

# НФ НИИДАР

Мы с Анатолием Александровичем Кирякиным опоздали на последний служебный автобус из Николаева. До села Калиновка, возле которого располагалась воинская часть, где размещался Николаевский филиал НИИ Дальней радиосвязи (НФ НИИДАР) – двенадцать километров. Луна и пирамидальные тополя по обочинам. Машин нет, мы идем по центру дороги и беседуем о загоризонтной радиолокации. Я слушаю и лишь изредка задаю вопросы.

Анатолий Александрович – начальник отдела Оптимизации частотно-угловых режимов (ОЧУР) загоризонтного радиолокатора (ЗГРЛС) 5Н32, куда я перешел из отдела программистов и имел очень приблизительные представления о стоящих перед институтом и его филиалом задачах.

Он начал с самых общих положений:

– Ионосфера для коротких радиоволн – кривое изменчивое зеркало, самой устойчивой характеристикой которой является ее неустойчивость – так сформулировал основное ее свойство кто-то из классиков. Но это зеркало позволяет передать электромагнитную волну коротковолнового (декаметрового) диапазона практически в любую точку Земного шара даже при минимальной мощности передатчика. Но это лишь в случае, если возникнет необходимый радиоканал, что зависит от состояния ионосферы, частоты и угла излучения.

– Наиболее прост и предсказуем односкачковый механизм распространения радиоволн, когда волна однократно отражается от ионосферы. Но дальность ЗГРЛС, которая работает на этом механизме распространения, около трех тысяч километров, что связано с высотой отражающего «зеркала».

– НИИДАР гарантировал дальность обнаружения пусков баллистических ракет более восьми тысяч километров. Для того, чтобы победить конкурентов, было предложено, вместо скачкового, использовать скользящий или волноводный механизм распространения. Первый из них известен еще как «волны шепчущей галереи», когда волна «скользит» вдоль ионосферы, как бы «при-

липая» к ней. Второй механизм – это захват волны в ионосферный волновой канал, который образуется слоями Е и F ионосферы. Расчеты показывали, что при приближении частоты снизу к МПЧ (максимально применимой частоте, после которой волна покидает ионосферу и уходит в космос), должны с высокой эффективностью возникать оба механизма распространения.

Далее А.А. Кирякин рассказывал:

– Первые же эксперименты превратили аббревиатуру ОЧУР в ОЧР, поскольку самые лучшие результаты получались при нулевом угле излучения над горизонтом. В этом случае, учитывая сферичность Земли и ионосферы, волна падает на ионосферные слои под минимальным углом около шести градусов.

– Но эффективность обоих механизмов распространения не соответствует расчетной! Ионосфера явно «не докручивает» радиоволны по отношению к теории. Это мы выяснили из наблюдений сигналов при прохождении линии терминатора через вершину первого скачка, где происходит трансформация радиоволны либо в скользящий механизм, либо в волноводный. Терминатор – линия день-ночь – меняет наклон ионосферы в ту или иную сторону, увеличивая или уменьшая угол падения на нее волны.

– При уменьшении угла наклона возбуждение обоих механизмов распространения улучшается, но также не соответствует расчетным величинам!

– Для исследования распространения радиоволн предусмотрены пуски геофизических ракет – ВИПов (вертикальных измерителей поля), измеряющие напряженность волны до высоты двести пятьдесят километров. Но и измерения ВИП не соответствуют расчетам! Сначала все списывали на незнание параметров ионосферы, но когда оснастили всю трассу ионозондами, поняли, что причина в чем-то другом.

– Для расчетов распространения радиоволн мы используем геометрическую оптику. Большой параметр волновой задачи – тысяча! Это отношение поперечного размера ионосферного Е-F волновода (40 км) к длине волны (40 м). Более чем достаточно для применимости метода!

– Какая-то неразрешимая загадка, мы ничего понять не можем!

– После каждого пуска ракет калибруем модель распространения радиоволн и вводим очередной эмпирический параметр. Модель великолепно работает по эпигнозу, но совсем не может прогнозировать. После каждого пуска – очередной параметр, а это значит только одно – модель не описывает физику процесса!

– Ситуация приближается к критической, надо уже докладывать о готовности, а у нас...

– Недавно начальство даже решило провести эксперименты по нелинейному воздействию на ионосферу, чтобы попробовать с помощью эффектов «нагрева» обеспечить нужный канал распространения радиоволн.

– Под Горьким есть мощный радиопередатчик «Сура», который предназначен для экспериментов по нелинейным эффектам в ионосфере, он расположен как раз в вершине первого скачка. Уже разработан план проведения экспериментов.

Когда дошли до Калиновки, у меня появилась первая информация о том, что с теоретическими расчетами распространения коротких радиоволн в ионосфере не все в порядке.

На следующий же день мне пришла в голову мысль о том, как можно решить проблему создания радиоканала, вызывая искусственную рефракцию в ионосфере, но без использования нелинейных эффектов ее нагрева.

Явление рефракции, или поворота траектории распространения волны, объясняется принципом Гюйгенса: волна меняет свое направление, если вдоль фронта (в поперечном направлении относительно ее движения) изменяется показатель преломления, связанный с ее фазовой скоростью. Различная скорость волны по фронту приводит к тому, что одни участки ее движутся быстрее, чем другие, приводя к повороту траектории. Примерно то же наблюдается, если на лодке гребти веслами с различной силой.

Ионосфера является средой с частотной дисперсией, у которой показатель преломления зависит не только от свойств самой среды (в нашем случае от электронной концентрации ионосферной плазмы), но и от частоты волны. Изменяя ча-

стоту радиоволны, можно в определенных границах изменить показатель преломления, используя естественное природное распределение по пространству электронов в ионосферной плазме, на чем и основывался предлагавшийся НИИДАР метод создания необходимого канала.

Но эксперименты показали, что реальная ситуация не соответствует расчетам, и энергетически эффективный устойчивый радиоканал создать не удастся. Тогда и было принято решение провести эксперименты по нелинейному воздействию на ионосферу. Мощный передатчик «Сура» модифицирует ионосферу, повышая температуру электронов мощной радиоволной, в результате электронная концентрация и показатель преломления изменяются, что, как надеялись экспериментаторы, поможет создать необходимый канал.

Моя идея заключалась в том, чтобы изменять показатель преломления в пространстве с помощью особой структуры радиоволны.

В отличие от обычной рефракции, когда частота волны по фронту не меняется, а меняется лишь концентрация электронов ионосферной плазмы, в соответствии с высказанной мною идеей, по фронту меняется еще и частота волны, которая тоже, в дополнение к изменению концентрации, вызовет пространственное изменение показателя преломления, приводящее к дополнительной возможности управлять ею.

Эффект искусственной рефракции может существовать в однородной по своим свойствам среде, например при постоянной электронной концентрации плазмы в пространстве. Здесь изменение показателя преломления по фронту волны обеспечивается только ее поперечной частотной модуляцией.

Механическим аналогом такого управляемого движения (отклонения от прямолинейной траектории) может служить крученный мяч, хорошо известный футболистам и теннисистам. Удар «Сухой лист» или «Olympic goal» позволяет направить мяч со штрафной площадки прямо в створ ворот, находящихся на одной линии.

Аналогия здесь еще и в том, что мяч надо предварительно «закрутить», а волну – промодулировать. При этом эффекты наблюдаются в однородной по своим свойствам среде. Наличие среды

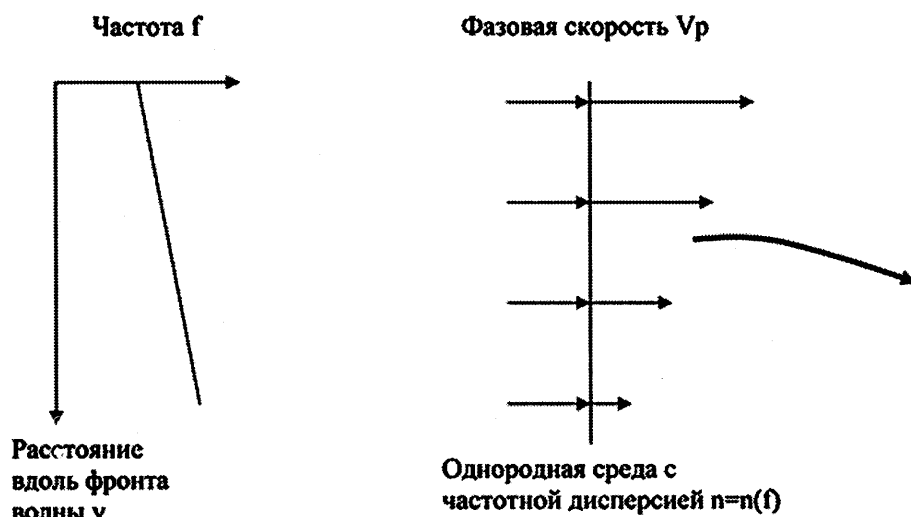


Рис. 1. Искусственная рефракция волн в однородной среде с частотной дисперсией.

в обоих случаях обязательно: в вакууме модулированная волна и крученный мяч не изменяют своей траектории. В конце-концов, если среда однородна, мяч, израсходовав энергию на изменение траектории, перестанет вращаться, а волна потеряет поперечную частотную модуляцию, а так же часть энергии, связанной с ее наличием, на искусственную рефракцию, и эффекты исчезнут.

С идеей искусственной рефракции я подошел к А.А. Кирякину. На мои объяснения он сказал:

– Вроде бы твои рассуждения верны, но дело в том, что в лучевом, или геометрическом приближении, которое используется для расчетов рефракции волн в ионосфере, не существует членов, которые бы описывали такую искусственную рефракцию. Вероятнее всего, ты в чем-то ошибаешься, может быть в масштабах величин. Если бы подобное физическое явление существовало, то его должны были бы исследовать в начале двадцатого века.

– Но утверждать, что такого эффекта нет, я не берусь, а советую тебе обратиться к специалистам-теоретикам.

Я написал пояснительную записку, в которой изложил свою идею. Во время отпуска был в Москве, зашел на кафедру антенно-фидерных устройств Московского Энергетического института, рассказал ее суть Ю.И. Орлову. Тот меня внимательно выслушал, но комментировать не стал. Сказал, что подумает, прочтет записку и пришлет по почте свой отзыв на нее.

В пришедшем заказном письме был ряд замечаний, основным из которых было отсутствие ссылок на работы по геометрической оптике, а также оно подразумевало, что продолжения контактов по этой теме не будет. Ответа на вопрос, существует ли эффект рефракции волны с поперечной частотной модуляцией в среде с частотной дисперсией, оно не содержало.

Эксперименты по модификации ионосферы мощной радиоволной ничего не дали. Они подтвердили, что эффект разогрева ионосферы действительно существует, и его даже можно наблюдать, если провести достаточно тщательные измерения, но говорить о его пригодности для реального изменения траектории радиоволны загоризонтного радиолокатора не приходится – его величины не хватает на много порядков.

Станция под Николаевым – это действующий макет ЗГРЛС, предназначенный для отработки техники, алгоритмов и программ по обнаружению стартов баллистических ракет при пусках с ближнего полигона – Капустина Яра, и с дальнего полигона – Байконура. Ее диаграммы направлены на Дальний Восток, но, в случае чего, могли быть нацелены на территорию Китая.

Две боевые станции 5Н32 должны были находиться под Киевом и в Комсомольске-на-Амуре.

Несмотря на проблемы ОЧУР, в соответствии с планом, под Киевом, между Чернобылем и Припятью, недалеко от атомной электростанции, в лесу, в воинской части, называемой «Чернобыль-2», был построен загоризонтный радиолокатор, который должен был следить за вероятным противником через Северный полюс. Сейчас эта ЗГРЛС лежит в радиоактивных руинах, а атомная электростанция, в результате взрыва которой и появились эти руины, еще только строилась.

Когда мы получили первые диаграммы возвратно-наклонного зондирования ионосферы (ВНЗ), то поняли, что в Николаеве мы столкнулись лишь с цветочками. Полярная шапка вообще была слабо предсказуема для прохождения радиоволн. Если для среднеширотной трассы еще стоял вопрос о прогнозе или эффективности канала, то здесь первое время мы вообще не могли увидеть закономерностей в поведении принимаемых сигналов.

На производственном совещании было решено запустить лока-тор — этого требовала Москва — несмотря на наш доклад о том, что программы еще не отлажены до конца. Руководитель площадки пояснил:

— Наша правительственная делегация выезжает на переговоры с США по разоружению. Будет политически неправильно, если станция заработает во время переговоров или сразу после них. А сейчас самое время! Пусть приемная позиция пока не работает, но передатчик мы запустим. Пусть знают, что они у нас под «колпаком»!

На следующее утро после включения станции к нам в рабочую комнату зашел руководитель площадки и сообщил:

— О нас уже знает весь мир. Американцы сообщают о запуске в Советском Союзе «сверхпороговой обнаружительной системы». Девяносто восьмая нота протеста пришла из Австралии: у них отказывают многие радиосистемы, почти на всей территории страны невозможно смотреть телевидение — с частотой 10 Герц «сту-чит» наш передатчик. В странах НАТО срочно поднимают вопрос о повышении помехозащищенности радиосредств.

Командный пункт станции был, наверное, разработан тем же коллективом, что и ЦУП (центр управления полетами), который всем знаком по телевизионным репортажам. Размеры его ненамного уступают ЦУПу. На передней стене схема всей станции, указывающая, какие блоки работают, какие в «горячем» резерве, какие выключены. На самом верху огромные глобусы Земли и Луны. Чуть пониже горит красная надпись «Трасса аномальна».

Передо мной на четырех мониторах отображаются принимае-мые сигналы с дальности до двадцати тысяч километров — поло-

вины Земного шара. Вся развертка «дышит», отражения наблюдаются от всей земной поверхности.

Подполковник, оперативный дежурный, борется со сном, так же как и я. У нас совместное дежурство, когда мы обучаем военных работе с нашими алгоритмами и программами. Четыре часа утра, «собачья вахта». Подполковник обращается ко мне:

– Вот передо мной, на стене, схема всей станции. Везде горят зеленые огоньки – значит, блоки станции работают нормально. Если загорится красный транспарант, я вызываю по громкой связи офицера, который дежурит на этом блоке, и устраиваю ему разнос. А вот сейчас красным горит транспарант «Трасса аномальна». Кому я должен устраивать разнос?

Я ему объяснил, что при загорании этого транспаранта затухание радиоволн на трассе таково, что станция не может решить боевую задачу по обнаружению старта ракет, и зависит все от состояния ионосферы, которое подчиняется только Богу. Подполковник надолго задумался, вероятно, потому, что процесс контактов с Богом уставом не регламентирован.

Вдруг зазвонил красный телефон прямой связи с Москвой. Оперативный дежурный поправил галстук, взял трубку и представился. После первых же слов из трубки он вскочил и встал по стойке «смирно», повторяя: «Есть! Есть! Есть!». Положил трубку и скомандовал по громкой связи:

– Срочно выключить передатчик!!!

Мне он сообщил, что станция не будет работать до особого распоряжения, которое в нашу смену уже не поступит, и что я могу идти спать. На мой вопрос, что случилось, он пояснил:

Самолет с Кубы, на борту которого находится партийно-правительственная делегация, попал под радиолуч нашего передатчика. Вышла из строя вся электроника, только спутниковый канал продолжает работать, по которому им и удалось связаться со штабом. Оперативный дежурный в Москве потребовал немедленно выключить станцию.

В командировке в «Чернобыль-2» было много свободного времени, а чернобыльская сельская библиотека просто поражала,



как и полярная ионосфера, своей непредсказуемостью. Вот, например, что я обнаружил только в разделе «Сельскохозяйственная техника»: «Письма к Луцилию» Сенеки, собрание сочинений Лопе-де-Вега, «Шум и ярость» Фолкнера, «Разговоры за просто» Эразма Роттердамского.

Если, выезжая из леса по бетонке, свернешь направо – попадешь в Чернобыль, если налево – в Припять. Раз в неделю мы обязательно сворачивали налево и посещали сауну. «Разгоняли» температуру до 140, а потом пили чай с травами.

Припять – изумительный городок. Недаром архитекторы получили за него Государственную премию. Он создан на едином дыхании, сразу и окончательно. Огромная фигура Прометея, на многоэтажных домах мозаика, даже пара деревенских домов, оставшихся от бывшей здесь деревни, вписана в архитектурный ансамбль.

Времени хватало и на обдумывание вопросов, связанных с искусственной рефракцией. Прежде всего надо было понять, каким образом можно получить поперечную частотную модуляцию волны?

Первое, что приходило в голову – это рефлектор в виде большого вращающегося диска, расположенный под углом к падающей волне. Из-за эффекта Доплера каждый участок фронта волны, отражаясь от разных участков рефлектора, имеющих возрастающую по радиусу продольную компоненту скорости, приобретет поперечную частотную модуляцию.

Потом, внимательно перечитывая основы электродинамики, вообще пришел к совершенно парадоксальному для себя выводу – поперечная частотная модуляция – это самое распространенное в природе волновое явление, в неоднородной среде существующее всегда! Вот причины такого вывода.

1. Все реальные среды, кроме вакуума, имеют частотную дисперсию. Связано это с тем, что на микроскопическом уровне, определяющем диэлектрическую (или магнитную) проницаемость, волна взаимодействует с носителями заряда, которые представляют собой распределенные колебательные системы, имеющие собственные частоты колебаний, что обязательно приведет к

частотной дисперсии среды, т.е. зависимости ее диэлектрической проницаемости от частоты внешней волны. Неоднородных сред без частотной дисперсии в природе вообще не существует. Единственное пространство, которое не имеет частотной дисперсии и которое по сегодняшним научным представлениям не может быть неоднородным – это вакуум. Отсутствие частотной дисперсии в неоднородной среде – это математическая абстракция для упрощения задачи.

2. Любая волна, реально используемая для связи или радиолокации, имеет вполне определенный спектр. Опять же, понятие «монохроматическая волна» – это тоже математическая абстракция. Но спектральные компоненты имеют каждая свой показатель преломления в неоднородной среде, что приведет к неизбежному их «разбеганию» по углам, т.е. к поперечной частотной модуляции. Другими словами, распространение реального радиосигнала в реальной среде обязательно сопровождается появлением поперечной частотной модуляции!

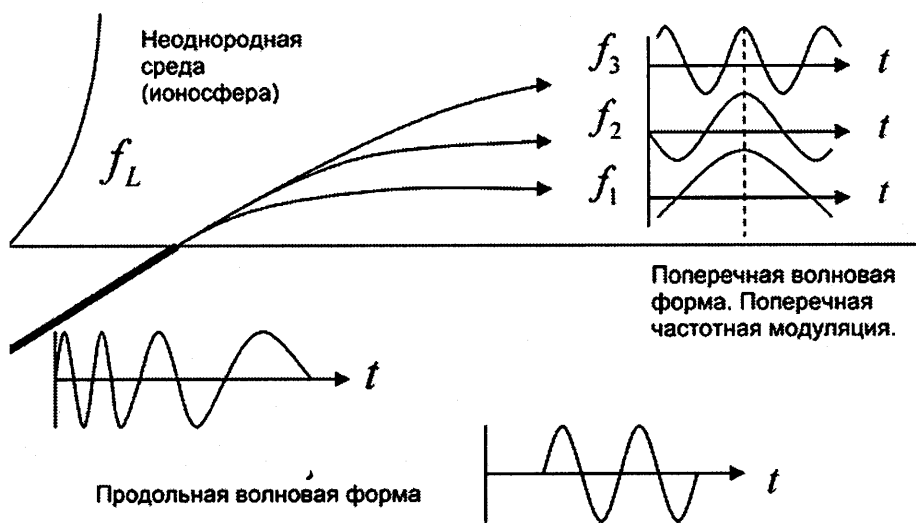


Рис. 2. Возникновение поперечной частотной модуляции в неоднородной среде с частотной дисперсией.

Моя последняя командировка в «Чернобыль-2» закончилась довольно необычным способом: бегством через дыру в заборе, ночью, через лес.

События развивались так.

В конце предыдущей командировки мой начальник Андрей Наумов попросил меня написать протокол испытаний аппаратуры. Поскольку материал был секретный, я пришел в первый отдел и попросил засекреченную отрывную тетрадь. На это мне ответили, что все тетради кончились, предложили съездить в Чернобыль и купить их в магазине.

В книжном магазине сообщили, что: «Зогальных зошитов немає, тильки зошиты по дві копійки». Вместо общих тетрадей, которых не было, пришлось купить два десятка ученических.

Сотрудницы первого отдела наотрез отказались их «засекречивать»:

– Ты знаешь, сколько с каждой тетрадкой мороки?

Я сообщил об этом А. Наумову, после чего тот сказал:

– Напиши протокол в обычной тетради, я его посмотрю, мне интересно, как он будет выглядеть, и потом его уничтожу.

Когда передавал ученическую тетрадку с протоколом, еще раз напомнил, что ее надо будет немедленно уничтожить после прочтения. Андрей кивнул головой и взял тетрадь.

Впереди был Новый Год, и мы уехали в Николаев.

Командировка в новом году продолжалась два дня. Утром второго дня пришел начальник площадки и сообщил:

– Кто-то из вас сядет. На территории стройбата найдена ученическая тетрадь с секретным материалом, написанная округлым почерком с наклоном в обратную сторону. Ее обнаружил сержант, единственный русский, у одного из солдат. Остальные бойцы стройбата из кишлаков и читать вряд ли умеют. Сержант выяснил, что тетрадку солдат взял из стола в той комнате, где вы сидели в прошлом году и которая сейчас ремонтируется.

– Дело пущено в оборот, киевское КГБ уже сличило почерк в тетрадке с образцами почерков на ваших командировках, но идентичных не обнаружило.

– Завтра с утра приедут графологи брать образцы почерков. Всем оставаться на местах, никуда не уезжать!

Я сразу понял, что это за тетрадь. А также понял, почему меня не «вычислили» – мою командировку выписывала наша сотрудница.

Я посмотрел на Наумова, тот схватился руками за голову и со словами: «Подожди, что-нибудь придумаем» – побежал советоваться с начальством.

Вернувшись, сообщил:

– Утечки секретной информации не произошло, поэтому все сошлись на том, что лишнего шума никому не надо, в том числе и военным. Все готовы спустить дело на тормозах, но рапорт в КГБ ушел от строителей, которые нашим военным не подчиняются, поэтому графологическая экспертиза завтра состоится. Военные попытаются все замять, но нужно, чтобы графологи тебя не обнаружили.

– Мы задним числом подпишем все бумаги, а ты ночью через дыру в заборе покинешь гостиницу. Самое главное, чтобы ты не попался на глаза охране. На «бетонку» не выходи, там может проезжать патруль.

Лес, зима, ночь, снег. По снегу идти трудно, но, слава богу – луна: что-то видно и можно придерживаться азимута на Чернобыль.

К Чернобылю вышел уже под утро. Было холодно, до первого рейсового автобуса на Киев оставалось еще много времени, и, чтобы не замерзнуть, пошел по киевской трассе. Через час меня подобрала попутка, которая довезла до Киева.

Меня больше уже не рисковали посылать в «Чернобыль-2», а для начала направили в читинскую область на пуски геофизических ракет для экспресс-обработки снятых на десяти частотах данных напряженности поля по высоте.

Когда был проездом в Москве, заехал в ИЗМИРАН, чтобы передать статью для опубликования в сборнике института. Здесь встретился со вторым из известных мне на тот момент специалистов-теоретиков в области волновых процессов – Ю.Н. Черкашиным. Завел разговор об искусственной рефракции.

Юрий Николаевич слушал невнимательно, лишь слабый интерес вызвало мое упоминание о функции Эйри, но вопросы и тон

беседы говорили о том, что подымаемая мною проблема ему совсем не интересна.

Как уже повелось, наши читинские данные по ВИП не вписывались в модель радиоканала и пришлось вводить еще один эмпирический параметр. Это был двадцать первый пуск, таково же стало и общее число этих параметров.

Энергоснабжение локатора под Калиновкой происходило по схеме сельской местности — объект не считался оборонным. Иногда возникали сбои напряжения в виде его пропадания или резкого броска, а чаще в виде последовательности этих событий. В таких случаях программист, сидевший за пультом ЭВМ 5Э92Б кричал «Держите барабаны!» и все, кто был в зале, бросались к рубильникам. Барабаны, которые потом, в будущем, не выдержали конкуренции с дисками, были самыми чувствительными устройствами двух вычислительных машин, военных аналогов «БЭСМ-6». Барабаны останавливались два часа, потом восемнадцать часов раскручивались. В работе возникал перерыв, иногда очень нужный, почти в сутки. Было несколько, казалось бы, совершенно безвыходных ситуаций, когда визит особо доверенного инженера на подстанцию исправлял положение.

Зато ЭВМ «К-340» разработки и производства НИИДАР удивляли своей надежностью. Они могли функционировать при любых напряжениях и в любых условиях. Эти машины начинали работать прямо с момента включения, без всяких там загрузок программ и возможности их затирания: они занесены в полупостоянную память в виде больших кассет с дырочками. Если в дырочку вставил ферритовый стерженек — это «единица», если нет — это «нуль». У программистов, среди которых, первоначально, был и я, существовал термин «засыпать программу». Все в кодах машины, для написания программ используется восьмеричная система счисления. Там после цифры 7 сразу следует цифра 10. Цифры 8 и 9 стали казаться какими-то потусторонними. Все настолько привыкли к этой восьмеричной системе (ею пользовались целый рабочий день), что

периодически стали возникать недоразумения в магазинах Николаева. Потом продавцы привыкли:

– А, эти из Калиновки. У них там своя арифметика.

Наш коллектив оказался разделенным на две части – одна в Чернобыле-2, другая в Николаеве. Тогда Василий Афанасьев придумал систему, как поддерживать отношения дистанционно. Например, в Чернобыле-2 у кого-то день рождения. Готовится фирменное блюдо «Водка с рожками» (Здесь не надо представлять себе водку с маленькими рогами, «рожки» - это вид макаронных изделий, т.е. закуска).

Все застолье с тостами записывается на магнитную ленту, которая потом с оказией передается в Николаев. Здесь она ставится на магнитофон и начинается дубль дня рождения для остального коллектива. Так же поступали и в обратном направлении.

Эксперименты в Николаеве по обнаружению пусков ракет продолжались. Если по ближнему полигону, на одном скачке – полный успех, то по дальнему, для которого нужен «скользящий мод» (именно так, в мужском роде, в НИИДАР использовали слово «мода»), – успех не был гарантирован. Часто во время пусков директор НИИДАР Ф.А. Кузьминский отключал программы ОЧУР и набирал рабочую частоту вручную, по каким-то своим соображениям.

«Обнаруженцы» заговорили о массовом пуске и «ро-фи критерии», который якобы исправит положение, а вновь назначенный директор НФ НИИДАР В.А. Алебастров высказал идею о «ракурсном рассеянии» и необходимости организовать вынесенные пункты приема.