

ПРИЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАДИОСИГНАЛОВ СОВЕТСКИХ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТ

В. А. Котельников, В. М. Дубровин, О. Н. Ржига, А. М. Шаховской

Искусственные спутники земли. Вып. 17, 1963 г.

В настоящей статье приведены результаты наблюдений за радиосигналами трех советских космических ракет, запущенных в 1959 г. в сторону Луны. Некоторые данные об этих ракетах приведены в таблице.

Название	Задача полета	Дата запуска	Частоты передатчиков, МГц
1-я ракета	Пролет вблизи Луны	2 января	19,993 и 183,600
2-я ракета	Попадание в Луну	12 сентября	19,993, 39,986 и 183,600
3-я ракета	Облет и фотографирование обратной стороны Луны	4 октября	39,986 и 183,600

1. Установка для одновременного приема и регистрации сигналов на частотах 20 и 40 МГц

Коротковолновые передатчики, установленные на контейнере с научной аппаратурой 2-й советской космической ракеты, имели общий задающий генератор, стабилизированный кварцем, и кратные рабочие частоты 19,993 и 39,986 МГц. Передатчики работали в телеграфном режиме так, что пауза одного из них соответствовала излучению другого и наоборот. Кратность рабочих частот передатчиков была использована при конструировании приемной установки для одновременной настройки на обе частоты.

Приемная часть установки, блок-схема которой показана на рис. 1, имеет два канала — один на 20 МГц, другой на 40 МГц. Канал на 20 МГц состоит из антенны 1 с антенным усилителем 3 и коротковолнового приемника 5. В канале 40 МГц после антенного усилителя 4 включен смеситель 6 с гетеродином 7, понижающий частоту сигнала, поступающего на вход коротковолнового приемника 8, до 3 МГц.

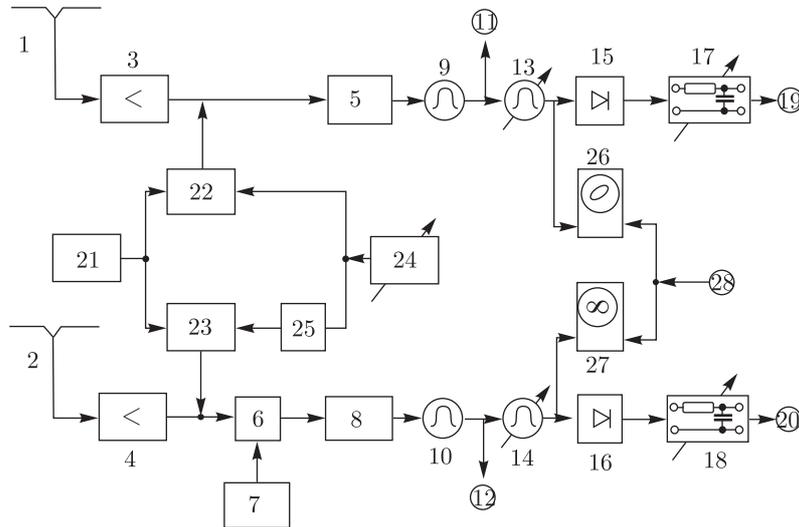


Рис. 1. Блок-схема установки для одновременного приема и регистрации сигналом на частотах 20 и 40 МГц: 1, 2 — антенны типа «волновой канал» на 20 и 40 МГц соответственно; 3, 4 — антенные усилители; 5 — приемник на 20 МГц; 6, 7 — смесители и гетеродин ($J_T = 37$ МГц) в канале 40 МГц, 8 — коротковолновый приемник в канале 40 МГц; 9, 10 — полосовые фильтры на 1 и 2 кГц соответственно; 11, 12 — выходы каналов на магнитную запись; 13, 14 — узкополосные фильтры (на 1 и 2 кГц); 15, 16 — детекторы огибающей; 17, 18 — интегрирующие цепочки; 19, 20 — выходы к самописцам; 21 — генератор эталонной частоты 2 МГц; 22, 23 — умножители-модуляторы; 24 — генератор модулирующей частоты (8 кГц); 25 — удвоитель модулирующей частоты; 26, 27 — контрольные осциллографы; 28 — вспомогательное напряжение частоты 1 кГц

Чтобы исключить влияние настроек приемников и нестабильность частоты гетеродинов, в каналы вводятся колебания опорных частот, дающие с сигналом при совместном детектировании в приемниках биения разностной (низкой) частоты. Источником колебаний опорных частот служат умножители-модуляторы 22 и 23. На первые сетки ламп этих умножителей от генератора 21, стабилизированного кварцем в пассивном термостате, поступает колебание с частотой 2 МГц, а на третьи сетки — модулирующее напряжение с частотой f_0 от генератора 24. Спектр колебаний в анодной цепи умножителей-модуляторов образован составляющими основных частот, следующих через 2 МГц, и их боковых частот. В канале 20 МГц боковые частоты отстоят от основных на $\pm f_0$, а в канале 40 МГц вдвое дальше, так как частота модулирующего колебания в этом канале предварительно удваивается умножителем 25. При настройке на сигнал из всей суммы колебаний в приемниках вместе с сигналом выделяются только нижние боковые

составляющие с частотами $(20 - f_6)$ МГц и $(40 - 2f_6)$ МГц. Частоты этих боковых составляющих отличаются ровно в два раза.

Изменяя настройку генератора модулирующей частоты, устанавливают частоту биений сигнала и опорного колебания в канале 20 МГц равной 1 кГц; при этом в канале 40 МГц частота биений будет 2 кГц. Приемники настраивают таким образом, чтобы сигнал оказался в центре, а опорное колебание — на краю полосы пропускания усилителя промежуточной частоты каждого из приемников; тогда зеркальные каналы будут вне полосы пропускания приемников.

Точность настройки контролируется с помощью осциллографов 26, 27 по фигурам Лиссажу, образованным биениями на выходе приемников и вспомогательным напряжением частоты 1000 Гц от кварцевого генератора 28. Если излучаемые передатчиками частоты находятся в строго кратном отношении, то при точной настройке на экранах осциллографов одновременно наблюдаются неподвижные изображения: эллипс в канале 20 МГц и фигура, напоминающая восьмерку, в канале 40 МГц.

Описанная схема двухканального приема оказалась особенно полезной в случае приема слабого сигнала с глубокими замираниями. Если при этом в одном из каналов сигнал терялся на фоне помех, то его можно было наблюдать в другом канале.

Огибающие биений на выходе приемников выделяются детекторами 15 и 16 и регистрируются на бумажной ленте самописцами 19 и 20. Изменяя параметры интегрирующих цепочек 17, 18, можно менять постоянную времени детекторов в пределах от 0,5 до 5 сек. Перед детекторами включены полосовые фильтры 13, 14 с переменной полосой пропускания. Полоса пропускания фильтра 13 в канале 20 МГц может принимать одно из трех значений — 50, 100 или 250 Гц; значения полосы пропускания фильтра 14 в канале 40 МГц в два раза больше.

Сигналы по обоим каналам фиксировались также на магнитную ленту (с точек 11 и 12). Помимо биений с частотами 1 кГц и 2 кГц, на магнитную ленту записывалось масштабное колебание частоты 300 Гц от кварцевого генератора. Начало записи этого колебания на ленте точно соответствовало определенной минуте астрономического времени. Чтобы избежать попадания шума из одного канала в другой при сложении каналов, на выходе приемников поставлены полосовые фильтры 9 и 10. Благодаря этому записанные колебания при воспроизведении записи могут быть разделены при помощи полосовых фильтров. Для приема сигналов 1-й и 3-й ракет использовались несколько видоизмененные варианты этой же блок-схемы. Так, например, для приема сигналов 3-й космической ракеты на частоте 183,6 МГц использовался канал 20 МГц с конвертером, понижающим частоты сигнала.

Общий вид антенн типа «волновой канал», использовавшихся для приема сигналов космических ракет, показан на рис. 2. Антенна на частоту 20 МГц — двухъярусная, трехэлементная, а на частоту 40 МГц — десятиэлементная с двумя независимыми каналами для приема сиг-

налов с взаимно перпендикулярными поляризациями. Антенны имеют установку по азимуту и углу места. Коэффициент усиления антенны на 20 МГц равен 8–10, антенны на 40 МГц — около 20; эффективная площадь антенн 200 и 100 м² соответственно.

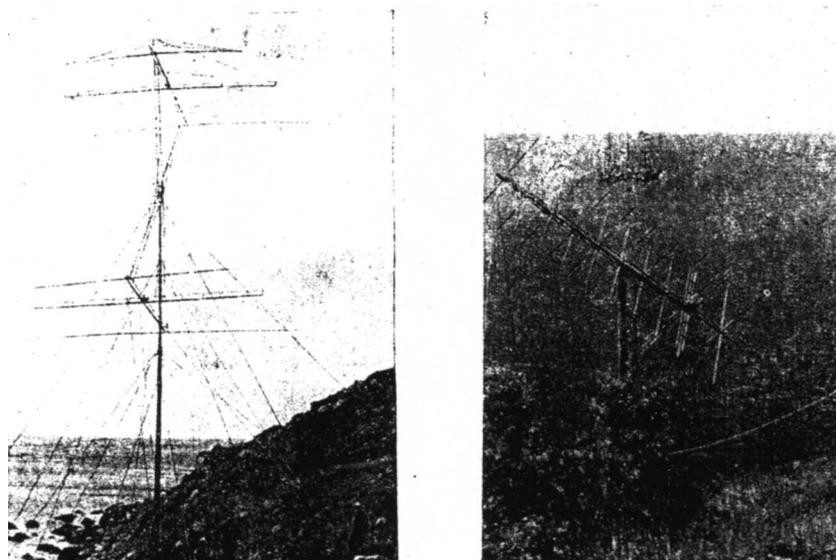


Рис. 2. Антенны, использовавшиеся для приема радиосигналов советских космических ракет: *а* — антенна на 20 МГц, *б* — антенна на 40 МГц

Антенные усилители, служащие для компенсации потерь в фидерах и улучшения чувствительности приемников, имели фактор шума 3–5 в канале 20 МГц и около 2 в канале 40 МГц. Реальная чувствительность приемной установки определялась в основном интенсивностью космического радиоизлучения, эффективная температура которого на частоте 40 МГц составляет, как известно, несколько тысяч градусов, на частоте 20 МГц даже несколько десятков тысяч градусов.

Работа всей установки неоднократно проверялась по сигналам передатчика 3-го советского искусственного спутника Земли на основной частоте (20,005 МГц) и на ее второй гармонике (40,010 МГц). При этом превышение уровня сигнала второй гармоники передатчика над шумами в полосе 100 Гц достигало 10 раз и более (по напряжению).

2. Наблюдения за радиосигналами советских космических ракет

Прием на частоте 20 МГц начинался спустя примерно 20–30 мин после восхода контейнера, когда он попадал в нижний лепесток диа-

граммы направленности приемной антенны. Осциллограммы сигналов 1-й космической ракеты на частоте 20 МГц (полоса пропускания приемника 250 Гц) приведены на рис. 3. Эти сигналы были записаны 3.I.1959 г. в 3 час. 41 мин., когда контейнер находился в 115 000 км от Земли. На осциллограммах видны поляризационные замирания сигнала, связанные с вращением контейнера и следовавшие с периодом около 1 мин.

Приемные антенны были установлены на крутом берегу моря (см. рис. 2). Вследствие значительной ширины диаграммы направленности, кроме прямого луча, принимался также луч, отраженный от поверхности моря. В зависимости от разности фаз обоих колебаний сигнал усиливался или ослаблялся. Период этих изменений силы сигнала, зависящий от высоты антенны над уровнем моря и скорости изменения угла падения сигнала, составлял в среднем 1 час.

Чтобы использовать это явление для увеличения сигнала на частоте 20 МГц, ниже первой антенны (см. рис. 2) была установлена вторая антенна, подобная первой. Благодаря разной высоте над уровнем моря максимумы приема первой антенны при изменении угла падения сигнала попадали на минимумы второй, а максимумы второй — на минимумы первой. Когда на выходе одной антенны сигнал начинал ослабевать, приемник подключался ко второй антенне. При сложении интерферирующих колебаний в фазе наблюдалось заметное возрастание силы сигнала.

Окончание приема на частоте 20 МГц происходило задолго до того, как контейнер выходил из зоны прямой видимости, и совпадало по времени с восходом Солнца. Перед восходом Солнца сигнал начинал ослабевать, увеличивался шум, принимаемый из антенны, и появлялись частые замирания, обусловленные особенностями распространения радиосигналов в земной ионосфере. Временами сигнал полностью тонул в шумах, затем появлялся на короткое время с большим уровнем и окончательно терялся с восходом Солнца на фоне дальних радиостанций, прохождение сигналов от которых в ночное время не наблюдалось. Прием сигналов на частоте 20 МГц за пределами прямой видимости зарегистрирован не был.

В 5 час. 50 мин. при прохождении 1-й космической ракеты вблизи Луны (максимальное сближение в 5 час. 57 мин.) сигнал передатчика на частоте 20 МГц быстро исчез и вновь постепенно появился примерно в 6 час. 15 мин. Прием на частоте 183,6 МГц в это время продолжался, и заметного изменения уровня сигнала не наблюдалось. Пропадание сигнала на частоте 20 МГц произошло за два с половиной часа до восхода Солнца и не сопровождалось частыми замираниями, характерными для изменения условий распространения в земной ионосфере.

Прием сигналов 2-й космической ракеты на частоте 20 МГц начинался вскоре после захода Солнца и продолжался до выхода контейнера из зоны прямой видимости. На частоте 40 МГц характер приема был иным. Слабые сигналы передатчика 40 МГц были обнаружены

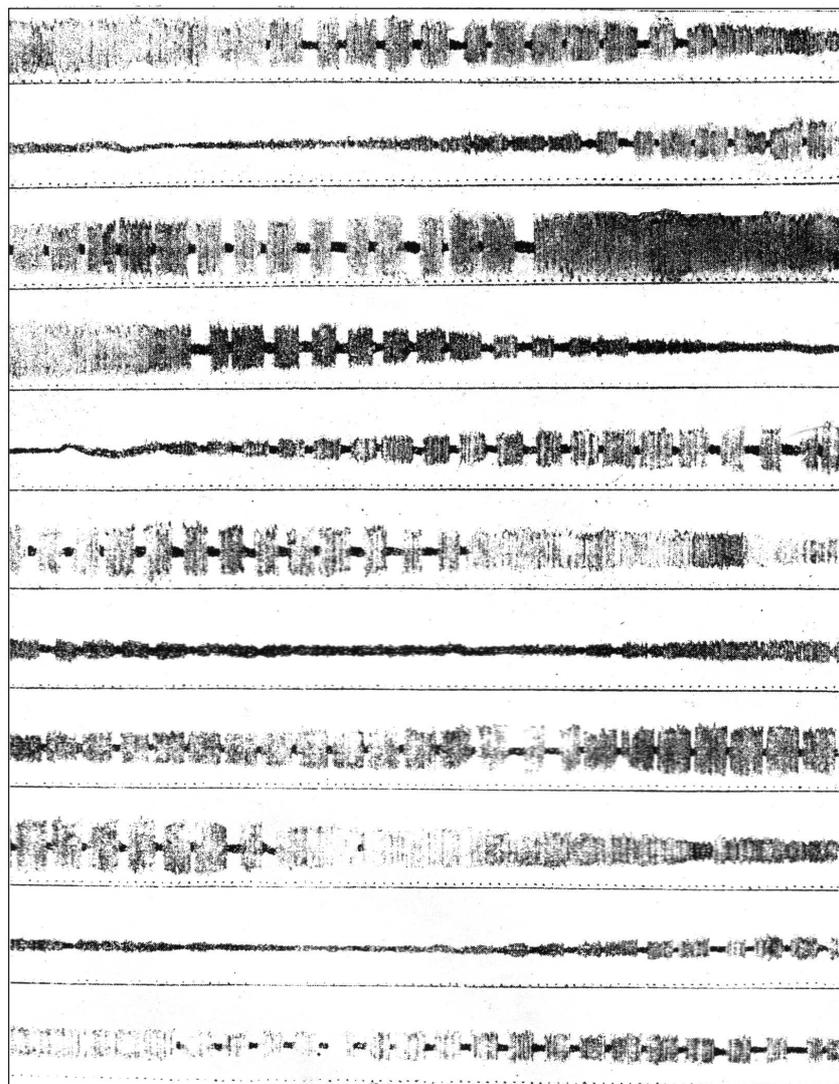


Рис. 3. Осциллограммы радиосигналов 1-й советской космической ракеты на частоте 20 МГц (запись 3 января 1959 г.). Точки в нижней части осциллограмм — метки времени; интервал между метками 0,2 сек

примерно за 15 мин до восхода контейнера. Временами наблюдались глубокие замирания сигнала на 20–30 сек. Уверенный прием начался примерно через полчаса после восхода контейнера. Влияние земной ионосферы на распространение сигнала на этой частоте было зна-

чительно меньше. Уровень сигнала до и после захода Солнца был примерно одинаковым.

3. Прилунение контейнера 2-й советской космической ракеты

Время прилунения контейнера 2-й советской космической ракеты было определено по прекращению работы установленных на контейнере передатчиков. На рис. 4 приведена запись сигнала на частоте 20 МГц в последние минуты перед прилунением контейнера. Из рисунка видно, что уровень сигнала на частоте 20 МГц перед прилунением контейнера заметно возрос. Окончание приема соответствует 0 ч. 02 м. 23,5 с. $\pm 0,25$ с. московского времени. Вычитая время распространения радиосигнала от Луны до Земли (1,25 сек), найдем, что прилунение контейнера 2-й советской космической ракеты произошло в 0 ч. 02 м. 22,25 с. $\pm 0,25$ с. московского времени 14.IX.1959 г. Это же время было зафиксировано и на частоте 183,6 МГц [1].

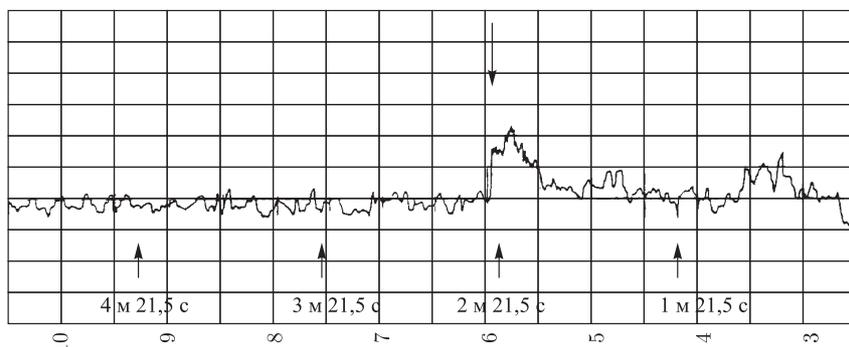


Рис. 4. Запись радиосигналов 2-й советской космической ракеты на частоте 20 МГц в последние минуты перед прилунением контейнера (14 сентября 1959 г.). Стрелка в верхней части рисунка — момент исчезновения сигнала (прилунение)

Перед прилунением контейнера наблюдалось доплеровское изменение частоты, вызванное изменением радиальной скорости контейнера из-за действия поля тяготения Луны. Изменение принимаемой частоты передатчика 20 МГц на последнем участке движения контейнера показано на рис. 5. Здесь точность измерения частоты составляла $\pm 1,5$ Гц. За последний час частота сигнала уменьшилась примерно на 50 Гц. Это соответствует увеличению радиальной скорости контейнера на $750 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$.

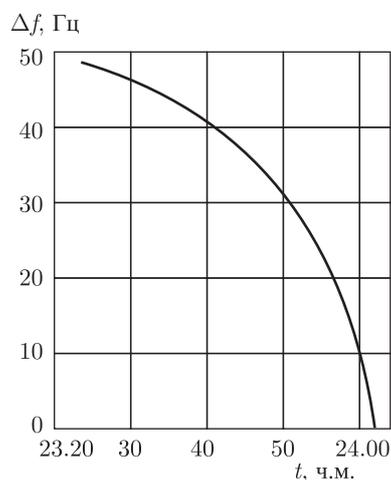


Рис. 5. Изменение принимаемой частоты передатчика 20 МГц на последнем участке движения контейнера 2-й советской космической ракеты

4. Замирания сигнала, вызываемые вращением контейнера

Эффект замираний сигналов 1-й советской космической ракеты на частоте 20 МГц в результате вращения контейнера можно видеть на осциллограммах рис. 6. Эти замирания носили регулярный характер. Как видно из осциллограмм, период замираний и в первом (3 января) и во втором сеансе наблюдений (4 января) оставался одним и тем же и составлял 50–55 сек. Иногда наблюдалось чередование замираний различной глубины при сохранении среднего периода в двух последовательных замираниях (справа на рис. 6, *a*).

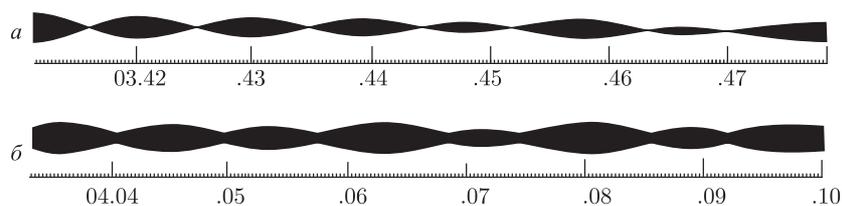


Рис. 6. Замирание радиосигналов 1-й советской космической ракеты на частоте 20 МГц (даны метки времени, ч. м.): *a* — 3 января 1959 г. (полоса 250 Гц); *b* — 4 января 1959 г. (полоса 100 Гц)

Последнее явление можно объяснить прецессией (вместе с контейнером) передающей антенны, диаграмма направленности которой имела форму неправильного тора. При тороидальной форме диаграммы

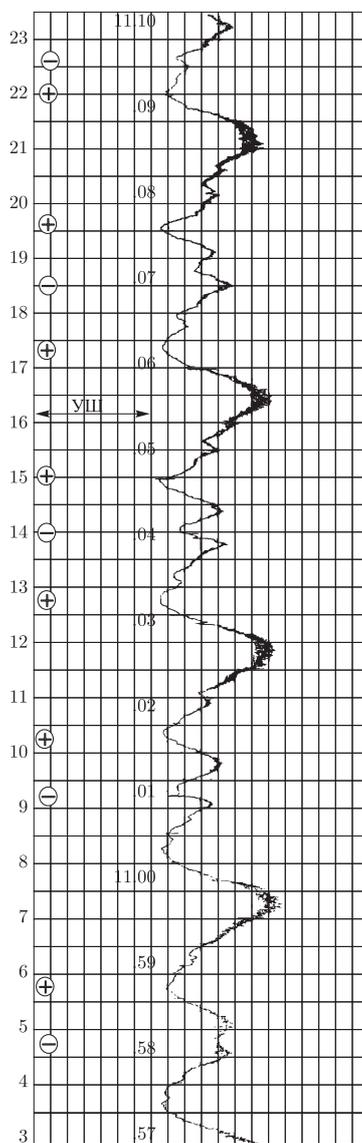


Рис. 7. Замирание радиосигналов 3-й советской космической ракеты на частоте 183,6 МГц 17 октября 1959 г. Знаком плюс отмечены минимумы, имеющие поляризационное происхождение, а знаком минус (в кружке) — минимумы, обусловленные диаграммой направленности передающей антенны; У.Ш. — уровень шумов

направленности замирания сигнала должны повторяться дважды за период вращения. Исходя из этого можно найти, что средний период вращения контейнера 1-й советской космической ракеты равнялся 108 сек. Для контейнера 2-й советской космической ракеты он составлял 86 сек. Период вращения контейнера 3-й советской космической ракеты до фотографирования обратной стороны Луны был равен 165 сек; во время фотографирования работала система ориентации, и вращение контейнера было прекращено, а после фотографирования период вращения составлял 180 сек.

Запись сигналов 3-й советской космической ракеты на частоте 183,6 МГц изображена на рис. 7. Эта запись была получена с диполем, имевшим горизонтальную поляризацию. При сопоставлении ее с аналогичной записью, полученной с диполем, имевшем вертикальную

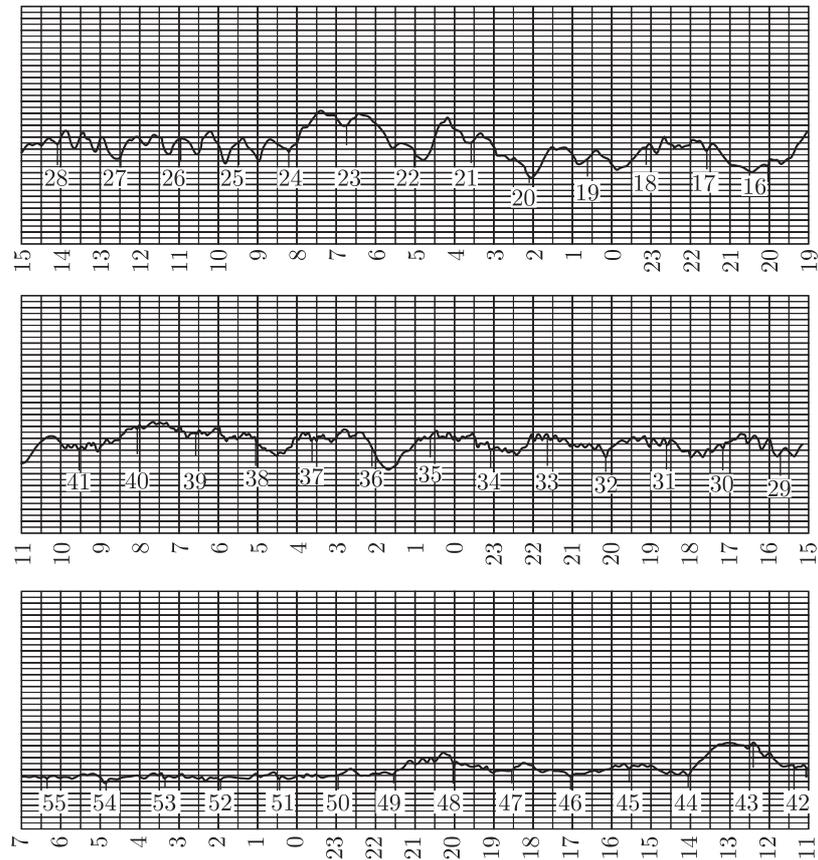


Рис. 8. Замирание радиосигналов 2-й советской космической ракеты на частоте 20 МГц перед заходом контейнера (13 сентября 1959 г.)

поляризацию, были разделены поляризационные минимумы и максимумы, обусловленные формой диаграммы направленности передающей антенны.

Как видно из рис. 7, поляризационные минимумы появлялись дважды за один оборот контейнера, т.е. через 90 сек, а минимумы, связанные с диаграммой направленности, — один раз за один оборот, т.е. через 180 сек.

5. Наблюдения эффекта Фарадея

Влияние эффекта Фарадея, вызывающего вращение плоскости поляризации принимаемых сигналов при прохождении их через земную ионосферу, отчетливо проявлялось на частоте 20 МГц. Вследствие эффекта Фарадея с восходом Солнца, когда резко изменяется концентрация ионов на пути распространения сигнала, наблюдалось уменьшение периода поляризационных замираний.

Так, например, период замираний сигналов 1-й советской космической ракеты на частоте 20 МГц утром 3 января в 7 час. 50 мин. составлял 40 сек, в 8 час. 15 мин. уменьшился до 20 сек, а в 8 час. 25 мин. стал равен 10 сек.

Постепенное учащение поляризационных замираний из-за эффекта Фарадея на заходе контейнера 2-й космической ракеты 13 сентября можно видеть на рис. 8, где около вертикальных штрихов проставлены часы и минуты (постоянная времени самописца — 5 сек). Период замираний сокращался с увеличением толщи ионосферы на пути распространения сигнала. Угол места контейнера в 2 час. 30 мин. был около 8°.

Дата поступления 16 июня 1962 г.

Литература

1. В. В. Виткевич, А. Д. Кузьмин и др. Радиотехника и электроника, 6, 1420, 1961.