длин кабелей, по которым отсчеты фаз поступают на ЦВМ. Возможное расхождение длин кабелей учитывается поправкой, вырабатываемой при предстартовой калибровке системы.

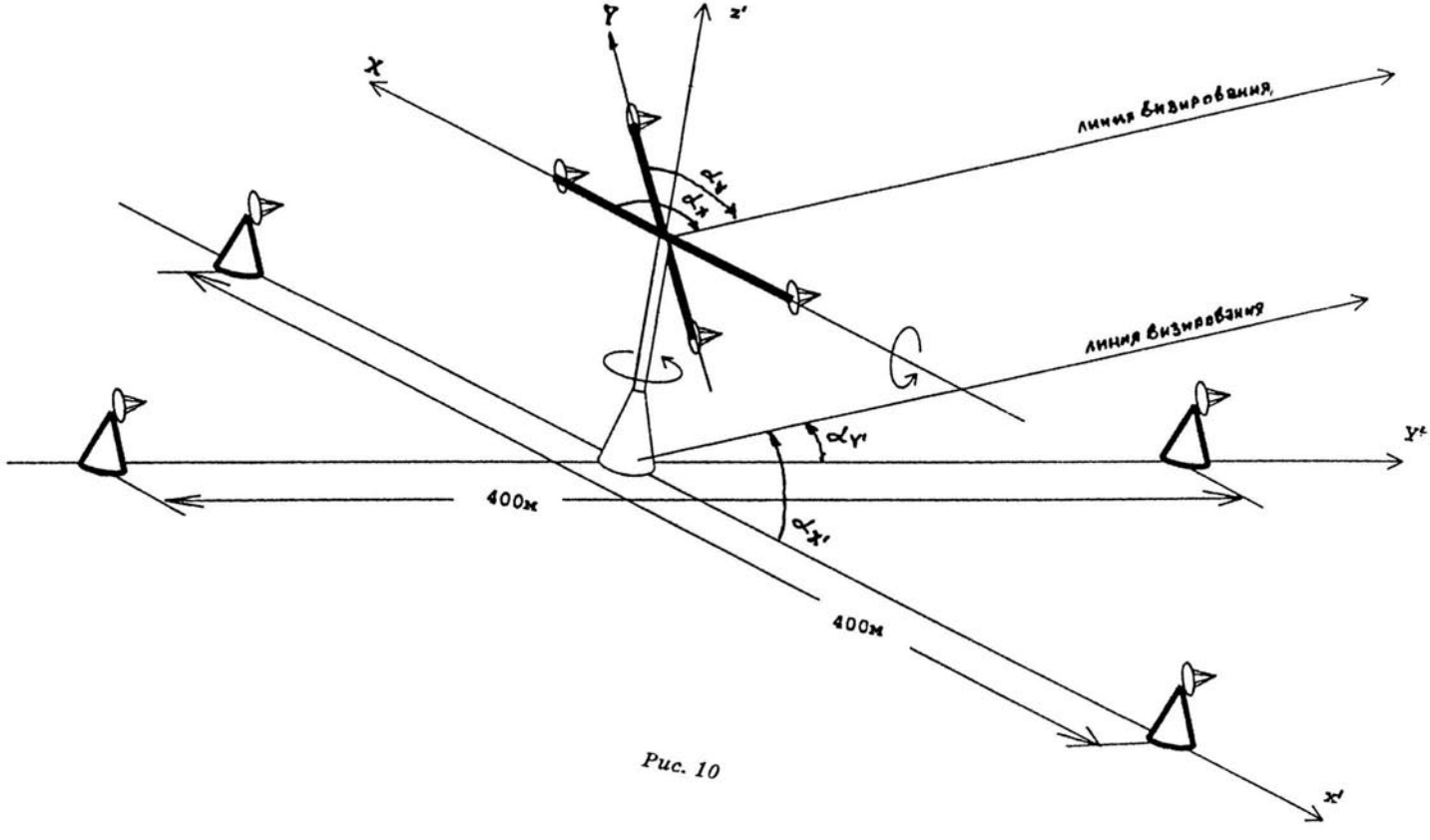

Y
z'
X
линия визирования
линия визирования
$\alpha_{Y'}$
$\alpha_{X'}$
400м
400м
y'
x'

Рис. 10

Из (2) следует, что зона однозначности определения разностей дальностей по отсчетам разностей фаз составляет величину $\lambda = 4{,}3$ см. Соответствующая зона однозначности определения направления на ракету при перпендикулярной к нему ориентации баз составит $\frac{\lambda}{d}$ рад. Эта зона однозначности тем шире, чем короче база d. Но с другой стороны из (1) следует, что погрешность определения угла α между направлением на ракету и базой d равна:

$$\delta\alpha = -\frac{\delta(\Delta R)}{d \sin\alpha} = +\frac{\lambda\delta(\Delta\varphi)}{d \sin\alpha} \text{ рад},$$

где $\delta(\Delta R)$ — погрешность определения разности дальностей по измеренному значению разности фаз;

$\delta(\Delta\varphi)$ — погрешность определения разности фаз сигналов, принятых на концах базы d.

Смена знака перед $\delta(\Delta\varphi)$ связана с тем, что ΔR и $\Delta\varphi$ противоположны по знаку.

В нашем случае, когда $\alpha \approx 90^\circ$ (базы ориентируются перпендикулярно направлению на ракету)

$$\delta\alpha = \frac{\lambda\delta(\Delta\varphi)}{d} \text{ рад}. \qquad (3)$$

Таким образом получаются противоречивые условия: для повышения точности определения направления на ракету база должна выбираться, по-возможности, длинной, но для соблюдения однозначности измерений она ограничена величиной, при которой зона однозначности фазовых измерений, составляющая 1 период фазы, заведомо перекрывает ширину трубки траекторий, гарантируемую автономной системой. Первоначально из-за отсутствия достоверных данных о ширине трубки траекторий, гарантируемой автономной системой управления, для выполнения обоих этих условий рассматривался вариант с использованием двух баз как для азимутальных, так и для угломестных измерений.

Рассмотрим более детально точность и условия раскрытия неоднозначности определения направления на ракету применительно к использованию двух баз.

Для обеспечения однозначности определения направления на ракету необходимо, чтобы погрешность определения разности дальностей с использованием более грубой (более короткой) базы сужала зону неопределенности направления на ракету до пределов, обеспечивающих однозначность определения направления на ракету с использованием следующей, более длинной базы.

Требования к исходной «трубке траекторий» (относительно программной траектории), обеспечиваемой автономной системой, для однозначности определения направления на ракету с использованием самой короткой базы получаются из условия

$$\left|\delta\left(\cos\alpha_{\text{апр}}\right)\right| < \frac{\lambda}{2d_1}, \tag{4}$$

где d_1 — длина самой короткой базы;

$\cos\alpha_{\text{апр}}$ — априорное значение направляющего косинуса направления на спутник относительно базы d_1, определяемое для программной траектории;

$\delta\left(\cos\alpha_{\text{апр}}\right)$ — погрешность априорного значения направляющего косинуса, максимальная величина которой определяется радиусом «трубки» траекторий.

Из условия (4) следует, что требование к «трубке траекторий», обеспечиваемой автономной системой, для однозначности измерений на базе d_1 определяется условием:

$$\left|\delta\,\alpha_{\text{апр}}\right| \le \frac{\lambda}{2d_1\left|\sin\alpha\right|} \approx \frac{\lambda}{2d_1}, \tag{4а}$$

т.к. $\alpha \approx 90^{\circ}$.

Однозначное определение направляющего косинуса $\cos\alpha^{(1)}$ с использованием базы d_1 при выполнении условия (4а) осуществляется по формуле:

$$\cos\alpha^{(1)} = \frac{\lambda}{d_1}\left(\left(\left(\frac{d_1\cos\alpha_{\text{апр}}}{\lambda} + \Delta\varphi^{(1)}\right)_{\text{окр}} - \Delta\varphi^{(1)}\right)\right), \tag{5}$$

(при рассмотрении знаков в (5) надо учитывать, что $\Delta\varphi$ и ΔR противоположны по знаку).

В формуле (5) член $\dfrac{d_1\cos\alpha_{\text{апр}}}{\lambda}$ с точностью до погрешности, вносимой в значение $\cos\alpha_{\text{апр}}$ отклонением истинной траектории от программной, определяет полное значение разности дальностей в длинах волны, включая и дробную ее часть. Поправка $+\Delta\varphi^{(1)}$ компенсирует дробную часть для истинного значения разности дальностей, измеряемой в длинах волны. Если выполняется условие (4а), отклонение истинной траектории от программной внесет в округляемое в (5) число погрешность менее 0,5, и после округления получим истинное значение целочисленной составляющей разности дальностей. Добавление величины $-\Delta\varphi^{(1)}$, отображаю-

щей дробную ее часть, дает полное ее значение с точностью до погрешности измерения разности фаз $\delta(\Delta\varphi^{(1)})$.

Погрешность определения направления на ракету (угла α) будет при этом определяться только погрешностью измерения разности фаз $\delta(\delta\varphi)$ и согласно (3) составит $\delta\alpha = \dfrac{\lambda\,\delta(\Delta\varphi)}{d_1}$.

Аналогично получим более точную оценку направляющего косинуса с использованием фазовых измерений на базе d_2.

$$\cos\alpha^{(2)} = \frac{\lambda}{d_2}\left(\left(\frac{d_2\cos\alpha^{(1)}}{\lambda} + \Delta\varphi^{(2)}\right)_{\text{окр}} - \Delta\varphi^{(2)}\right). \qquad (6)$$

Условие однозначности при этом имеет вид:

$$\delta\cos\alpha^{(1)} = \frac{\lambda\,\delta(\Delta\varphi^{(1)})}{d_1} < \frac{\lambda}{2d_2}, \quad \text{т.е. } \delta(\Delta\varphi^{(1)}) < \frac{d_1}{2d_2} \qquad (7)$$

(фаза всюду определяется в долях периода).

Погрешность определения направляющего косинуса $\cos\alpha^{(1)}$ определяется только погрешностями измерения разности фаз на базе d_2.

Опыт, накопленный при испытаниях ракеты Р-7, показал, что автономная аппаратура гарантирует ширину трубки траекторий, существенно меньшую 0,5° (максимальное отклонение от программной траектории $< \pm 0{,}25°$). Это позволило отказаться от дополнительной короткой базы и использовать единственную базу, обеспечивающую и условия однозначности, и приемлемую точность измерений. В окончательном варианте для угломерной системы были приняты следующие размеры баз: для азимутальных измерений (горизонтальная база) — 5 м, для угломестных измерений — 2,4 м. Антенны, определяющие эти базы располагаются на фермах, образующих крест (рис. 9). Крестообразная ферма ориентирутся перпендикулярно направлению на ракету для конца активного участка программной траектории. (Рис. 10 не отображает конструкцию угломерной системы, а представляет лишь схему, поясняющую принцип ее работы).

Для определения направляющих косинусов при использовании единственной базы используется формула (5).

Условия однозначности измерений при этих значениях баз будут соблюдаться при размерах трубки траекторий, меньших 0,5° по азимуту и 1° по углу места, что гарантированно обеспечивается автономной системой управления. Погрешность определения значений углов между направлением на ракету и соответствующими базами, определяемая формулой (3), при погрешности измерения разности фаз, не превышающей $\approx 10°$ фазы, составит менее 20″ для азимутальной базы и менее 40″ для угломестной базы. При расстоянии до конца активного участка траекто-

рии в пределах 300 км это приведет к ошибкам определения координат в конце активного участка, меньшим 100 м в боковом направлении и 200 м по нормали к направлению на ракету в плоскости стрельбы. При баллистических производных для этих погрешностей, составляющих не более нескольких единиц, это внесет в ошибку стрельбы составляющую в пределах сотен метров.

Направляющие косинусы, определяемые по формуле (5), относятся к системе координат, оси которой совпадают с базами, расположенными на крестообразной ферме (рис. 10). Ориентация этой фермы выставляется в зависимости от траектории стрельбы. Крестообразная ферма наводится в заданном направлении с высокой точностью (правильнее говорить о точности определения ее фактической ориентации после наведения с использованием современных геодезических средств и методик). Точность наведения крестообразной фермы нужна не для придания ей ориентации, строго направленной по оси трубки траекторий, (это вообще невозможно, т.к. траектория на участке управления не прямолинейна, и тут важно лишь, чтобы «трубка траекторий» перекрывалась диаграммой направленности антенны), а для строгого определения ориентации системы координат, в которой осуществляются угломерные измерения. Направление же на ось трубки траекторий задается в этой системе координат направляющим косинусом $\cos\alpha_{\text{апр}}$, отвечающим программной траектории. Итак, ориентация системы координат, связанной с крестообразной фермой, относительно системы координат, определяемой двумя ортогональными 400-метровыми базами строго известна. Это позволяет пересчитать в это систему координат значения направляющих косинусов, полученные по формуле (5) для системы координат, связанной с крестообразной фермой.

Угловая скорость линии визирования ракеты определяется по результатам фазовых измерений на 400-метровых базах. Раскрытие неоднозначности при этом не требуется. Из формул (1) и (2) получим:

$$\cos\alpha_{x'}(t) = -\frac{\lambda\,\Delta\Phi_{x'}(t)}{D},$$

где D — длина 400-метровой базы;

$\Delta\Phi_{x'}(t)$ — разность полных фаз (включающих и целочисленную составляющую, отвечающую целой части отношения $\Delta R/\lambda$) при измерениях на базе, совпадающей с осью OX' ($\lambda\,\Delta\Phi_{x'}(t) = -\Delta R_{x'}$).

Дифференцируя обе части этого равенства, получим:

$$\dot{\alpha}_{x'}(t) = \frac{\lambda\,\dot{\Phi}_{x'}(t)}{D\sin\alpha_{x'}}, \qquad (9)$$

где $\sin\alpha_{x'}$ — определяется по результатам угломерных измерений, пересчитанным в в систему координат $ox'y'z'$, образуемую 400-метровыми базами.

Для оценки $\dot{\Phi}(t)$ можно воспользоваться измерением приращений разности полных фаз $\Delta\Phi$ за фиксированный мерный интервал (оценка привязывается к середине этого мерного интервала). Приращения фаз измеряются однозначно.

Аналогично определяется производная $\dot{\alpha}_{y'}$, дающая скорость изменения угла между линией визирования ракеты и осью oy' системы координат $ox'y'z'$.

Для определения производной $\dot{\alpha}_{z'}$, характеризующей скорость изменения угла между линией визирования ракеты и вертикальной осью координат oz' воспользуемся известным соотношением между направляющими косинусами:

$$\cos^2 \alpha_{x'} + \cos^2 \alpha_{y'} + \cos^2 \alpha_{z'} = 1.$$

Дифференцируя его, получим:

$$\sin 2\alpha_{x'} \cdot \dot{\alpha}_{x'} + \cos 2\alpha_{y'} \cdot \dot{\alpha}_{y'} + \cos 2\alpha_{z'} \cdot \dot{\alpha}_{z'} = 0,$$

откуда

$$\dot{\alpha}_{z'} = \frac{\sin 2\alpha_{x'} \cdot \dot{\alpha}_{x'} + \sin 2\alpha_{y'} \cdot \dot{\alpha}_{y'}}{\sin 2\alpha_{z'}}.$$

Зная скорости изменения угла между линией визирования ракеты и осями ox', oy' и oz' системы координат, образуемой 400-метровыми базами, и направление линии визирования в этой системе координат можно определить вектор угловой скорости линии визирования.

Из формулы (9) видно, что точность определения соответствующей составляющей угловой скорости линии визирования ракеты зависит от угла между 400-метровой базой и направлением на ракету. Максимальная точность будет при направлении на ракету, перпендикулярном базе ($\sin \alpha_{x'} = 1$), наихудшая — при совпадении азимута направления на ракету с направлением 400-метровой базы. В последнем случае $\alpha_{x'}$) принимает минимальное значение, равное углу места ракеты β (поскольку $\beta > 30^\circ$ это ухудшение точности будет меньше, чем вдвое).

Все рассмотренные выше операции по определению ориентации линии визирования и угловой скорости последней, начиная с определения разностей фаз для различных баз, реализуются в системе обработки данных (СОД), использующей ЦВМ. Со всех приемников фазовой системы в СОД поступают только непосредственно получаемые в них отсчеты фаз.

4.3. Измерение радиальной скорости.

Измерение радиальной скорости основывается на использовании эффекта Доплера. Наземным передающим устройством излучается непрерывный сигнал в диапазоне ~ 3,2см. Принятый на борту сигнал подвергается когерентному преобразованию частоты в отношении 4 к 3-м и на преобразованной частоте излучается бортовым передатчиком (этот же сигнал используется в системе фазовых измерений). Ответный сигнал с длиной волны ~ 4,3см принимается наземным приемником, и выделяется частота биений ответного и подвергнутого тому же преобразованию частоты запросного сигнала, определяемая эффектом Доплера. Доплеровская частота в данном случае будет равна:

$$F_q = \frac{|\dot{R}|}{C}\left(f_з + \frac{3}{4} f_з\right) = \frac{7}{4}\frac{|\dot{R}|}{C} f_з \,, \qquad (10)$$

где C — скорость распространения радиоволн;

$f_з$ — частота запросного сигнала (коэффициент $\frac{7}{4}$ определяется тем, что эффект Доплера при распространении ответного сигнала определяется частотой этого сигнала).

Из (10) получим:

$$\dot{R} = \frac{4}{7} C \frac{F_q}{f_з} \,. \qquad (11)$$

Знак $\dot{R}$ в данном случае заведомо положителен.

Для межконтинентальных ракет радиальная скорость не превосходит значение ~ 7000 м/с и соответственно доплеровская частота $F_д$ не превосходит ~400кГц. Это позволяет измерять доплеровскую частоту счетом на мерном интервале в 1 сек импульсов, привязанных к переходу сигналов доплеровского смещения через нуль в положительном направлении (этот отсчет осуществляется в СОД'е, куда поступает гармонический сигнал доплеровского смещения частоты).

Ошибка дискретности при этом не превосходит $\frac{4}{7}\lambda_з \frac{см}{с} \approx 1{,}8 \frac{см}{с}$.

4.4. Радиолиния измерения дальности и передачи команд управления

Для измерения дальности используются импульсные сигналы. Эта же радиолиния используется для передачи команд управле-

ния. Радиолиния измерения дальности включает наземный передатчик с кодирующим устройством (для обеспечения помехозащищенности запросный и ответный сигналы в радиолинии измерения дальности и команды управления передаются четырехимпульсными кодами), бортовое приемное устройство с декодирующим устройством, бортовой передатчик ответного сигнала с кодирующим устройством и наземное приемное устройство с соответствующим декодирующим устройством. Дальность определяется временным интервалом τ между моментами излучения запросного сигнала и приема ответного сигнала:

$$R = \frac{1}{2} C\tau. \tag{12}$$

Импульсы, отвечающие моментам запроса и приема ответного сигнала поступают в СОД, где и происходит отсчет интервала τ и определение дальности.

Команды управления, поступающие на наземный передатчик из СОД, передаются соответствующими каждой из команд кодами.

Знание дальности и ориентации линии визирования позволяет определить текущие значения координат ракеты, а дальность и угловая скорость линии визирования позволяют определить составляющие скорости ракеты в направлениях, перпендикулярных линии визирования. Таким образом обеспечивается определение всех 6-ти параметров движения ракеты: трех координат и трех составляющих скорости.

4.5. Система обработки данных (СОД)

Система обработки данных включает ЦВМ и устройства, обеспечивающие приведение поступающих от приемников сигналов (отсчетов фазы, доплеровского смещения частоты, запросного и ответного сигналов радиолинии измерения дальности) в цифровые аналоги измеряемых параметров: разности фаз, доплеровской частоты, времени распространения сигнала τ. По полученным в цифровой форме значениям непосредственно измеряемых параметров в ЦВМ определяются значения координат и составляющих скорости ракеты на текущий момент времени, их отклонения от определяемых ЦВМ значений этих параметров, отвечающих программной траектории активного участка полета ракеты. По полученным значениям этих отклонений определяются соответствующие команды управления.

Управление ракетой заключается в коррекции параметров ее движения к концу активного участка к значениям, отвечающим

одной из «попадающих траекторий» («жесткое» управление, ставящее своей задачей возвращение к программным значениям всех параметров движения ракеты никогда не используется — оно неэкономно и проигрывает в точности). В принципе знание текущих значений всех 6-ти параметров движения ракеты позволяет определить координаты точки падения в случае выключения двигателя в этот момент:

$$Z(t) = F_1(R(t),\ n(t),\ z(t),\ \dot{R}(t),\ \dot{n}(t),\ \dot{z}(t)), \tag{13}$$

$$L(t) = F_2(R(t),\ n(t),\ z(t),\ \dot{R}(t),\ \dot{n}(t),\ \dot{z}(t)), \tag{14}$$

где $Z(t)$ и $L(t)$ — боковое отклонение и дальность точки падения в случае выключения двигателя в момент t;

$n(t)$ — координата по нормали к линии визирования в плоскости стрельбы;

$z(t)$ — боковое отклонение от программной траектории.

Удобнее однако воспользоваться не самими функциями $Z(t)$ и $L(t)$, а их разложениями по отклонениям параметров движения ракеты от программных значений (относительная узость «трубки траекторий», удерживаемой автономной системой, позволяет ограничиться линейными членами разложений). Текущие значения отклонений функций $Z(t)$ и $L(t)$ от значений, отвечающих заданной цели, будут определяться линейными членами этого разложения:

$$\Delta Z(t) = \left(\frac{\partial Z}{\partial R}\right)_{\text{гк}} \Delta R(t) + \left(\frac{\partial Z}{\partial n}\right)_{\text{гк}} \Delta n(t) + \left(\frac{\partial Z}{\partial z}\right)_{\text{гк}} \Delta z(t) + \\ + \left(\frac{\partial Z}{\partial \dot{R}}\right)_{\text{гк}} \Delta \dot{R}(t) + \left(\frac{\partial Z}{\partial \dot{n}}\right)_{\text{гк}} \Delta \dot{n}(t) + \left(\frac{\partial Z}{\partial \dot{z}}\right)_{\text{гк}} \Delta \dot{z}(t); \tag{15}$$

$$\Delta L(t) = \left(\frac{\partial L}{\partial R}\right)_{\text{гк}} \Delta R(t) + \left(\frac{\partial L}{\partial n}\right)_{\text{гк}} \Delta n(t) + \left(\frac{\partial L}{\partial z}\right)_{\text{гк}} \Delta z(t) + \\ + \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{R}}\right)_{\text{гк}} \Delta \dot{R}(t) + \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{n}}\right)_{\text{гк}} \Delta \dot{n}(t) + \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{z}}\right)_{\text{гк}} \Delta \dot{z}(t), \tag{16}$$

где производные от координат точки падения по текущим значениям измеряемых параметров приняты для программной траектории на момент выдачи главной команды на выключение двигателя (их называют баллистическими производными).

Наличие ЦВМ позволяет без труда реализовать вычисления по формулам (15) и (16), учитывающим все 6 измеряемых параметров.

Формула (15) дает значения $\Delta Z(t)$ в предположении, что отклонения координат и составляющих скорости от программных значений на текущий момент времени сохраняют свои значения до момента выключения двигателя. Исходя из этих значений и определяются команды бокового управления. Изменение этих отклонений при последующих отсчетах учитывается очередными значениями этих команд. В формуле (15) участвуют и параметры движения в плоскости стрельбы. Дело в том, что для межконтинентальных ракет надо считаться с вращением Земли, вклад которого зависит от времени полета ракеты, которое для разных «попадающих» траекторий будет различным. Сохранены все члены и в формуле (16). Баллистические производные расчитываются заранее. Они входят в полетное задание и вводятся в ЦВМ. В зависимости от знака $\Delta Z(t)$ на данный момент времени выдается «правая» или «левая» команды. Как и в системе радиоуправления ракеты Р-7 предусматриваются три уровня команды: «большая», «малая» и «нулевая». Каждому из этих трех уровней команд отвечает соответствующее пороговое значение модуля величины $\Delta Z(t)$.

Дальность полета ракеты, независимо от возможных изменений остальных параметров ее движения, монотонно увеличивается по мере увеличения ее скорости при движении на активном участке траектории, и управление дальностью сводится к тому, чтобы выключить двигатель в момент, когда $L(t)$ примет требуемое значение (а $\Delta L(t)$ достигнет нулевого значения). При управлении дальностью, как и в системе радиоуправления ракеты Р-7, выдаются команды «Предварительная» и «Главная». По «Предварительной» команде двигатель ракеты переходит на малую тягу, а по «Главной» происходит полное выключение двигателя. Выдача предварительной команды производится при достижении величиной $\Delta L(t)$ заданного полетным заданием малого отрицательного значения. С учетом импульса последействия на малой тяге и выдача «главной» команды происходит не при $\Delta L(t)=0$, а при некотором отрицательном ее значении, учитывающем среднее значение импульса последствия.

4.6.Испытания фазовой системы в режиме датчика при запуске первого космического корабля с космонавтом на борту

К концу 1960 г. разработка фазовой системы радиоуправления и ее испытания в стендовых условиях были закончены. Михаилу Ивановичу Борисенко удалось договориться с Сергеем Павловичем Королевым о размещении бортовой аппаратуры фазовой системы радиоуправления на ракете Р-7, предназначенной для запуска первого космического корабля с космонавтом на борту. Это позволяло испытать систему в реальных условиях ее работы с единственным исключением: фазовая система не выдает команды управления на борт ракеты, а управление последней осуществляет штатная импульсная система радиоуправления ракетой Р-7. Так что фазовая система не проверялась по отклонению точки падения головной части ракеты от цели (да в данном случае и головной части, и точки ее падения не было — головную часть заменил космический корабль), но поскольку выработка всех команд управления осуществлялась на земле, это позволяло оценить работу в реальных условиях всех приборов и системы в целом. При этом проверялся и канал передачи команд управления, поскольку с борта ракеты по ответной линии канала измерения дальности поступали «квитанции» о прохождении соответствующих команд, только эти команды не поступали в контур управления боковым движением ракеты и на выключение двигателя.

Как известно, запуск космического корабля с первым космонавтом — Юрием Алексеевичем Гагариным на борту состоялся 12 апреля 1961 г. Мне довелось присутствовать при испытаниях фазовой системы и (в качестве простого наблюдателя) при запуске первого космического корабля с космонавтом Юрием Гагариным. Расскажу о нем еще и потому, что «героем» этого запуска оказалась система радиоуправления (не фазовая, а штатная).

Это был праздник. Праздничным было все: и наше настроение (правда, с примесью тревоги, и только после успеха ликование вырвалось наружу), и сама природа. Был теплый солнечный день. Степь в окрестности стартовой площадки была сплошь усеяна красными тюльпанами. Я наблюдал пуск с площадки измерительного пункта, расположенного в нескольких сотнях метров от старта. Рядом находились все космонавты из первой команды кроме Гагарина и Титова (Титов, как дублер Гагарина, должен был дежурить на старте в полной готовности заменить его в случае необходимости). Не было, правда, Терешковой. Все они были практически одинакового (ниже среднего) роста, стройные молодые ребята. Как всегда рядом с ними, словно дядька Черномор, был гене-

рал-лейтенант Каманин — один из первых Героев Советского Союза, летчиков, спасавших челюскинцев (с них и начался счет Героев Советского Союза). Запуск ракеты Р-7 представляет феерическое зрелище. Бурное облако огня, из которого медленно, плавно выплывает ракета, постепенно набирающая скорость. Сначала она поднимается вертикально, потом постепенно разворачивается, оставляя за собой устойчивый инверсионный след, обозначающий траекторию. Огненный хвост, образуемый струей горячих газов, выбрасываемых из пяти сопел двигателей, постепенно уменьшается в размерах, превращаясь сначала в звездочку, а затем в небольшое светлое пятнышко. А след от полета ракеты в безветренную погоду еще долго не рассеивался...

Все переговоры Гагарина с руководившим пуском Сергеем Павловичем Королевым транслировались на всю стартовую позицию с радиостанции «Заря» по громкой связи. И мы слышали все реплики Юрия Гагарина. Его знаменитое «Поехали» сразу после старта, затем «Чувствую перегрузку», «Прошла предварительная команда» (он ее почувствовал по резкому снижению перегрузки) и т.д. Голос — совершенно спокойный, никаких признаков волнения. Когда по громкой связи мы услышали: «Пуск прошел нормально», раздалось общее «Ура!»

Нормально отработала в режиме датчика и аппаратура фазовой системы радиоуправления.

Атмосфера всеобщего торжества для радистов была подпорчена «ложкой дегтя»: система радиоуправления ракетой Р-7 не выдала «Главную команду» на полное выключение двигателя. Это не повлекло за собой сколь-нибудь серьезных последствий: систему радиоуправления «подстраховала» автономная система, и, правда с небольшим запозданием, выдала «Главную команду». Кроме смещения точки приземления спускаемого аппарата с космонавтом ни к каким другим последствиям это привести не могло. Это единственный случай, когда дублирование системы радиоуправления дальностью автономной системой пригодилось. Но этот единственный случай во сто крат оправдал предусмотрительность разработчиков. Но все равно настроение у радистов было подпорчено. Лишь на следующий день после расшифровки пленок телеметрии выяснилось, что радисты тут ни при чем: подвели бортовые преобразователи тока (умформеры), от которых поступало электропитание на радиоприборы. Как раз перед моментом выдачи главной команды умформеры отказали. Умформеры разрабатывала и выпускала другая организация (ВНИИ электромеханики, главный конструктор А.Г.Иосифьян), так что вина была снята не только с радистов, но и с НИИ-885. Но об этом уже узнали только предста-

вители НИИ-885 и ВНИИ электромеханики, да еще телеметристы, а остальные пребывали в уверенности, что это была «ляпа» радистов (по традиции все члены экспедиции, кроме телеметристов и «провинившихся» разъезжались сразу после пуска). В результате и в книге Бориса Евсеевича Чертока вина за это возложена на радистов.

Первый полет космического корабля расчитывался на 1 виток вокруг Земли (это — примерно полтора часа полета). И все крупное начальство заспешило на самолет, чтобы во-время поспеть к месту приземления спускаемого аппарата. О всех остальных героях этого события крупное начальство в этой суете забыло, а могли бы по громкой связи хотя бы поздравить с успехом всех участников этой большой победы. Но «народ» не растерялся и отметил эту победу по-своему, благо дефицита в спирте не было.

Фазовая система радиоуправления была использована в составе ракеты Р-9 (8К75). Разработка этой ракеты в КБ С.П.Королева началась в 1959 г. Основное ее отличие от ракеты Р-7 — увеличение дальности стрельбы до 10÷12 тыс. км. Фазовая система радиоуправления была принята к эксплуатации в 1964 г. [2].

В дальнейшем фазовая система подверглась некоторой модернизации, касавшейся улучшения ее технико-эксплуатационных характеристик, а также согласования по конструктивным характеристикам бортовой аппаратуры с конструктивными данными межконтинентальных ракет 8К81 (ОКБ Главного конструктора В.Н.Чаломея) и 8К67 (ОКБ Главного конструктора М.Н.Янгеля), и предназначалась в качестве унифицированной системы радиоуправления для обеих этих ракет [2].

Сравнивать фазовую систему с импульсной системой радиоуправления ракетой Р-7 в категориях «лучше — хуже», «менее совершенная — более совершенная» — некорректно. Это системы, принадлежащие разным эпохам развития радиоэлектроники. Вторая половина 20-го века характеризуется таким бурным ее развитием, что, как в калейдоскопе, менялись эпохи ламповой техники, полупроводников, интегральных схем, больших интегральных схем (БИС), сверхбольших интегральных схем (СБИС) и т.д. За это время быстродействие ЦВМ повысилось, начиная с тактовой частоты в десятки килогерц до сотен мегагерц и даже до гигагерц. «Эпохи» электроники, в отличие от эпох общей истории, длящихся столетиями и тысячелетиями, отделяли годы. И хотя начало проектирования этих двух систем отделяло менее десяти лет, они принадлежат разным «эпохам» электроники. Если сравнивать эти

две системы, не учитывая исторический фон, то импульсная система по сравнению с фазовой системой будет выглядеть «динозавром». Но если поглядеть на импульсную систему глазами историка науки и оценивать ее как творение первой половины 50-х годов, в рамках категории импульсных систем, а не «абсолютной» категории, то она может предстать даже шедевром: ее разработчики проявили исключительную изобретательность и выжали из импульсных сигналов все возможное, добившись характеристик, которые ранее представлялись для этих сигналов немыслимыми.

Ну, а появившаяся несколько позднее фазовая система, используя возможности непрерывных сигналов, естественно, значительно превзошла импульсную систему и по чисто техническим, и по эксплуатационным и тактическим характеристикам.

При сравнении этих двух систем уместно не забывать и об известной русской пословице: «Дорого яичко к Христову дню».

В заключение этой главы хочу перечислить основных разработчиков фазовой системы, которых сохранила память. Это — Белоусов Анатолий Владимирович, Пономарев Дмитрий Афанасьевич, Иванов Николай Емельянович, Найшуль Аркадий Бениаминович, Сергеев Борис Георгиевич, Лемберг Виктор Эфроимович, Тищенко Евгений Филиппович, Лаппо Вячеслав Иванович, Ястребов Владимир Сергеевич, Гришмановский Виктор Александрович, Розенман Евгений Аронович, Чигирев Ростислав Александрович, Волков Николай Михайлович, Шкловский Александр Петрович, Гриненко Иван Васильевич, Норвейшиц Игорь Анатольевич и др.

5
ЗАЛПОВАЯ СИСТЕМА РАДИОУПРАВЛЕНИЯ

Фазовая система радиоуправления по своим тактико- техническим характеристикам обладала значительными преимуществами перед импульсной: она обеспечивала измерение с высокой точностью всех 6-ти параметров движения ракеты (3-х координат и 3-х составляющих скорости) при компактном расположении наземной аппаратуры в районе старта. Но оставался один недостаток, вызывающий неудовлетворение военных: не обеспечивалась возможность обслуживания общим наземным пунктом радиоуправления залпа ракет, расположенных на данной боевой позиции. Вводить же на боевой позиции число пунктов радиоуправления, соответствующее числу стартовых позиций (шахт) было очень накладно. Необходимость залповой стрельбы диктовалась условиями противодействия ракет в случае их боевого использования: после обнаружения ракет противника, развязавшего ядерную войну, необходимо успеть выпустить все наши ракеты до того, как ракеты противника достигнут наших стартовых позиций, т.е. в считанные минуты. А доктрина использования межконтинентальных ракет рассматривала стартовые позиции ракет противника в качестве первоочередных целей, чтобы обезвредить их. Промышленники очень вяло реагировали на это требование военных и никаких конкретных работ для его выполнения не вели. За эту работу решил взяться я с небольшим коллективом научно-исследовательской лаборатории Военно-инженерной Академии им. Дзержинского, куда мне удалось перейти из военной приемки в июне 1962 г. При этом я воспользовался тем, что начальник Главного Управления ракетного вооружения (ГУРВО) генерал Мрыкин был в командировке и уговорил его заместителя Николая Николаевича Смирнитского, с которым был в хороших отношениях, отпустить меня в Академию. Это был перевод с большим понижением (с должности районного инженера на должность старшего научного сотрудника). Но я всегда, начиная еще с момента окончания Университета, стремился к научной работе. Война этому помешала. И вот теперь осуществлялась моя «голубая мечта».

Задача управления с единого наземного пункта залпом ракет показалась мне очень заманчивой, и я без труда уговорил начальника лаборатории Федора Степановича Петрова взять эту тему. Работа велась по договору с НИИП (теперь так назывался

НИИ-885). К этому времени институт стал чисто радиотехническим. Н.А. Пилюгин с автономной тематикой выделился в отдельный институт — НИИ Автоматических приборов (НИИАП), для которого на Юго-Западе Москвы в районе Зюзино были отстроены новые корпуса.

Мне пришла в голову очень простая идея, вытекавшая из свойств автономной и радиотехнической систем управления. Автономная система, обладающая накапливающейся ошибкой, способна поддерживать высокую точность определения приращений параметров движения за короткие интервалы времени. Поэтому нет необходимости использовать систему радиоуправления для коррекции траектории на значительном ее протяжении, а достаточно использовать ее одноразово для выработки команд, осуществляющих коррекцию автономной системы управления незадолго до конца активного участка траектории. При этом требовалось решить две главные задачи: отработать способ ввода коррекции в автономную систему и обеспечить такой порядок обслуживания общим наземным пунктом залпа ракет, чтобы кратковременный сеанс радиокоррекции для каждой из них приходился возможно ближе к концу активного участка, но непременно до него, за время, достаточное для завершения переходных процессов боковой радиокоррекции. Последняя задача относится к теории массового обслуживания.

Техническая сторона решения первой из этих задач не представляла особых трудностей. К этому времени для выработки команд управления в автономной системе также использовались ЦВМ, и реализация ввода в ЦВМ соответствующих коррекций не представляла труда. Нужно было только определиться с значением минимального интервала от момента ввода коррекции до выдачи команд на выключение двигателя, обеспечивающего окончание переходных процессов в боковом управлении после ввода команд радиокоррекции. Для этого было проведено моделирование (использовалась аналоговая модель). Был также разработан алгоритм, определявший оптимальную очередность работы наземного пункта радиоуправления с отдельными ракетами, и конкретная схема его реализации Предусматривалось, что запуск всех ракет будет производиться не строго одновременно, а с небольшими интервалами времени, но так, чтобы общий интервал времени на пуск всех ракет залпа составлял ~ 1 мин. Подключение выбранной ракеты к системе радиоуправления осуществляется передачей соответствующего кода по радиолинии выдачи команд. Этот код открывал ответные радиолинии только данной ракеты, остальные ракеты залпа на запросные сигналы не отзывались. Моменты старта каждой из ракет фиксировались в ЦВМ наземной аппаратуры радиоуправления. Предусматривалось двукратное проведение кратковре-

менных сеансов связи с каждой из ракет: предварительного сеанса для определения ожидаемого момента выдачи команд на выключение двигателя второй ступени и «рабочего сеанса» для выработки команд одноразовой радиокоррекции.

Выпущенный Академией отчет по этой НИР содержал все материалы, достаточные для практической реализации этого варианта залповой системы радиоуправления. Причем их реализация не требовала существенной переработки системы радиоуправления, и все эти предложения могли быть без труда внедрены в систему радиоуправления, разрабатывавшуюся в это время в НИИП. Эта система радиоуправления предназначалась для твердотопливной межконтинентальной ракеты Р2Т, разрабатывавшейся в КБ Сергея Павловича Королева.

В конце 1966 г. мы выслали в НИИП наш отчет по этой теме.

Реакцию НИИП на этот отчет удалось выяснить не сразу, и то не в связи с отчетом, а в связи с докторской диссертацией, которую я посвятил залповой системе радиоуправления. Естественно, что при направлении диссертации на отзыв в качестве ведущего предприятия был выбран НИИП. Пришли уже очень хорошие отзывы от всех трех оппонентов. Отзыв же из НИИП не поступал подозрительно долго. Я позвонил Михаилу Ивановичу Борисенко, чтобы выяснить, с чем связана такая задержка. Он сказал: «Приезжай, надо поговорить». Когда я приехал к нему, он сказал: «Сейчас соберу свою «гвардию» и все обсудим». Собралась «гвардия»: это — начальники отделов (отдел Борисенко перерос уже в отделение) и некоторые начальники лабораторий, составляющие «мозг» отделения. Михаил Иванович, не стесняясь моего присутствия, обратился к ним с вступительной речью, в которой сказал буквально следующее: «Мы должны решить, даем ли мы Липкину блестящий положительный отзыв или же отрицательный отзыв. Если дадим положительный отзыв, то мы расписываемся в том, что весь наш коллектив не смог сделать то, что оказалось под силу одному Липкину». На мою реплику: «Михаил Иванович, но ведь отрицательный отзыв надо тебе обосновать, я ведь буду защищаться», он в присущей ему манере цинично ответил: «Мне доказывать ничего не надо, мне и так поверят». «Гвардия», однако, единогласно высказалась за положительный отзыв, а также за то, чтобы наши предложения по залповой системе вошли в эскизный проект системы радиоуправления для твердотопливной ракеты РТ-2.

Я думаю, что это был все-таки спектакль, конечно, не отрежиссированный, с искренними выступлениями «гвардейцев», но это был спектакль для одного зрителя, а положительное мнение Ми-

хаила Ивановича о диссертации было уже заранее готово. Отзыв действительно был прекрасный, моя защита прошла успешно, ученый совет проголосовал единогласно. В эскизный проект системы радиоуправления ракетой РТ-2 вошла залповая система, и на титульном листе головного тома эскизного проекта в числе исполнителей были перечислены представители Академии.

Помимо описанного выше варианта залповой системы радиоуправления, вошедшей в эскизный проект системы радиоуправления ракеты РТ-2, в моей докторской диссертации рассматривался и другой вариант, судьба которого поучительна и достаточно характерна для истории техники. Идея этого варианта состояла в том, чтобы и в наземной аппаратуре и на борту ракеты иметь атомные стандарты частоты. Каждая из антенн, образующих 400-метровые базы в существующей фазовой системе, излучала бы высокостабильные непрерывные сигналы. Предусматривалось частотное разделение сигналов, поступающих от разных антенн. Сигналы, поступающие в эти антенны, должны были формироваться, используя общий атомный эталон, имеющий частоту ~ 5 МГц, с разными коэффициентами ее умножения (подобное частотное разделение сигналов, поступающих от разных спутников, используется сейчас в навигационной спутниковой системе «Глонасс»). На борту ракеты с использованием такого же атомного стандарта предусматривалось формирование тех же 4-х частот (с точностью до расхождения частот наземного и бортового эталонов). Разность частот соответствующих принятых и местных сигналов с очень высокой степенью точности будет соответствовать доплеровскому смещению частоты (при расхождении эталонов на уровне $\sim 10^{-12}$ погрешность определения радиальной скорости из-за пренебрежения этим расхождением не превзойдет десятые доли мм/с). Интегрируя значения радиальной скорости, получим значения приращений соответствующих дальностей после старта ракеты (начальные их значения отвечают удалениям антенн от старта). При длительности полета ракеты на активном участке ~ 300 сек. погрешность определения приращений дальности, накапливающаяся за это время из-за расхождения частот атомных эталонов, не превзойдет ~ 0,1 м. Знание дальностей и радиальных скоростей ракеты относительно антенн, образующих базы, позволяет определить с высокой точностью координаты и составляющие скорости ракеты. При этом отпадает задача раскрытия неоднозначности, отпадает потребность в угломерном устройстве, не нужна специальная дальномерная линия и командная линия (вся обработка информации происходит на борту ракеты). Система может обслуживать залп неограниченного числа ракет в секторе стрельбы, перекрываемом диаграммами

направленности наземных антенн. Все идеально, но... при условии наличия на борту каждой ракеты атомного стандарта частоты. А это представлялось «голубой мечтой», осуществимой разве в отдаленном будущем.

Оказывается однако, что описанная выше система могла бы работать с использованием на ракете кварцевых генераторов, настроенных на частоту наземного эталона. Для этого нужно было «только», как в спутниковых навигационных системах, дополнить неизвестные значения 3-х координат и 3-х составляющих скорости ракеты четвертыми неизвестными — общими для всех 4-х каналов искажениями приращений дальности и значений радиальной скорости из-за расхождения частот наземного атомного стандарта и бортового кварцевого генератора (при использовании 4-х антенн получаются полные системы 4-х уравнений с 4-мя неизвестными). Но эти мысли пришли уже через 10 лет после написания диссертации, и навеяны они были знанием спутниковых навигационных систем, которыми я в это время занимался. В своей же диссертации я до этой возможности не додумался, и наличие на борту ракеты атомного стандарта частоты являлось одной из центральных ее идей. С появлением же спутниковых навигационных систем этот «красивый» вариант залповой системы терял всякий смысл: спутниковые системы могли решать ту же задачу одновременно для любого числа ракет при расположении их стартовых позиций в любых регионах и при любых направлениях стрельбы.

Но и нашей победе с первым вариантом «залповой системы» радоваться пришлось недолго.

Испытания ракеты РТ-2 шли неуспешно (по вине твердотопливного двигателя), и она так и не была принята на вооружение (а ее судьбу автоматически разделила первая залповая система радиоуправления). Так что залповая система радиоуправления просуществовала только на страницах эскизного проекта и осталась нереализованной.

К этому времени начался «накат» на системы радиоуправления вообще, закончившийся отказом от их применения.

Возможно, этому способствовала одна фраза, высказанная первым лицом государства. Я, естественно, не был участником того высокого совещания, на котором она была произнесена, но располагаю абсолютно достоверной информацией по этому поводу. В приватной беседе мне об этом рассказал Николай Николаевич Смирнитский, бывший в то время начальником Главного управления ракетного вооружения МО (ГУРВО) и лично участвовавший в этом совещании. Сразу после описанного выше первого успеха с залповой системой радиоуправления при случайной встрече с Ни-

колаем Николаевичем я поинтересовался у него дальнейшими ее перспективами. Он сказал, что вообще дело идет к отказу от систем радиоуправления и к использованию чисто автономных систем, достигших за последнее время большого прогресса в точности. На это решение, по его мнению, в какой-то мере может повлиять фраза, высказанная Никитой Сергеевичем Хрущевым, звучавшая примерно так: нам незачем «выковыривать изюм» (имеются в виду ракетные шахты. — *И.Л.*), у нас достаточно ракет, чтобы накрыть всю территорию. Эта реплика Хрущева вряд ли была воспринята военным начальством как прямое указание к ликвидации систем радиоуправления. Но она нашла благодатную почву в их настроениях. И эти настроения невольно подготовили мы сами — радисты управления и военной приемки. Мы настолько часто (и справедливо) поднимали вопрос о повышении помехоустойчивости систем радиоуправления, что у нашего начальства уже на уровне «подкорок» четко врезалось сочетание слов «радиоуправление — низкая помехоустойчивость» без всяких дополнительных подробностей. Между тем, по крайней мере для того времени, помехозащищенность фазовой системы радиоуправления была достаточно высокой, и создание ей эффективных помех тогда вряд ли было возможно. А «изюм», конечно, «выковыривать» было необходимо. Автономные системы эту задачу обеспечить не могли, и система радиоуправления, конечно, еще пригодилась бы.

Вообще, вопрос о помехозащищенности радиотехнических систем и создании эффективных средств радиопомех — очень тонкий. Мне вспоминается интересный случай из моей практики, относящийся к концу 40-х годов. Я руководил тогда отделом 4-го Управления ГАУ, курировавшим разработки систем радиоуправления. Помехозащищенность систем радиоуправления была «гвоздем» во всех ТТЗ на их разработку. И вот, чтобы иметь «оружие» против разработчиков систем радиоуправления в жарких дискуссиях по этому вопросу, мы специально заказали ленинградскому НИИ-380 тему по созданию эффективных средств помех нашим системам радиоуправления. И что же получилось? Как мы ни критиковали наших разработчиков систем радиоуправления за недостаточную помехозащищенность последних, рекомендуемые НИИ-380 средства помех оказались против них недостаточно эффективными. И вообще в «войне» между системами радиоуправления и средствами радиопротиводействия при эффективном использовании всех ресурсов повышения помехозащищенности победа чаще была на стороне первых. В полной мере это относится к системе радиоуправления межконтинентальными ракетами в тот конкретный период.

Тем не менее, в конце 60-х гг. системы радиоуправления были сняты с вооружения, и все работы по системам радиоуправления ракетами дальнего действия были прекращены. Правда, говорить о каком-то реальном ущербе, нанесенном стране этим решением, нет смысла, поскольку кроме учебных и контрольных запусков ракет никаких других поводов для их использования не было.

Но уже в семидесятые годы стало окончательно ясно: «выковыривать изюм» надо обязательно. Уничтожение ракетных шахт противника — одна из основных задач «первого удара», а защита шахт достигла такого уровня, что для их уничтожения требуется попадание буквально рядом с шахтой. Автономные системы самостоятельно справиться с этой задачей не могли. На помощь должны были прийти другие, в том числе радиотехнические, средства. Поиски средств высокоточного наведения ракет на цель шли в разных направлениях: это и головки самонаведения (радиотехнические и оптические), и радиолокационные средства обзора земной поверхности с предварительной съемкой радиолокационных карт местности, и использование спутниковых навигационных систем. Над этой задачей работали и у нас и в США. Работал над одним из вариантов принципиально новой системы высокоточной радиокоррекции для одного из классов ракет и наш институт (я пишу «наш», т.к. в 1973 г. я уволился из Армии и уже в качестве гражданского лица вернулся в НИИП на должность начальника сектора). И мы успешно решили поставленную задачу. Так что аппаратура радиокоррекции в ракетной технике продолжает жить. Но это уже не история, а дела сегодняшние, и в этой книге рассказывать об этой системе еще не пришло время.

§ 6.1. Борис Михайлович Коноплев

Борис Михайлович Коноплев был Главным конструктором и идеологом системы радиоуправления первой межконтинентальной ракеты Р-7, а также Главным конструктором системы радиоуправления предшествовавшей ей ракеты Р-5, а в последний «харьковский период» — Главным конструктором системы управления ракеты Р-16.

Это был человек, сочетавший исключительный кругозор в области радиотехники с постоянным поиском новых оригинальных решений. Почему НИИ-20 МПСС вела НИР «Топаз» — поисковую работу для определения путей создания системы радиоуправления межконтинентальными ракетами? Ведь по существовавшему распределению обязанностей это была тематика НИИ-885 МПСС. Да только потому, что в НИИ-20 МПСС был Борис Михайлович Коноплев, которого сразу увлекла эта новая грандиозная задача. И к лету 1949 г. он с небольшим коллективом, увлекая своим энтузиазмом ряд ведущих ученых института из других подразделений, выпускает многотомный отчет по этой теме, охватывающий все стороны этой новой задачи, а в июне 1949 г. успешно защищает его на ученом совете в КБ Сергея Павловича Королева. Эти исследования легли в дальнейшем в основу при проектировании в НИИ-885 системы радиоуправления для первой межконтинентальной ракеты Р-7, а сам Борис Михайлович в апреле 1950 г. вместе со своим небольшим коллективом переходит в НИИ-885 и становится Главным конструктором этой системы. Обладая огромным авторитетом в кругу специалистов, он совершенно естественно вошел в новый коллектив, не испытав никакого намека на «отторжение» со стороны очень авторитетных, также обладающих высочайшей квалификацией «старожилов» этого коллектива. Его сразу приняли в качестве старшего. Правда, он никогда особо не подчер-

кивал свое «старшинство» — в науке ранги не действуют. Он легко сошелся с прежним руководителем этого коллектива Евгением Яковлевичем Богуславским, и они составили очень слаженный тандем, во многом дополняя друг друга.

В кругу подчиненных он не был конфликтен, но сам быть подчиненным он не умел и без оглядки на возможные последствия, если надо было отстоять свои позиции, шел на конфликт с влиятельными людьми (это и привело к сравнительно непродолжительному времени его работы в институте). Борис Михайлович был «генератором» идей, но и чужие идеи, если они того стоили, он охотно поддерживал. Находили с ним общий язык и военные: если они выдвигали обоснованные замечания, он их без излишних споров принимал.

Его отличали смелость при принятии технических решений, целеустремленность при их реализации. Корни его характера лежат в пройденном им жизненном пути: с юношеских лет он не искал в жизни легких путей и стремился быть там, где было интересно работать и можно было творить.

Борис Михайлович Коноплев родился 15 ноября 1912 г. в Петербурге. В 1931 г. окончил Московский политехникум связи им. Подбельского, а в 1932 г. — годичные курсы инженеров — преподавателей радиотехники для техникумов связи. Два года работал преподавателем и радиоинженером в Хабаровске и Владивостоке. В 1934-35 гг. участвовал в зимовке в Арктике, возглавлял строительство новой полярной станции Главсевморпути «Мыс Лескин» у Карского моря и был ее начальником. В 1936-37 гг. был начальником связи управления полярной авиации Главсевморпути, принимал активное участие в организации связи и радионавигационном обслуживании первой дрейфующей станции «Северный полюс», возглавлявшейся И.Д.Папаниным, а также в организации ряда арктических перелетов.

В 1937 г. поступил на физический факультет МГУ, но после окончания первых двух курсов вынужден был оставить университет (его семьи коснулись сталинские репрессии) и продолжал слушать в МГУ лекции по основным дисциплинам в качестве вольнослушателя.

В 1939-43 гг. Б.М.Коноплев заведывал лабораторией Института теоретической геофизики АН СССР (директор института — академик О.Ю.Шмидт). Там он разработал и изготовил опытный образец автоматической радиометерологической станции для работы в условиях Арктики, за что в 1946 г. был удостоен Сталинской премии 3-ей степени. В 1940-41 гг. в этой же лаборатории под его

руководством разработаны новые методы точной радионавигации и были созданы опытные образцы средневолнового фазового маяка с большой базой. Они прошли летные испытания и показали уникальную для того времени точность навигационных определений.

В 1943 г. Б.М.Коноплев и сотрудники его лаборатории были из Академии наук переведены в НИИ-20 МПСС. Изготовленная там под его руководством аппаратура средневолнового радиомаяка «Опал» в апреле-мае 1945 г. успешно прошла летные испытания и была принята на вооружение. А с июля 1946 г. начинается уже описанная выше плодотворная деятельность по разработке систем радиоуправления ракет дальнего действия сначала в НИИ-20 МПСС, а с апреля 1950 г. в НИИ-885 МПСС.

Борис Михайлович не смог завершить работу по системам радиоуправления ракеты Р-7: в 1955 г. он вынужден был уйти из института. Это был типичный случай, когда «два медведя не могут ужиться в одной берлоге», а такими «медведями» в данном случае были Борис Михайлович Коноплев и Главный конструктор автономной системы управления Николай Алексеевич Пилюгин. Конфликт же между ними был принципиальный: что главнее — система радиоуправления или автономная система (и какой из них, соответственно, должен отдаваться приоритет на производстве). Борис Михайлович считал «царицей» управления радиосистему, обеспечивающую требуемую точность, а автономную систему — обслуживающей, обеспечивающей приемлемую трубку траекторий. У Николая Алексеевича, естественно, распределение приоритетов было обратным. Спор был нешуточный, перерос в личную неприязнь. Силы были неравны: Пилюгина поддерживал Михаил Сергеевич Рязанский и сам Сергей Павлович Королев (они вместе входили в совет Главных конструкторов и были дружны лично), и Борису Михайловичу пришлось покинуть институт. После этого он некоторое время возглавлял разработку систем радиосвязи для дальней бомбардировочной авиации в НИИ-695 МПСС, а с 1959 г. был назначен директором и Главным конструктором вновь созданного в Харькове ОКБ-692 («Электроприбор»), имевшего тот же профиль, что и институт Пилюгина. ОКБ-692 работало в связке с КБ «Южное» (Днепропетровск, Главный конструктор М.К.Янгель), разрабатывавшим ракеты. Таким образом на Украине создавался свой центр разработки межконтинентальных ракет, конкурировавший с КБ Королева.

Борис Михайлович трагически погиб 24 октября 1960 г. во время первых испытаний межконтинентальной ракеты Р-16, Главным конструктором которой был М.К.Янгель, а Главным конструктором системы управления (автономной) Борис Михайлович

Коноплев. Это была величайшая катастрофа в истории ракетной техники, в которой погибло более ста человек [1]. Основными причинами этой трагедии была гонка в подготовке испытаний (непременно сделать подарок правительству к Октябрю) и крайняя беспечность в соблюдении установленных правил безопасности при пусках ракет.

В ракете Р-16 использовалось самовоспламеняющееся топливо (горючее — диметилгидразин, окислитель — азотная кислота). Это давало ей большое преимущество по эксплуатационным и тактическим характеристикам, но требовало особой строгости в соблюдении мер безопасности. Об этом в угаре подготовки пуска к заданному сроку как-то забыли, прежде всего высокие начальники. При подготовке ракеты к пуску была обнаружена течь в трубопроводах топлива. По всем правилам нужно было слить топливо, вернуть ракету на техническую позицию, и тщательно проверить «сухое» изделие, достоверно установить причину течи, устранить недостаток и вновь все проверить по полной программе. Вопреки этим нормам, по предложению Главного Маршала артиллерии Митрофана Ивановича Неделина, бывшего председателем Государственной комиссии по испытаниям этой ракеты, работы по устранению течи решили проводить прямо на старте на полностью заправленной ракете без слива топлива из баков, и без повторной ее проверки по полной программе. В результате оказалось, что сохранился скрытый дефект и при подготовке ракеты к пуску еще до команды «старт» произошел нештатный разрыв мембран, преграждавших поступление компонентов топлива в трубопроводы, и компоненты топлива стали самотеком разливаться вокруг стартовой площадки, образуя сплошной вал пламени, быстро растекавшийся по территории стартовой позиции.

Жертв могло бы не быть, если бы соблюдался строго установленный закон: во время пуска вне бункера никого вблизи стартовой площадки не должно быть. Но это правило давно было забыто. Всем, свободным от пуска и обладающим достаточной властью, очень уж хотелось посмотреть это незабываемое зрелище (я, грешный, тоже не мог лишить себя удовольствия наблюдать за пуском ракеты Р-7, выводившей на орбиту космический корабль с Гагариным на борту). Эта беззаботность объяснялась, очевидно, тем, что за все 13 лет полигонных испытаний ракет (включая сюда и испытания на полигоне «Капустин Яр») не было ни одного случая жертв при пусках ракет. Хотя сигналов об опасности было предостаточно. Я уже не говорю о неоднократных падениях ракет «за бугром». Но были и более «яркие» случаи. Мой приятель Федор Иванович Токарев рассказывал мне, как однажды, вырвавшись на

«экскурсию» в Тюра-Там (он был разработчиком машины С-401 и все время проводил на Главном пункте радиоуправления, в 250 км от старта, наблюдая ракету лишь в виде точки на экране индикатора, показывающем ее приближение к участку выключения двигателя), он оказался свидетелем следующей аварии. Во время старта ракеты Р-7 одна из «боковушек» 1-й ступени по какой-то неведомой причине «отстегнулась» от ракеты 2-й ступени и на «бреющем полете» устремилась в сторону технической позиции. Федя, обладая навыком участника войны, сразу махнул в ближайшую канаву. Ракета же с оставшимися тремя «боковушками», кувыркаясь, упала невдалеке от старта. Но все обошлось, жертв не было. А раз так, то все откладывалось в памяти как забавное приключение.

На сей раз нарушение было на самом высоком уровне: из бункера вышел Главный маршал артиллерии Митрофан Иванович Неделин и демонстративно сел на стул невдалеке от старта, давая всем понять, что он уверен в правильности своего решения и не сомневается, что недостаток устранен и старт ракеты будет нормальным. За Неделиным, естественно, потянулись начальник полигона генерал Герчик, его заместитель по научной части полковник Носов, чины промышленности, не занятые обслуживанием пуска. Словом, собралась вся военная и промышленная элита, не занятая в подготовке ракеты к старту. Борис Михайлович Коноплев, как Главный конструктор системы управления, сидел в это время в машине, обеспечивавшей предстартовый контроль системы. Здесь — другое грубое нарушение норм безопасности (правда, вынужденное). В связи с тем, что бункер не был еще оборудован для проведения испытаний системы управления ракеты Р-16, они проводились из машины, стоявшей вблизи старта.

И вот этот страшный вал огня накрыл людей. Они буквально сгорали. Погиб и Митрофан Иванович Неделин, погиб полковник Носов, генерала Герчика спас его адъютант, вынесший его из пламени, накрыв своей шинелью (Герчик после этого пролежал несколько месяцев в госпитале), было большое число жертв. А Борис Михайлович сгорел в испытательной машине, не успев даже из нее выбраться. Ужасная катастрофа, которой могло не быть! И это подтверждают последующие испытания и эксплуатация ракеты Р-16 — в дальнейшем не было ни одной неприятности из-за этого «опасного» топлива.

Как было в то время принято, эта катастрофа сохранялась в глубокой тайне (а тайну хранить мы умели, не сообщали ничего даже членам семьи, так что она не получила в то время широкой огласки). Нельзя, конечно, было утаить гибель такой фигуры, как

Митрофан Иванович Неделин: было объявлено, что он погиб в авиационной катастрофе. И только через 30 лет в юбилей этой великой трагедии в ряде газет (в основном украинских, ведь жертвы, не считая военных, были в основном из числа сотрудников днепропетровского и харьковского КБ) были обнародованы истинная картина, истинные причины и истинные последствия этой трагедии.

Борис Михайлович Коноплев погиб в возрасте 48 лет, в расцвете сил и творческих возможностей. Он много бы еще сделал для развития нашей науки и техники, может быть и в какой-то другой ее области, но и того, что он успел сделать достаточно для того, чтобы он вошел в историю развития ракетной техники как одна из самых крупных и ярких фигур.

§ 6.2. Евгений Яковлевич Богуславский

Евгений Яковлевич Богуславский родился в 1917 г. В 1941 г. он закончил радиотехнический факультет Военной электротехнической академии связи им. Буденного в Ленинграде. С 1941 г. работал в НИИ-20 МПСС, участвовал в разработке первой станции радиолокационного обнаружения. С июня 1945 г. до января 1947 г. работал в Германии начальником бюро института «Нордхаузен», занимавшегося изучением немецкого опыта по созданию баллистических ракет дальнего действия. В июле 1946 г. переведен из НИИ-20 во вновь созданный НИИ-885 и назначен начальником отдела, которому была поручена разработка телеметрической системы. А по завершении этой разработки в 1950 г. был назначен начальником лаборатории вновь созданного отдела 15 и заместителем Главного конструктора систем радиоуправления ракет дальнего действия Р-5 и Р-7 (начальником отдела уже стал Коноплев).

Евгений Яковлевич Богуславский являл собой редкое сочетание ученого-теоретика, творца идей, инженера, способного воплотить эти идеи в оригинальные схемы, и, наконец, человека, способного с паяльником в руках довести прибор «до ума» лучше любого регулировщика. Это — редкое сочетание светлой головы и тонких, умелых рук. Если характеризовать Евгения Яковлевича одним ключевым словом, то я выбрал бы слово «изящество». Изящными были и идеи, и воплотившие их схемы, и сам Евгений Яковлевич,

наблюдаете ли вы его во время научной дискуссии, на стенде при испытаниях системы, на полигонных испытаниях, при регулировке прибора или в бытовой обстановке.

Евгений Яковлевич внес огромный вклад в становление и развитие радиотехнических систем ракетных и космических комплексов. Он был Главным конструктором первой, по-настоящему отечественной, телеметрической системы «Дон», оригинальной как по принципам формирования измерительной информации, так и по способу ее фоторегистрации, основанной на сочетании протяжки с поперечной электронной разверткой. За эту разработку ему с группой других ее участников в 1950 г. была присуждена Сталинская премия 3-ей степени. Система «Дон», обладающая большим числом каналов и высокой точностью, длительное время была единственной телеметрической системой, обслуживавшей пуски ракет.

После завершения работ по телеметрии Евгений Яковлевич в качестве заместителя Главного конструктора Б.М.Коноплева активно включился в разработку систем радиоуправления ракет Р-5 и Р-7, а с 1955 г., после вынужденного ухода из института Бориса Михайловича, возглавил разработку системы радиоуправления ракеты Р-7. Он по-прежнему оставался на должности заместителя Главного конструктора системы радиоуправления ракеты Р-7, а Главным конструктором системы радиоуправления стал Главный конструктор института Михаил Сергеевич Рязанский. Но Михаил Сергеевич решал вопросы по системе радиоуправления лишь на «высшем уровне» (в Совете Главных конструкторов, в Министерстве), в конкретную же работу по проектированию системы радиоуправления не вмешивался, оставляя ее полностью на откуп Евгению Яковлевичу (правда, ход работы по системе радиоуправления отслеживал достаточно детально). Так что с чистой совестью я рассказываю об Евгении Яковлевиче Богуславском в главе, посвященной Главным конструкторам систем радиоуправления.

Огромный опыт Евгения Яковлевича, его изобретательный ум и поразительное инженерное искусство в сочетании с талантом ученого позволили выжать из «бесперспективной» импульсной системы исключительно высокие технические характеристики. После завершения работ над системой радиоуправления ракеты Р-7 Евгений Яковлевич полностью переключился на разработку радиотехнических средств, обслуживающих космические аппараты «дальнего космоса», проявив там с новой силой свои способности и внеся большой личный вклад и в этой области (но это уже выходит за рамки моей книги).

В 1954 г. Евгений Яковлевич, играючи, подготовил и защитил кандидатскую диссертацию. В 1958 г. ему была присвоена ученая степень доктора технических наук, а в 1962 г. — звание профессора. В 1967 г. ему было присвоено звание Героя социалистического труда, а в 1960 г. присуждена Ленинская премия.

Евгений Яковлевич был человеком честолюбивым, но это было честолюбие с «положительным знаком», способствующее достижению личных успехов, но без всякой примеси «коварства» по отношению к другим. Он придирчиво относился к чужим идеям, но если видел их достоинства, неукоснительно их поддерживал. Он любил организовывать «мозговой штурм» для обсуждения новых идей, возникших как у него, так и у других сотрудников, был при этом очень активен, «играл первую скрипку», но никого не зажимал и внимательно вслушивался и вдумывался в идеи, высказываемые другими. Ему нравилось быть первым во всем. Будь то «трюк» со вскакиванием с места на стол, который никто не мог повторить, или первым решить головоломку, принесенную кем-то из нас, просидев над ней часы. Но если кто-то решил ее раньше, он, конечно, огорчался, но с уважением воспринимал этот чужой успех. Он всегда и во всем был абсолютно порядочен.

Мне довелось особенно близко общаться с ним во время экспедиций в Соленое Займище и Тартугай при испытаниях системы радиоуправления ракеты Р-7. Мы жили там в одной комнате. Это было удобно по работе. Евгений Яковлевич был техническим руководителем испытаний, а я был старшим по военной линии, все вопросы, как правило, мы решали совместно (такой порядок был установлен в экспедициях с самого начала), и дополнительное общение после работы было очень полезно. Да и по характеру мы, по-видимому, подходили друг другу. Евгений Яковлевич был очень удобным и интересным соседом. Общение с ним было очень приятным и полезным: будь-то обсуждение технических проблем или идей или разговоры на отвлеченные темы. Он был всесторонне развитым человеком. В быту был очень неприхотлив (во всяком случае, спокойно переносил наше довольно скудное существование) и даже в этой сфере проявлял свою изобретательность. В Соленом Займище нас ночами изнуряла духота. Евгений Яковлевич перенес свою койку на улицу, а чтобы избавиться от комаров (а их были тучи) накрыл кровать купленным в сельмаге марлевым пологом. Но оказалось, что пока он оборудовал полог, в нем уже было много комаров. И он придумал оригинальную тактику их уничтожения. В ночной темноте он снаружи освещал карманным фонариком уголок полога. Туда слетались комары, угол пережимался рукой и производилось тотальное их уничтожение «размалыванием». После обхода всех уголков внутреннее пространство

оказывалось абсолютно «стерильным». Я последовал его примеру и оценил по достоинству это «ноу-хау».

В 1969 г. Евгений Яковлевич на 52-м году жизни умер. Смерть его была совершенно нелепой, абсолютно неожиданной для всех. Он практически никогда не болел. Но тут врачи обнаружили какие-то отклонения на кардиограмме и прописали ему домашний постельный режим. Я буквально за пару дней до его смерти навестил его (в это время я уже работал в военной Академии и о его болезни узнал от товарищей). Он радостно меня встретил. По всем внешним признакам это был совершенно здоровый человек. Он пребывал в бодром настроении, все время был на ногах, и мы часа полтора оживленно общались. Он считал, что врачи просто придираются, на деле он совершенно здоров, и ему надоело это домашнее заключение. Вот это-то настроение и послужило причиной его смерти. Через пару дней после моего визита Евгений Яковлевич, пренебрегая указаниями врачей, решил съездить в Подлипки в Центр Управления полетами (ЦУП), чтобы присутствовать на сеансе связи с космическим аппаратом, запущенным к Марсу. Это была трагическая ошибка. Вернулся он домой уже в тяжелом состоянии, вызвали неотложку, но было уже поздно. Нелепая, трагическая смерть.

Евгений Яковлевич умер в расцвете творческих сил и творческих планов. Это была огромная потеря не только для его родных и друзей, но и для нашей космонавтики. Имя его безусловно должно сохраниться в истории ракетно-космической техники. Кстати, оно уже увековечено: его именем в 1971 г. назван один из кратеров на обратной стороне Луны.

6.3. Михаил Иванович Борисенко

Михаил Иванович Борисенко родился в 1917 г. В 1941 г. окончил радиофакультет Московского энергетического института. Во время Великой Отечественной войны в 1942 г. закончил ускоренный курс училища Верховного Совета и с 1942 г. служил десантником в 8-й военно-воздушной дивизии. Награжден медалью «За боевые заслуги» и орденами «Красной Звезды» и «Отечественной войны 2-ой степени». Войну закончил старшим лейтенантом.

В 1946 г. после демобилизации поступил работать начальником лаборатории в ПКБ-886, где возглавил работу по

восстановлению немецкой системы боковой радиокоррекции ракеты ФАУ-2 «Гавайя-Виктория». В 1947 г. лаборатория была переведена в НИИ-885 и успешно завершила разработку отечественной системы БРК-1. В 1952 г. Михаил Иванович становится начальником отдела 14, в котором успешно завершает разработку новой системы БРК-2 («Лена»), после чего отдел включился в разработку системы радиоуправления для межконтинентальной ракеты Р-7.

В отличие от Бориса Михайловича Коноплева и Евгения Яковлевича Богуславского, Михаила Ивановича Борисенко нельзя причислить к числу ученых-творцов. Эту роль в отделе играл «коллективный разум» его «гвардии» — молодых талантливых специалистов, жадно, с полной самоотдачей творивших под его руководством новую систему радиоуправления для межконтинентальной ракеты. Михаил Иванович проявил себя в другой научной ипостаси: в качестве талантливого организатора науки, — талант не менее ценный и может даже более редкий, чем талант ученого-творца. Если его «гвардию» сравнить с оркестром талантливых исполнителей, то он был его дирижером, причем дирижером выдающимся. Он был Главным конструктором системы не по званию, а по сути. Он отслеживал весь ход разработки и умело управлял ею: во-время замечал узкие места и оказывал требуемую помощь, при выборе вариантов брал на себя смелость решения и не на авось, а все взвесив. Служил «бульдозером», если надо было смести какие-то препятствия работе. Он владел тонким искусством вовремя принять решение и твердо проводить его в жизнь. Придерживаясь мудрости «лучшее — враг хорошего», он умел определить момент, когда «хорошее» дозрело, а «лучшее» следует оставить для размышлений на будущее. Михаил Иванович первым, как только появились возможности для создания системы радиоуправления межконтинентальными ракетами в 3-х сантиметровом диапазоне с использованием непрерывного излучения, по своей инициативе развернул работу в этом направлении, не считаясь с формальным распределением обязанностей между подразделениями института, и успешно в рамках только своего отдела завершил эту работу.

Если сравнивать творческий уровень не главных конструкторов, а руководимых ими отделений, то трудно сказать, кому отдать предпочтение: отделению Богуславского или отделению Борисенко. У Евгения Яковлевича тоже была своя «гвардия»: это и его ближайшие соратники Эдуард Мигранович Манукян и Авраам Менделевич Трахтман, вложившие большой вклад и в замысел, и в реализацию системы, и очень сильные и инициативные начальники лабораторий — Федор Иванович Токарев, Иосиф Ушерович Гинзбург и др. Но в основном все держалось на Богуславском, многие

способные к самостоятельному творчеству работники по привычке ждали решений от него. Евгений Яковлевич был силен как «творец», но организаторская работа была не его «сферой», он просто ее не любил. Это в какой-то мере уравновешивало оба отделения по результатам работы.

Я хорошо знал Михаила Ивановича еще с конца 1946 г. Тогда он был очень скромным начальником лаборатории в ПКБ-886 (затем НИИ-885), отличавшимся бесконечной преданностью выполняемой работе и исключительной работоспособностью (он был хроническим трудоголиком). Эти его качества сохранились и на всю последующую жизнь. Лаборатория была очень небольшая (мне запомнился только Давид Яковлевич Летичевский, который был верным Санчо-Панчо при Борисенко), ей было поручено восстановление немецкой системы «Гавайя-Виктория». Но уже несколько лет спустя скромный и тихий начальник лаборатории превратился во влиятельного и сильного руководителя, смело бравшегося за новые работы. Он обрел уверенность и жесткий характер, с начальством держался смело и умел увлечь своим энтузиазмом подчиненных, дать им простор в работе, поощрить за успехи. Так сложился «поздний» Борисенко эпохи 50-70-х годов. Когда прекратились работы по системе радиоуправления, он смело вторгся в космическую тематику и занял прочные позиции в «ближнем» космосе, взяв на себя разработку спутниковых навигационных систем. Это было очень важное и перспективное направление, и в нем он со своей «гвардией» достиг значительных успехов.

В 1958 г. Михаилу Ивановичу Борисенко присуждена ученая степень доктора технических наук, а в 1965 г. — звание професора.

Отношение к Михаилу Ивановичу в институте не было однозначным, хотя и те, кто к нему относился негативно, не могли не признавать, что он — личность неординарная. Он очень хорошо относился к своим подчиненным, продвигал и поощрял талантливых ученых и способных инженеров, помогал им в личных делах, иногда выручал и тех, кто случайно попал в неприятную ситуацию. И подчиненные отвечали ему взаимностью. Но по отношению к «чужим», не его сотрудникам, чем-то ему не понравившимся, он мог поступать по другому. Мог аспиранту перед защитой его диссертации без всяких пояснений сказать, что будет выступать на ученом совете против, хотя диссертация на самом деле была добротной. Потом мог и не выступить, но аспирант переживал, зная, что выступление Борисенко всегда весомо.

Его выступления на ученом совете или НТС были всегда очень яркими, содержательными, пронизанными острым юмором, слегка солоноватыми, а иногда и на грани «фола». Их всегда слушали с интересом. Он мог как бы невзначай, «по ошибке» (предусмотренной заранее) в фразе о диссертанте: «Это человек, который может приносить яйца» «перепутать» слова и вместо «приносить» сказать «носить», и эта крылатая фраза ходит по институту и многократно повторяется в разных приложениях.

«Поздний» Борисенко был сильным руководителем, но и противником он был столь же сильным.

У меня с ним были достаточно ровные и, как мне кажется, взаимно уважительные отношения. Я не был для него ни «своим», ни «чужим», относился к нему в деловом плане положительно.

Карьера Михаила Ивановича в НИИП закончилась так же, как карьера Коноплева, хотя все шло по несколько иному сценарию. Директор института, оценив силу характера и организаторские способности Михаила Ивановича, решил его возвысить и сделать своей «правой рукой» и верным помощником. Он назначил его главным инженером института с большими полномочиями. Но Михаил Иванович сразу круто взял «руль на себя», поставил своих людей на руководящие посты, проявил чрезмерную самостоятельность, действуя по своему сценарию, а не по сценарию директора. И вскоре тот «сменил милость на гнев», и в 1975 г. Михаилу Ивановичу пришлось уйти из института. Но выращенная им «гвардия» не затерялась и сохранила достойное место. Николай Емельянович Иванов стал Главным конструктором радиотехнического комплекса спутниковых навигационных систем и сохраняет этот пост и по настоящее время. Борис Георгиевич Сергеев был первым заместителем Главного конструктора и начальником 1-го (теоретического) отделения, а Дмитрий Афанасьевич Пономарев, умница, талантливый ученый — начальником ведущего отдела этого отделения. Все трое стали докторами технических наук. Вячеслав Иванович Лаппо остался руководителем одного из отделений института. Список можно было бы продолжить.

С 1979 по 1984 г. Михаил Иванович работал директором и Главным конструктором Московского радиотехнического института МПСС.

В 1984 г. он умер на 67-ом году жизни. Умер внезапно, на ходу, минуя этап болезни. Повидимому дала знать постоянная физическая и нервная перегрузка организма.

Михаил Иванович Борисенко, без сомнения, также должен занять достойное место в истории ракетной и космической техники.

Помимо этих трех Главных конструкторов, конечно, следовало бы рассказать и о других ведущих ученых, внесших большой вклад в разработку систем радиоуправления. Так, за фигурой Богуславского (и не за его спиной, а рядом с ним) стоят такие личности, как Эдуард Мигранович Манукян и Авраам Менделевич Трахтман, а за Борисенко — такие «гвардейцы» как Дмитрий Афанасьевич Пономарев — основной теоретик отдела, Николай Емельянович Иванов, заменивший Борисенко на посту Главного конструктора после ухода последнего, и др. Следовало бы рассказать и о некоторых других ведущих разработчиках, таких как Евгений Аронович Розенман, Борис Георгиевич Сергеев, Федор Иванович Токарев, Иосиф Ушерович Гинзбург, Виктор Эфроимович Лемберг и многие другие. Но я ограничился тремя Главными конструкторами, лишь коснувшись других в контексте рассмотрения аппаратуры: книга по замыслу посвящена истории систем (аппаратуры) радиоуправления, а подробный рассказ о людях, их создавших, заслуживает отдельной книги, и, можно надеяться, ее еще напишут.

7
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ — «ЕДИНСТВО И БОРЬБА ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЕЙ»

Использование в названии этой главы слов «единство и борьба противоположностей» — не красивая метафора, а реальные условия сосуществования этих систем на протяжении «жизни» каждой из разработанных ракет. В процессе разработки и в первый период эксплуатации каждой новой ракеты автономная и радиотехническая системы представляли единый комплекс. Без использования радиокоррекции не могла бы быть обеспечена требуемая точность стрельбы. По мере совершенствования приборов автономной системы и повышения ее точности потребность в радиокоррекции для данной ракеты отпадала и система радиоуправления «за ненадобностью» из комплектации ракеты исключалась. Так было и с БРК-1 (ракеты Р-1 и Р-2), и с системой радиоуправления ракеты Р-5, и с первыми системами радиоуправления межконтинентальными ракетами.

Такая «диалектика» сосуществования автономных и радиотехнических систем управления обусловлена двумя причинами.

Автономной системе присущи накапливающиеся со временем ошибки. Для гироприборов это — уходы их осей, пропорциональные времени (а также перегрузкам в части ошибки, обусловленной небалансом гироскопа). Инерциальные датчики кажущейся скорости и кажущихся координат непосредственно измеряют кажущиеся ускорения*, а значения кажущейся скорости и кажущихся координат получаются интегрированием этих ускорений (для координат — двукратным). Ошибки измерения кажущегося ускорения, носящие систематический характер, при интегрировании приобретают накапливающийся со временем характер.

Поэтому при переходе к разработке новых ракет с резким увеличением дальности стрельбы (и, соответственно, с увеличением времени полета на активном участке, а также перегрузок) источ-

---

* Оно называется «кажущимся», т.к. эти датчики не реагируют на силы тяготения и дают лишь составляющую, обусловленную тягой двигателя и другими силами непосредственно приложенными к корпусу ракеты. Составляющие этих параметров, вызванные действием гравитационного поля Земли, определяются расчетным путем.

ники погрешностей автономных систем увеличивались. Требования же к точности определения параметров движения ракеты с увеличением дальности стрельбы, напротив, резко возрастали в связи с ростом баллистических производных, связывающих ошибки стрельбы с ошибками измерения параметров движения ракеты на момент выключения двигателя. На момент разработки новых ракет к этим повышенным требованиям автономные приборы управления не были готовы. Системы радиоуправления не обладают такой зависимостью от длительности активного участка и перегрузок и поэтому выступают в качестве «палочки-выручалочки» для выполнения заданных для новых разрабатываемых ракет требований по точности.

С другой стороны, автономные системы способны к обновлению в процессе эксплуатации принятой на вооружение ракеты по мере совершенствования отдельных приборов, причем это распространяется не только на вновь изготовляемые ракеты, но и на ранее выпущенные (замена на них отдельных бортовых приборов не представляет больших проблем). Характеристики же систем радиоуправления «застывают» в наземной аппаратуре и обновляются лишь в новом ее поколении, отличающемся радикально: и принципами построения системы, и составом аппаратуры.

И новая система радиоуправления привязывается уже к вновь разрабатываемым ракетам.

Это «диалектическое» взаимодействие радиотехнических и автономных систем создавало конкуренцию, способствующую их совершенствованию.

Помимо точности, важное значение в соревновании двух систем играла другая характеристика — помехозащищенность. Здесь априорное преимущество имела автономная система, обладавшая естественной абсолютной помехозащищенностью. Системе же радиоуправления приходилось вести «борьбу за выживание» (в целом, успешную) со средствами радиопротиводействия. Повышение помехозащищенности всегда было одним из основных направлений совершенствования систем радиоуправления.

Сказанное выше ни в коей мере не умаляет роль системы радиоуправления в истории развития ракетной техники. Системы радиоуправления являлись необходимым звеном в совершенствовании ракет. Без системы радиоуправления не было бы на вооружении Армии межконтинентальной ракеты Р-7 уже в 1959 г., и лишь через 10 лет автономная система вышла на уровень, приведший к отказу от использования системы радиоуправления.

Но уже в 70-х годах стало очевидно, что ставка только на автономную систему управления была преждевременной. Вышедшая

на первый план задача уничтожения ракетных шахт противника подняла планку точности на такую высоту, которая для автономной системы была явно непосильной. И, наряду с другими средствами повышения точности наведения ракет на цель, была вновь востребована высокоточная система радиокоррекции, построенная на совершенно новой основе (см. гл. 5).

Говоря о роли систем радиоуправления, не следует забывать и их историческую роль в создании радиокомплексов, обслуживающих космические системы. Системы радиоуправления были предтечей контрольно-измерительных комплексов КИК(ов) космических систем. Первые КИКи разрабатывали, в основном, те же коллективы, которые создавали системы радиоуправления ракет, используя при этом и опыт и многие наработки, накопленные при создании последних. Да и в других радиотехнических системах и приборах космических средств можно найти следы решений, оставленные системами радиоуправления.

8
СОРЕВНОВАНИЕ С АМЕРИКАНЦАМИ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ: ПОБЕДЫ И ПОРАЖЕНИЯ

В конце 40-х гг. и в первой половине 50-х годов мы были безусловными лидерами в ракетной технике. И это, несмотря на то, что американцы вывезли из Германии наиболее квалифицированных специалистов во главе с Главным конструктором ракеты ФАУ-2 Вернером фон-Брауном (он и стал Главным конструктором первых американских ракет) и имели более богатый «улов» по сбору немецкой ракетной техники. В какой-то мере это, возможно, объясняется тем, что американцы в то время не испытывали такой острой нужды в этом виде оружия, как мы: они в это время всю ставку делали на авиацию, могущество которой подкреплялось наличием военных баз во всех регионах. В результате мы первыми создали межконтинентальную ракету, первыми запустили искусственный спутник Земли и первыми послали человека в космос на космическом корабле.

Наше первенство в завоевании космоса и успехи в создании межконтинентальной ракеты больно ударили по престижу Америки, в том числе задели и рядовых американцев. Встревожились и военные. И Америка резко усилила свое внимание к ракетным и космическим программам. Особенно большой рывок был сделан с приходом к власти президента Кеннеди. Он объявил двумя важнейшими государственными программами ракетно-космическую программу и программу образования, увязывая последнюю с дальнейшим научно-техническим прогрессом. Учитывая огромные финансовые возможности Америки, ее промышленный потенциал и значительное преимущество в области технологии, результаты не заставили себя ждать.

Уже со второй половины 50-х годов наше преимущество стало таять, мы буквально за своей спиной «слышали дыхание» американцев. Первый искусственный спутник Земли мы послали 4 октября 1957 г., а уже через 4 месяца 1 февраля 1958 г. это достижение повторили американцы. 12 апреля 1961 г. на корабле «Восток-1» первым в мире совершил полет в космос Юрий Алексеевич Гагарин, а менее чем через месяц 5 мая 1961 г. это достижение повторил американский космонавт Шеппард. Конечно, мы были здесь первыми, и мы пожали славу (таков закон всяких соревно-

ваний: если ты «на грудь впереди» — ты герой-победитель). И запуск первого спутника Земли американцами, также, как и полет Шеппарда, прошли как-то незамеченными, в тени нашей славы: Гагарина знают и помнят во всем мире, а Шеппарда лишь немногие в самой Америке. Но факт остается фактом: отставание американцев исчислялось уже символическим интервалом времени.

После этого последовал наш бурный штурм «ближнего космоса», успех за успехом. 6 августа 1961 г. — суточный полет вокруг Земли на космическом корабле, совершенный космонавтом Германом Титовым. Групповой полет двух космических кораблей, стартовавших, соответственно, 11 и 12 августа 1962 г. с космонавтами Николаевым и Поповичем на борту (правда, термин «групповой» здесь носит довольно условный характер: просто в космосе были одновременно два наших космических корабля). Первый полет в космос женщины — Валентины Терешковой (16.06.63 г.). Полет корабля «Восход-1» 12 октября 1964 г. сразу с тремя космонавтами на борту (Комаровым — командиром корабля, Феоктистовым — ученым и Егоровым — врачем). Правда, объективности ради, следует отметить, что корабли «Восход» не представляли нового слова космической техники по сравнению с кораблями «Восток»: в основном все свелось к более плотной расстановке кресел и тесной «упаковке» космонавтов в космическом корабле, так что космонавтам пришлось даже лететь без скафандров (принципиально новые корабли типа «Союз» появились только с 1967 г.). 18 апреля 1965 г. был произведен запуск корабля «Восход-2» с космонавтами Беляевым и Леоновым на борту и первый выход в открытый космос нашего космонавта Леонова.

Выделим групповой (по настоящему) полет двух космических кораблей в 1969 г.: корабля «Союз-2» с космонавтами Шаталовым и Волыновым (стартовал 14.01) и корабля «Союз-3» с космонавтами Елисеевым и Хруновым (стартовал 15.01). Эти корабли сблизились, совершили стыковку, после чего Елисеев и Волынов поменялись кораблями и, расстыковавшись, благополучно приземлились: Шаталов с Елисеевым на корабле «Союз-2», а Хрунов с Волыновым на корабле «Союз-3». Это был очень важный этап в освоении ближнего космоса.

Решение задачи автоматической стыковки кораблей создало предпосылки для создания орбитальных станций, расчитанных на постоянное пребывание сменяемых экипажей космонавтов для работы в ней. Во-первых, при этом решалась задача транспорта для смены экипажей станции, что позволяло организовать непрерывную вахтовую работу на станции на протяжении многих лет. Групповой полет кораблей «Союз-2» и «Союз-3», описанный выше,

по-существу, имитировал смену экипажей станции. Роль последней играл при этом корабль «Союз-3». Наряду с кораблем «Союз» был создан грузовой корабль «Прогресс», обеспечивавший в автоматическом беспилотном режиме доставку на станцию всего необходимого для жизнеобеспечения экипажа и работы станции.

Во-вторых, решение задачи автоматической стыковки и автоматического причаливания (к станции) позволяет строить орбитальные станции прямо в Космосе, доставляя туда по-одиночке и пристыковывая один за другим отдельные модули станции (так строился «Мир» и строится сейчас международная орбитальная станция).

Первая орбитальная станция «Салют» была запущена на орбиту в 1971 г. Она имела сравнительно небольшой «срок жизни» (порядка 2-х лет) и в период с 1971г. по 1983 г. сменили друг друга семь станций «Салют», пока в 1985 г. не была создана более совершенная станция «Мир».

Космическая станция «Мир» просуществовала более 15 лет, хотя проектный срок ее жизни был определен в 5 лет. И только в конце марта 2001 г. ее свели с орбиты и затопили в Тихом океане, как исчерпавшую свой ресурс (превысив проектный ресурс в 3 раза). Существование станции «Мир», длительные экспедиции на нее (до 1,5 лет) наших космонавтов и «гостей из других стран», огромный опыт накопленный за это время как в эксплуатации станции, так и в части адаптации космонавтов к пребыванию в космосе сделали нас безусловным лидером в этой области.

К успехам в освоении ближнего космоса, а, главное, в сближении наших и американских ученых, работающих в этой области, следует отнести совместную программу «Союз-Аполлон», со стыковкой американского корабля «Аполлон» и нашего корабля «Союз» и совместной работой обоих экипажей в космосе в течение 3-х дней (17-19 июля 1975 г.).

Словом в ближнем космосе в 60-х годах мы шли впереди, не отстаем и сейчас.

Чувствительное поражение мы потерпели в лунной программе, в соревновании, кто первым высадится на поверхность Луны.

Лунные программы развивались у нас по двум линиям: создание беспилотных космических аппаратов, обследующих Луну (программа «Луна-3», головная организация СКБ Лавочкина, Главный конструктор Георгий Николаевич Бабакин) и создание пилотируемых космических кораблей для облета Луны и посадки на нее (программа «Луна-1», головная организация СКБ Королева). В первой из этих программ мы добились больших успехов. Мы первыми (4 октября 1959 г.) совершили облет Луны с передачей на

Землю изображения ее обратной стороны и составлением ее карты (18 июня 1965 г. этот эксперимент был повторен на новом, качественно более высоком уровне).

31 января 1966 г. была совершена мягкая посадка космического аппарата на поверхность Луны с передачей с нее на Землю изображения окружающей аппарат поверхности Луны с мелкими ее деталями.

12 сентября 1970 г. — мягкая посадка космического аппарата на поверхность Луны, взятие с нее пробы грунта, обратный старт малого космического аппарата, несущего эту пробу, и благополучная его посадка на Землю. Это был исключительно сложный эксперимент, огромное достижение в создании автоматических космических аппаратов. Этот эксперимент был повторен еще дважды: 14 февраля 1972 г. («Луна-20») и 9 августа 1976 г. («Луна-24») с взятием пробы грунта уже с глубины 2 м. (естественно, во всех трех случаях пробы приходились на разные районы поверхности Луны) [2].

Наконец, 10 ноября 1970 г. — мягкая посадка космического аппарата на Луну, выход с него на поверхность Луны специального «Лунохода», управляемого с Земли и передававшего на Землю изображение окружающей его поверхности в течение 11 суток.

Так что в части, охватываемой программой «Луна-3», мы были «на высоте» и опережали американцев.

Но мы проиграли самую престижную часть этого соревнования — высадку человека на поверхность Луны. Здесь первыми были американцы. 18 мая 1969 г. состоялся облет Луны американским кораблем с космонавтом Стаффордом на борту. А 20-21 июня 1969 г. состоялась мягкая посадка американского космического корабля с космонавтами Армстронгом и Олдрином на Луну и выход Армстронга на поверхность Луны.

Наше отставание в этой программе объяснялось неудачами при отработке двигателя для тяжелой ракеты-носителя (Главный конструктор Кузнецов, Куйбышев). После того, как американцы побывали на Луне, наши работы по программе Л-1 были прекращены: быть вторыми (из двух участников) не имело никакого смысла, самостоятельной же научной ценности, кроме духа состязательности, эта программа не имела. Да и американцы, по тем же соображениям, этот эксперимент не повторяли.

Заметим, что в настоящее время наши двигатели для тяжелых ракет самые совершенные и даже американцы оснащают ими свои ракеты. Но поезд под названием «Луна» уже ушел...

Так что в лунных программах мы можем записать себе в плюс успехи в части создания автоматических станций, а в минус — поражение в престижном соревновании: чей космонавт раньше ступит на поверхность Луны.

Второе наше поражение в соревновании с американцами относится к созданию многоразовых космических кораблей. Американцы раньше нас взялись за эту задачу и создали многоразовые космические корабли типа «Шаттл». Мы несколько позже начали разработку аналогичных космических кораблей «Буран» и практически подтвердили свой успех в этой работе: беспилотный полет этого корабля и его посадка прошли успешно. Беспилотный полет — необходимый этап с точки зрения техники безопасности, а с технический точки зрения это даже сложнее, чем полет с экипажем. Но на этом все оборвалось, на дальнейшее нам «не хватило дыхания» (а кислород в данном случае — это деньги). Правда, аналогичные функции у нас успешно выполняют корабли «Союз» и автоматические грузовые корабли «Прогресс», безотказно доставляющие экипажи и все необходимое на космическую станцию. Но соревнование по созданию многоразовых кораблей мы проиграли.

Наконец, еще в одной области освоения дальнего космоса — запуски космических аппаратов к Венере и Марсу для исследования их свойств — мы идем с американцами параллельным курсом, несколько проигрывая им по срокам.

В 90-е годы в ряде случаев наметился поворот в наших отношениях с Америкой в ракетно-космической области от состязательности к сотрудничеству. Это — совместные работы и по созданию международной орбитальной станции и по созданию морского старта. И причина этого сотрудничества не только в дороговизне проектов, но и в выгоде объединения накопленного опыта, а у нас он, особенно в области создания и эксплуатации орбитальных станций, уникальный. Сюда же следует отнести и переход к совместному использованию спутниковых навигационных систем «Глонасс» и «Навстар» в создаваемой в последнее время и у нас и в Америке аппаратуре потребителей навигационной информации. А предвестником наметившегося сейчас сотрудничества была осуществленная еще в 1975 г. совместная программа «Союз-Аполлон».

Наши специалисты, участвовавшие в совместных программах, отмечают исключительную доброжелательность, дружеские отношения, заинтересованность и уважительность, проявляемые при этом американскими коллегами, даже в те периоды, когда отношения наших стран на политическом уровне желали много лучшего.

В этой главе мы несколько вышли за рамки темы, обозначенной в заглавии книги, но при сравнении успехов наших стран отделить ракетную технику от космической невозможно: успехи в обеих этих областях взаимосвязаны.

Подробно об увлекательной истории освоения космоса можно узнать, прочитав прекрасный труд Б.Е.Чертока [1].

1. *Черток Б.Е.* Ракеты и люди. — М.: Изд-во Машиностроение. Кн.1. Ракеты и люди, 1994. Кн. 2. Фили, Подлипки, Тюра-Тамм; 1996. Кн. 3. Горячие дни холодной войны, 1997. Кн. 4. Лунная гонка, 1999.

2. История российского НИИ космического приборостроения. Под общей ред. д.т.н., проф. Л.И. Гусева. Авторы: д.т.н., проф. А.М. Трахтман, к.т.н. В.К. Старцев. НИИКБ, Москва, вып. 1 (1994), вып. 2 (1996).

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие автора 3

О книге и ее авторе 6

1. Восстановление и испытания системы боковой радиокоррекции ракеты ФАУ-2. Первые отечественные ракеты Р-1 и Р-2. Система боковой радиокоррекции БРК-1 8

2. Система радиоуправления ракеты Р-5 18
2.1.Система боковой радиокоррекции ракеты Р-5 (БРК-2) 18
2.2.Система радиоуправления дальностью ракеты Р-5 20
2.3.Испытания системы радиоуправления ракеты Р-5 на ракетах Р-2Р и полигонные испытания ракеты Р-5 24
2.4.Ракета Р-5М 25

3. Система радиоуправления для первой межконтинентальной ракеты Р-7 (8К-71) 26
3.1.Выбор варианта построения системы радиоуправления 28
3.2.Система боковой радиокоррекции ракеты Р-7 . . . 30
3.3.Система радиоуправления дальностью 33
3.4.Счетно-решающее устройство. Командная радиолиния 35
3.5.Резервирование наземной аппаратуры 41
3.6.Первое включение всего комплекта аппаратуры. Стендовые испытания 43
3.7.Испытание системы радиоуправления ракеты Р-7 на ракетах Р-5Р 45
3.8.Первый этап полигонных испытаний ракеты Р-7 . 46
3.9.Второй этап полигонных испытаний ракеты Р-7 . . 50
3.10.Войсковые испытания наземной аппаратуры радиоуправления ракеты Р-7. Ввод в эксплуатацию первой боевой позиции ракеты Р-7 . . 55
3.11.Модернизация ракеты Р-7. Система радиоуправления ракетой Р-7А (8К-74) 59

4. Фазовая система радиоуправления межконтинентальными ракетами 63
4.1.Фазовая система — «незаконно рожденный ребенок». Общая характеристика системы 63
4.2.Фазовый метод определения направления на ракету и угловой скорости линии визирования 65
4.3.Измерение радиальной скорости 73

4.4.Радиолиния измерения дальности и передачи команд управления 73
4.5.Система обработки данных (СОД) 74
4.6.Испытания фазовой системы в режиме датчика при запуске первого космического корабля с космонавтом на борту 77
5. Залповая система радиоуправления 81
6. О Главных конструкторах систем радиоуправления . . 88
6.1.Борис Михайлович Коноплев 88
6.2.Евгений Яковлевич Богуславский 93
6.3.Михаил Иванович Борисенко 96
7. Радиотехнические и автономные системы управления — «единство и борьба противоположностей» 101
8. Соревнование с американцами в ракетно-космической области — победы и поражения 104
Литература 109

ЛИПКИН Исаак Аронович

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ РАКЕТАМИ ДАЛЬНЕГО ДЕЙСТВИЯ

Под редакцией автора
Компьютерная верстка *О.Г. Лаврова*

Лицензия на издательскую деятельность ЛП № 071370 от 30.12.1996 г.
Сдано в набор 10.04.2001. Подписано в печать 8.06.2001.
Печать офсетная. Формат 60 × 90 1/16.
Печ.л. 7. Тираж 1000.

Издательство «Вузовская книга»
125871, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
Тел./факс 158-02-35
E-mail: vbook@mai.ru

Отпечатано ООО "Связь-Принт" в типографии "Радио и связь".
103473 Москва, 2-й Щемиловский пер., 4/5