

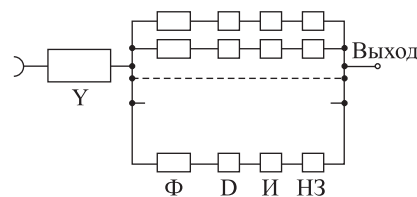
## СВЯЗЬ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ В РАДИОДИАПАЗОНЕ

*В. А. Котельников*

Кн. «Внеземные цивилизации». Труды совещания. Бюракан. 20–23 мая,  
1964 г. Ереван, 1965, с. 113

Цель данного сообщения — рассмотреть возможность связи с внеземными цивилизациями в случае, когда их техника базируется на принципах, уже освоенных в земных условиях, и опережает нашу на несколько десятков лет. Наша техника берется на уровне, достижимом уже в настоящее время. Хотя весьма вероятно, что цивилизации на ряде планетных систем опережают нашу на тысячи или даже миллионы лет, все же такое рассмотрение, очевидно, целесообразно. Данная работа никак не претендует на полноту охвата рассматриваемого вопроса. В ней даются лишь некоторые примеры, вовсе не претендуя на то, что они являются оптимальными.

Рассмотрим передачу сигналов в виде длинных монохроматических посылок. Такая передача с точки зрения помехоустойчивости не хуже других методов передачи, но более проста в осуществлении и поэтому весьма вероятно, что будет применяться по крайней мере в начале. Очевидно частота посылок нам заранее не известна и может при передаче информации меняться. В этом случае оптимальным приемником будет являться приемник, собранный по схеме, (см. рис.).



На этой схеме  $У$  — усилитель, могущий содержать преобразователи спектра частот принимаемых колебаний;  $\Phi$  — фильтры с полосой  $\Delta f$ , перекрывающие весь принимаемый диапазон частот;  $D$  — детекторы;  $I$  — интеграторы, дающие энергию, прошедшую через фильтр за время посылки длительностью  $\tau$ ;  $НЭ$  — соответственно подобранные нелинейные элементы, выходы которых складываются. Если выход

такого приемника будет превосходить некоторый уровень, то это будет означать, что в полосу приемника попал сигнал.

Для простоты, не сильно теряя в помехоустойчивости, можно заменить нелинейные устройства пороговыми, которые дают сигнал на выходе, если энергия колебания, прошедшая через фильтр за время  $\tau$ , превзойдет некоторый порог. Дальше мы будем рассматривать такой вариант.

Пусть передающая и приемные антенны с эффективными площадями  $S_1$  и  $S_2$  направлены друг на друга, тогда максимальное расстояние, на которое будет приниматься сигнал таким приемником, будет:

$$R = \sqrt{\frac{PS_1S_2\tau}{\lambda^2kT_{ш}\Psi}}, \quad (A)$$

где  $P$  — мощность передатчика,  $\lambda$  — длина волны,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  дж/град,  $T_{ш}$  — шумовая температура приемника,  $\Psi$  — зависит от  $\Delta f$ , числа фильтров  $n$ , установки порога, определяемого вероятностью ложного срабатывания приемника  $p_{лс}$  и допустимой вероятностью пропуска сигнала  $p_{пр}$ .

При изменении  $\Delta f$  величина  $\Psi$  имеет минимум при  $\Delta f \cong 1/\tau$ . Он при  $p_{лс}$  и  $p_{пр}$ , меньших  $10^{-2}$ , равен:

$$\Psi_m \cong \left( \sqrt{\ln \frac{n}{p_{лс}}} - 2 + \sqrt{\ln \frac{1}{p_{пр}}} - 2 \right)^2.$$

В ряде случаев при большом  $\tau$  сделать  $\Delta f = 1/\tau$  не представляется возможным, так как из-за нестабильности сигнал будет выходить за столь узкие фильтры. В случае  $\Delta f \gg 1/\tau$  будем иметь:

$$\Psi \cong \sqrt{2\Psi_m\tau\Delta f}.$$

Делать  $\Delta f < \frac{1}{\tau}$  нецелесообразно, так как это вызовет трудность в построении системы и увеличит  $\Psi$ , т. е. уменьшит  $R$ .

Рассмотрим пример. Пусть мощность передатчика неземной цивилизации будет равна  $P = 10^9$  Вт (1% электроэнергии, потребляемой в США). Эффективная площадь передающей антенны

$$S_1 = 10^5 \text{ м}^2,$$

приемной, нашей, антенны —

$$S_2 = 10^4 \text{ м}^2,$$

$$T_{ш} = 30^\circ.$$

Такие параметры приемной антенны можно получить сейчас у нас.

Длину волны возьмем:

$$\lambda = 0,1 \text{ м}.$$

Беря достижимую в настоящее время стабильность  $10^{-10}$ , получим ширину полосы фильтра

$$\Delta f = 0,3 \text{ Гц.}$$

При такой полосе можно взять  $\tau \gg \Delta f$ . Берем  $\tau = 1800$  сек,

$$p_{\text{лс}} = p_{\text{пр}} = 10^{-5} \quad \text{и} \quad n = 10^9.$$

Тогда получим

$$\Psi = 280.$$

По формуле (А) будем иметь:

$$R = 1,28 \cdot 10^{21} \text{ м}$$

или 128 000 св. лет, что больше диаметра Галактики.

Если передавать по такой линии информацию, меняя частоту сигнала от посылки к посылке, то информативность будет равна

$$\frac{\lg_2 n}{\tau} = \frac{\lg_2 10^9}{1800} = \frac{1}{60} \text{ двоичных единиц за секунду.}$$

Информативность быстро растет с уменьшением  $\tau$ . Если принять  $\tau = \Delta f^{-1} = 3,3$  сек, то получим при

$$p_{\text{лс}} = p_{\text{пр}} = 10^{-5} \quad \text{и} \quad n = 10^9, \\ \Psi = 73 \quad \text{и} \quad R = 10^{20} \text{ м} \quad \text{или} \quad 10000 \text{ св. лет.}$$

При этом информативность будет

$$\frac{\lg_2 n}{\tau} = \frac{\lg_2 10^9}{3,3} = 9 \text{ дв. знаков в сек.}$$

При расстоянии в 100 св. лет  $\tau$  можно уменьшить на четыре порядка, примерно во столько же раз увеличится информативность.

Рассмотренный приемник обладает довольно узкими фильтрами. Для того чтобы сигнал под влиянием изменений частоты, вызванных ускорениями передатчика и приемника, не выходил за пределы полосы фильтров, на передатчике и приемнике должна производиться компенсация этих изменений. Это сделать возможно, так как ускорения, вызванные движением планет, в каждом пункте известны.

Отметим еще, что очень большое число отдельных каналов в приемнике (см. рис.) может быть, по всей видимости, заменено более простым устройством, выполняющим ту же роль.

Рассмотрим теперь вопрос отыскания звезды, с планетной системы которой ведется передача сигналов.

Пусть цивилизация этой звезды имеет передатчик с параметрами, взятыми в ранее рассмотренном примере, т. е.  $P = 10^9$  Вт,  $S_1 = 10^5$  м<sup>2</sup>,  $\lambda = 0,1$  м. Пусть антенна облучает поочередно отдельные звезды или всю небесную сферу, проходя звезду, скажем, за  $\tau = 3$  сек. При большем  $\tau$  задача поиска может еще облегчиться.

Луч антенны захватывает телесный угол  $\lambda^2/S_1$  и, таким образом, чтобы обойти всю небесную сферу, потребуется время

$$\tau_{\text{п}} = \tau \frac{4\pi S_1}{\lambda^2}.$$

При взятых параметрах получим  $\tau_{\text{п}} = 3,8 \cdot 10^8$  сек или 12 лет.

Значительно меньшее время получим, если будут облучаться отдельные звезды и антенна будет быстро переводиться с одной звезды на другую.

Так, время обхода для облучения по очереди всех  $10^7$  звезд в радиусе 1000 св. лет будет:

$$\tau_{\text{п}} = 3 \cdot 10^7 \text{ сек, или 1 год.}$$

Если принять, что путем отбора наиболее «перспективных» звезд будет облучаться только 1% звезд в радиусе 1000 св. лет, то время обхода будет  $\tau_{\text{п}} = 3 \cdot 10^5$  сек, т. е. около четырех суток. При облучении звезд в сфере меньшего радиуса время обхода еще уменьшится. Таким образом, в варианте быстрого перевода антенны со звезды на звезду время обхода получается не слишком большим.

В качестве приемной системы возьмем систему, состоящую из отдельных направленных антенн, перекрывающих своими лучами всю небесную сферу. В этом случае, если мы хотим обнаружить передатчик с упомянутыми выше параметрами с расстояния 1000 св. лет, то в соответствии с формулой (А) надо взять площадь приемной антенны  $S_2 = 100 \text{ м}^2$ . При этом предполагается, что приемник работает в соответствии со схемой рисунка и взято  $\Delta f = \tau^{-1}$ ,  $T_{\text{ш}} = 30^\circ$ . Учитывая, что луч такой антенны перекрывает телесный угол  $\frac{\lambda^2}{S_2}$ , для перекрытия всей небесной сферы понадобится

$$m_2 = \frac{4\pi S_2}{\lambda^2} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ лучей.}$$

Антенна в данном варианте не должна следить своими лучами за звездами. Поэтому одна антенна может иметь, очевидно, несколько десятков лучей, Таким образом, число антенн может быть в несколько десятков раз меньше, чем  $m_2$ . Однако число приемных каналов должно быть равно  $m_2$ , и каждый приемный канал должен охватывать фильтрами весь диапазон, где могут ожидать сигналы.

Если предположить, что передающая сигналы цивилизация достаточно развита и может на основании данных своей астрономии выделить 1%, звезд, у которых может существовать цивилизация земного уровня, то, как было сказано выше, обход облучением звезд сферы радиуса 1000 св. лет займет всего лишь около четырех суток. В таком варианте можно обследовать не сразу весь небосвод, а по частям, например, лежащим между определенными значениями склонения. Так, если поделить небосвод на 10 частей, то достаточно будет каждую

часть обследовать, скажем, по одному месяцу (при наличии сигнала он появится 7 раз за это время) и завершить обследование всего небосвода за 1 год. При этом число приемных каналов и антенн можно будет еще уменьшить в 10 раз.

Построение рассмотренной приемной сетки в земных условиях хотя и потребует существенных затрат, однако вполне возможно.

Рассмотренная система позволит обнаружить цивилизацию с упомянутым выше радиопередатчиком, если она существует, на расстоянии от Земли, не превышающем 1000 св. лет. Поскольку на этом расстоянии существует около  $10^7$  звезд, то поиски будут успешными, если передатчик будет хотя бы у одной звезды из этого числа.

В случае, если уменьшить расстояние поиска, задача сильно упрощается.

В таблице даны данные, когда взаимно обследуются сферы с радиусом 2000, 1000, 500 или 200 св. лет, имеющие соответственно  $10^8$ ,  $10^7$ ,  $10^6$  или  $10^5$  звезд. Данные таблицы получены аналогично сказанному выше. В графе 7 указано число частей, на которое можно разбить небосвод с тем, чтобы закончить обзор всего небосвода за 1 год. При этом время наблюдения за одной частью бралось примерно в 10 раз больше величины, указанной в графе 4.

Как видно из таблицы, в случае, если существует только одна цивилизация, с принятым тут довольно «скромным» уровнем, на  $10^8$  звезд, то ее обнаружить при современном уровне развития нашего общества очень трудно; если одна цивилизация на  $10^7$  звезд, то при некоторых усилиях — возможно; если одна на  $10^6$  звезд, то ее обнаружение сейчас вполне реально.

Таблица

Радиус сферы, св. лет	Число звезд в сфере	Время обхода всех звезд	Время обхода 1% звезд	Площадь приемной антенны, м <sup>2</sup>	Число приемных каналов на весь небосвод	Число частей, на которое можно разбить небосвод	Число приемных каналов при делении небосвода
2000	$10^8$	10 лет	36 дн.	400 м <sup>2</sup>	480000	1	480000
1000	$10^7$	1 год	4 дн.	100 м <sup>2</sup>	120000	10	12000
500	$10^6$	36 дн.	9 час.	250 м <sup>2</sup>	30000	100	300
200	$10^5$	4 дн.	1 час.	4 м <sup>2</sup>	4800	1000	5

Конечно, если внеземная цивилизация будет применять более мощные устройства, то рассмотренными средствами ее удастся обнаружить на больших расстояниях.

После того как будет установлена цивилизация, посылающая радиосигналы, на нее должна быть направлена антенна с большой эффективной площадью, так как, по всей видимости, эта цивилизация, помимо мощных сигналов, служащих для обнаружения, дает еще в тех же направлениях и информацию, для принятия которой нужны более эффективные антенны. Для установления более информативной связи следует послать к обнаруженной цивилизации радиосигналы от нас. Принять их не будет представлять труда, так как наш передатчик может быть все время направлен на обнаруженную цивилизацию. После этого антенны обеих цивилизаций будут направлены друг на друга и можно будет установить более эффективную передачу информации.

В заключение рассмотрим еще вопрос о возможности обнаружения по радиоизлучению цивилизации, если она не посылает специальных сигналов. В этом случае можно ожидать, что для собственной связи в ней используются мощности порядка десятков киловатт при антеннах с коэффициентом усиления  $g_1 = \frac{4\pi S_1}{\lambda^2}$ . При более остро направленных антеннах снижается вероятность попадания в их луч. Берем полосу приемника, как и раньше, порядка 0.3 Гц. Более узкую применить трудно, так как на стороне передачи смещение частоты, вызванное эффектом Доплера, в этом случае компенсироваться не будет. По тем же причинам берем  $\tau = 3$  сек,  $P = 10^5$  Вт,  $\frac{S_1}{\lambda} = 10$ ,  $S_2 = 10^5$ ,  $\Psi = 70$ ,  $T_{ш} = 30$ . По формуле (А) получим:

$$R = 3 \cdot 10^{15} \text{ м, или } 0,3 \text{ светового года.}$$

Таким образом, даже с ближайших звезд открыть цивилизацию по радиоизлучениям практически невозможно, если она не передает специальных сигналов или не излучает (непонятно для чего) очень большие мощности.

### Выводы

Если цивилизация не посылает специальные сигналы, то ее даже с ближайших звезд вероятно, обнаружить нельзя.

Если цивилизация, обладающая несколько большим, чем мы, уровнем развития (предположительно на несколько десятков лет), посылает специальные радиосигналы, то мы ее можем обнаружить на расстояниях до  $500 \div 1000$  световых лет.

Если цивилизации друг друга обнаружили, то между ними возможна связь в радиодиапазоне в пределах Галактики.