

УДК 621.371.25

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СВЕРХДАЛЬНЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН

С. Ф. Голян

Приводятся результаты расчетов и построения номограмм, позволяющих определять для любого пункта на земном шаре моменты времени (суток и года) наступления оптимальных условий дальнего распространения коротких радиоволн, вплоть до кругосветного, в любом направлении. Проведено сравнение результатов расчета по номограммам с экспериментами по дальнему распространению на радиолиниях различного географического положения и ориентации.

При определении оптимальных условий сверхдальнего распространения КВ на радиолиниях различной протяженности и ориентации естественно возникает вопрос: в каком направлении вокруг земного шара (вообще, без привязки к конкретному пункту) радиоволны КВ диапазона в данный физический момент времени распространяются с наименьшим затуханием и как меняется пространственное положение такого КВ канала с течением времени. Имеется в виду КВ канал с наиболее глубоким минимумом частотной характеристики полного затухания (или наибольшим максимумом амплитудно-частотной характеристики).

Поскольку, вследствие неравномерной освещенности ионосферы, условия сверхдальнего распространения радиоволн в различных направлениях неодинаковы, то естественно допустить, что в любой момент времени на земном шаре должно существовать направление с наиболее благоприятными условиями, т. е. можно полагать, что оптимальный КВ канал вокруг Земли в принципе существует. Радиоволны, подобно электрическому току в сложной цепи, «выбирают» путь с наименьшим сопротивлением (затуханием). Принципиальное отличие заключается в том, что радиоволны между двумя концентрическими сферами (ионосферой и Землей) вынуждены проходить по дугам больших кругов.

Несмотря на неоднородности ионосферы и неровности земной поверхности, имеется достаточно экспериментальных подтверждений того, что радиоволны распространяются по дуге большого круга с незначительными отклонениями от нее [1–5]. Наблюдаемые большие отклонения пеленга (десятки градусов) от истинного направления на излучатель объясняются рассеянием на неоднородностях ионосферы [4] или земной поверхности [1–3] или отражениями от концентрированных ионизованных образований, например, от полярных сияний [6]. Во всех этих случаях распространение (от излучателя до области отражения или рассеяния и далее до приемника) также происходит по дугам больших кругов. Однако такой вид распространения сопряжен с дополнительными потерями (при отражении и рассеянии) и потому его можно не учитывать при рассмотрении оптимальных путей распространения. Одним из экспериментальных подтверждений распространения КВ в плоскости большого круга является также достаточно высокое постоянство времени распространения кругосветных сигналов.

Следовательно, задача определения оптимального направления распространения несколько сужается и сводится к определению положения на земной сфере окружности большого круга, соответствующей КВ каналу с оптимальными в данный момент времени условиями кругосветного распространения. Назовем его «оптимальным кольцевым каналом».

В работе [7], в результате рассмотрения условий согласования КВ канала большой протяженности в зависимости от его освещенности (на основе упрощенной модели планетарного распределения электронной концентрации ионосферы), а также анализа материалов экспериментов, проведенных в 1966—72 гг. на радиолиниях Москва—Молодежная и Москва—д/з «Обь», получен вывод о существовании вокруг Земли оптимального кольцевого канала. Определено его пространственное положение, связанное с положением Солнца. Получены обобщенные выводы о периодах наступления оптимальных условий дальнего распространения КВ на радиолиниях различной протяженности и ориентации.

На основе полученных в [7] выводов были проведены расчеты и построены номограммы, позволяющие определять для любого пункта на земном шаре моменты времени (суток и года) наступления оптимальных условий дальнего распространения КВ в любом направлении, а также определять (при излучении и приеме в одном пункте) наиболее вероятное направление кругосветного распространения в любое заданное время суток, независимо от сезона.

В настоящей статье приводятся результаты этих расчетов и сравнение их с данными экспериментов по сверхдальнему распространению.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ НОМОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ И ПЕРИОДОВ ВРЕМЕНИ

В [7] показано, что пространственное положение оптимального кольцевого канала в любой физический момент времени определяется поворотом плоскости терминатора вокруг земной оси на угол 15—20° в направлении вращения Земли.

Наилучшие в течение года условия распространения на радиолинии большой протяженности (при условии работы в каждый момент времени на соответствующей ОРЧ) наступают в периоды совпадения ее с оптимальным кольцевым каналом.

Направлениям, никогда не совпадающим с терминатором, а следовательно, и с оптимальным кольцевым каналом, также свойственны суточные и сезонные изменения условий распространения, а поэтому в какое-то время суток и года в данном направлении условия распространения будут наиболее благоприятными. Назовем такие моменты времени и соответствующие направления «условно оптимальными». В таком направлении условия распространения будут наилучшими в течение года в периоды, когда при пересечении большого круга этого направления с оптимальным кольцевым каналом в точках на экваторе угол между плоскостями оптимального кольцевого канала и большого круга трассы будет минимальным.

Определение наиболее вероятного направления кругосветного распространения из любого пункта на земном шаре в данное время суток, независимо от сезона, сводится к определению азимутального направления на точку пересечения оптимального кольцевого канала с экватором. Это направление будет оптимальным в то же время суток при совпадении плоскости большого круга указанного направления

с плоскостью оптимального кольцевого канала, или условно оптимальным, когда угол между этими плоскостями будет минимальным в течение года.

Поскольку положение точек пересечения оптимального кольцевого канала с экватором изменяется в течение суток, то наиболее вероятное направление кругосветного распространения будет изменяться в течение суток по часовой стрелке для пунктов, расположенных в северном полушарии, и против часовой—в южном.

Из геометрии на сфере вытекают следующие соотношения.

Азимут (α) из точки $M(\varphi, \lambda)$, лежащей на окружности большого круга с наклоном δ к земной оси, в направлении этой окружности определяется из уравнения

$$\sin \alpha = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}, \quad (1)$$

где φ и λ — соответственно широта и долгота точки M .

Азимут (α) из точки $M(\varphi, \lambda)$ на произвольную точку на экваторе $(0, \lambda_s)$ определяется выражением

$$\sin \alpha = \left(\frac{\sin^2 \varphi}{\sin^2 \Delta \lambda_s} + \cos^2 \varphi \right)^{-1/2}, \quad (2)$$

где $\Delta \lambda_s = \lambda - \lambda_s$, или, через соответствующее местное гражданское время в указанных точках,

$$\Delta \lambda_s = (T - T_s) \cdot 15^\circ. \quad (3)$$

Оптимальные условия распространения на трассе большой протяженности, с наклоном плоскости большого круга δ и пересекающей экватор в точке $(0, \lambda_s)$, наступают в момент ее совпадения с оптимальным кольцевым каналом, т. е. при одновременном выполнении условий

$$\begin{aligned} \lambda_s &= \lambda_s^k, \\ \delta &= \delta_0, \end{aligned} \quad (4)$$

где δ_0 — наклон плоскости оптимального кольцевого канала, равный склонению Солнца, λ_s^k — долгота точки пересечения оптимального кольцевого канала с экватором.

Для условно оптимальных направлений (с наклоном плоскости большого круга трассы $\delta > 23^\circ, 5$) второе из условий (4) принимает вид

$$|\delta - \delta_0| = \min. \quad (4a)$$

Это условие выполняется при солнцестояниях (22 июня и 22 декабря). При этом, чем больше δ , тем слабее должны проявляться в соответствующем направлении сезонные изменения условий дальнего распространения.

Первое из условий (4) определяет время суток (через (3)), когда оптимальный кольцевой канал пересекает большой круг трассы в точках на экваторе. В этом случае в (3)

$$T_s = T_s^k = T_s^r + \Delta T,$$

где $T_s^r = 06\ 00$ (или $18\ 00$) — местное гражданское время в точке пересечения терминаатора с экватором; $\Delta T \approx 1-1,5$ час (определен экспериментально [7]). В дальнейших расчетах принято $\Delta T = 1$ час

Тогда, местное гражданское время в точке пересечения оптимального кольцевого канала с экватором: $T_s^k = 07$ (или 19) час. И выражение (2) определяет зависимость оптимального (или условно оптимального) азимута (α_0) от местного гражданского времени (T) в точке

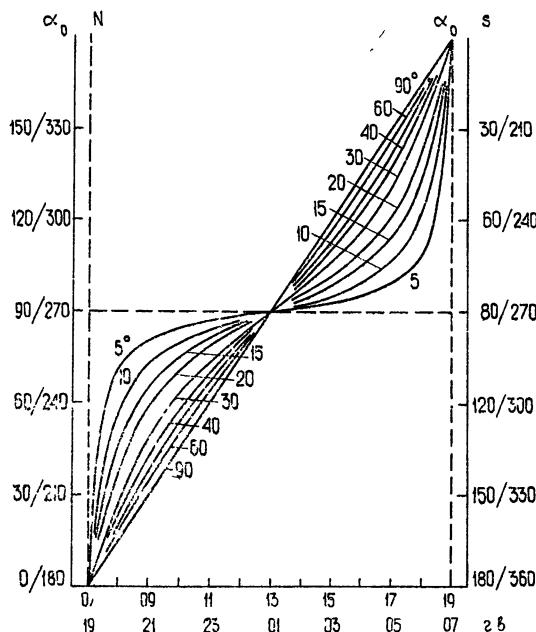


Рис. 1.

$M(\varphi, \lambda)$. По формулам (2) и (3) построена номограмма (рис. 1), представляющая собой семейство кривых $\alpha_0 = \Phi(T)$ с параметром $|\varphi|$. Левая шкала азимутальных направлений (α_0^N) относится к пунктам, расположенным в северном полушарии, правая (α_0^S) — к пунктам южного полушария.

Здесь и далее под фиксированным направлением, проходящим через точку $M(\varphi, \lambda)$, понимаются два взаимно противоположных азимутальных направления, которые обозначаются $\alpha/\alpha + 180^\circ$.

Второе из условий (4) и условие (4 а) определяют время года, когда при выполнении первого из условий (4) и изменении склонения Солнца заданное направление совпадает с оптимальным кольцевым каналом, либо максимально приближается к нему. В этом случае оптимальный азимут (α_0) из точки $M(\varphi, \lambda)$ определяется из формулы (1), при $\delta = \delta_0$. По формуле (1) построена номограмма (рис. 2), представляющая собой семейство кривых $\alpha_0 = F(\delta_0)$ с параметром $|\varphi|$.

Для изображения времени года (t) в линейном масштабе соответствующие значения δ_0 на оси абсцисс представлены в синусоидальном масштабе, поскольку, с достаточной точностью, склонение Солнца в течение года меняется по закону $\delta_0 = \sin t$. В таком виде номограмма (рис. 2), кроме того, представляет зависимость α_0 от времени года для пунктов, расположенных на различных широтах.

Чтобы исключить неопределенность, обусловленную многозначностью тригонометрических функций, в номограммах (рис. 1 и 2) приняты некоторые условности.

Левая и правая шкалы азимутальных направлений (рис. 2) одина-

ково равнозначны и используются для пунктов, расположенных как в северном, так и в южном полушариях, за исключением направления точно $90^\circ/270^\circ$. Для пунктов северного полушария этому направлению соответствует значение $90^\circ/270^\circ$ левой шкалы, на что указывает буква

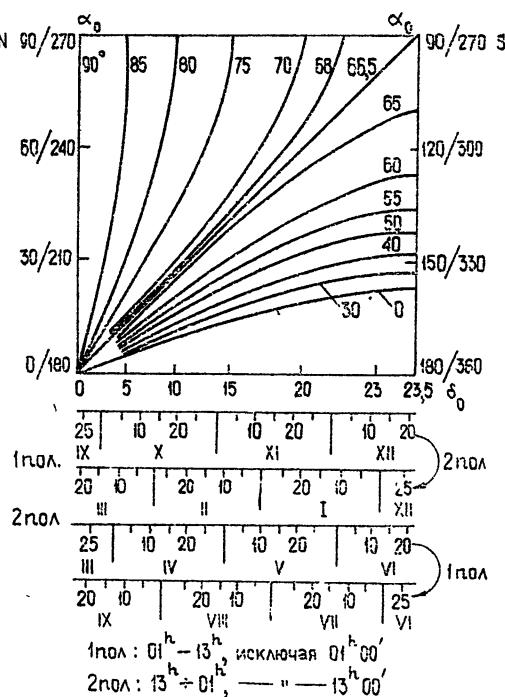


Рис. 2.

N , для пунктов южного полушария — значение $90^\circ/270^\circ$ правой шкалы (буква S). Левая и правая шкалы отражают то обстоятельство, что в один и тот же день оптимальными могут быть два азимутальных направления, но в разное время суток, определяемое из номограммы (рис. 1).

Для правильного выбора одного из двух значений времени суток, соответствующих каждому азимутальному направлению (рис. 1), к шкалам для отдельных полугодий номограммы (рис. 2) введены обозначения: «1 пол.» и «2 пол.» — соответственно первая и вторая половины суток. Причем, значениям азимутальных направлений левой шкалы соответствуют только левые обозначения, значениям правой шкалы — только правые. Разбивка на первую и вторую половины суток указана в нижней части рис. 2.

Каждую кривую $\alpha_0 = F(\delta)$ номограммы рис. 2 с параметром $|\varphi| < 66^\circ,5$ следует считать состоящей из двух частей: собственно кривой и отрезка прямой, соединяющего правую крайнюю точку этой кривой с правым верхним углом графика ($\delta_0 = 23^\circ,5$; $\alpha_0 = 90^\circ/270^\circ$). Кривая соответствует оптимальным направлениям, а отрезок прямой — условно оптимальным направлениям. Так, например, из номограммы следует, что для пункта, расположенного на широте $\varphi = 55^\circ$, оптимальными (в разное время года) будут направления в пределах сектора углов $\pm 44^\circ$ от направлений север, юг. Остальные направления (от 44° до 136° и от 224° до 316°) будут условно оптимальными в солнцестояния,

на что указывает вертикальный отрезок, совпадающий с правой осью ординат и расположенный кверху от кривой с параметром $\varphi = 55^\circ$.

Время суток, соответствующее каждому конкретному оптимальному или условно оптимальному направлению, определяется по номограмме рис. 1 с учетом условностей номограммы рис. 2.

Приведенные номограммы при совместном их использовании позволяют определять для любого пункта $M(\varphi, \lambda)$ на земном шаре моменты времени (суток и года) наступления оптимальных условий дальнего распространения КВ в любом заданном направлении (α).

В случае ограниченных (не кругосветных) трасс при выборе одного из двух взаимно противоположных азимутальных направлений предпочтение следует отдавать направлению, преимущественно проходящему по вечернему сумеречному поясу.

Наиболее вероятное направление кругосветного распространения из любого пункта на земном шаре в заданное время суток, независимо от сезона, определяется непосредственно из номограммы рис. 1.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПО НОМОГРАММАМ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

Для любого конкретного пункта $M(\varphi, \lambda)$ номограммы (рис. 1, 2) могут быть объединены в один график. На рис. 3 представлен такой график для Москвы, построенный по номограммам, общей переменной величиной которых является α_0 . Нижние шкалы — местное гражданское время (м. г. в.) и оптимальный азимут (α_0) — построены в соответствии с номограммой рис. 1 при значении параметра $\varphi = 55^\circ, 5$. Затем по номограмме рис. 2 при том же φ был построен график изменения оптимальных направлений (жирные кривые) и условно оптимальных направлений (пунктирные линии) в течение полного года. По оси ординат — время года. Верхняя ось абсцисс соответствует московскому декретному времени (м. д. в.).

Этот график полностью характеризует изменения оптимальной обстановки в течение года, в данном случае для Москвы. Так, в направлении на ст. Молодежная (азимут из Москвы 177°) оптимальные условия распространения (на рисунке отмечено крестиками) наступают в марте и сентябре около 07 и 19 часов м. д. в. Учитывая преимущества вечернего сумеречного пояса, условия распространения прямых сигналов (ПС) должны быть наилучшими около 19 часов, а обратных (ОС, проходящих по большой дуге большого круга) — около 07 часов м. д. в., что хорошо согласуется с многолетними экспериментами на этой трассе [7]. Кругосветные сигналы (КС) проходили только в эти периоды времени.

На рис. 3 изображена кривая изменения азимута (α) из Москвы на д/э «Обь» в период проведения на корабле, по пути следования из Ленинграда на Молодежную, круглосуточных наблюдений за сигналами московского передатчика в ноябре — декабре 1966 года. Кривая изменения α на «Обь» изображена дважды, посколь-

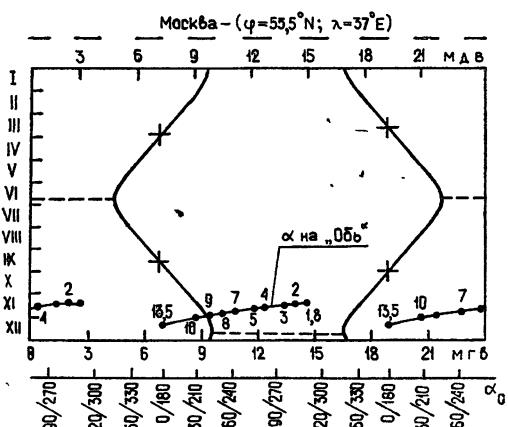


Рис. 3.

ку дважды в течение суток повторяются все значения $\alpha_0/(\alpha_0 + 180^\circ)$. Цифрами указаны расстояния от Москвы до соответствующих точек маршрута в тысячах километров.

Пересечение кривых указывает азимутальное направление и время наступления оптимальных условий дальнего распространения в этом направлении. В [7] отмечается, что в конце ноября, когда «Обь» находилась на расстоянии ~ 9000 км от Москвы (азимут из Москвы 220°), около 10 часов м. д. в. наблюдалось весьма существенное улучшение условий распространения. Сигналы московского передатчика принимались в широком диапазоне частот. На оптимальной частоте (около 21 МГц) наблюдалось почти непоглощенное поле сигнала, приходящего с основного направления. Появились обратные и кругосветные сигналы. Ни в какое другое время на всем протяжении маршрута «Оби» таких благоприятных условий не наблюдалось.

График (рис. 3), кроме того, дает возможность по экстремальным точкам качественно определять характер сезонных изменений уровня сигнала на ОРЧ в любом направлении в соответствующее этому направлению (по горизонтальным шкалам) время суток. При этом необходимо иметь в виду, что в любом вертикальном сечении (для заданного направления и соответствующего ему времени суток) график определяет максимумы в сезонном ходе, а минимумы (наихудшие условия) расположены точно посередине между максимумами.

Так, из графика следует, что для любого азимутального направления из Москвы, никогда не совпадающего с терминатором (пунктирные линии, соответствующие сектору углов от 45 до 135° и от 225 до 315°), максимум в сезонном ходе уровня сигнала на ОРЧ в дневное время будет иметь место при южном солнцестоянии (декабрь), минимум—при северном (июнь); в ночное время, наоборот: максимум—в июне, минимум—в декабре.

Отсюда следует, что сектор азимутальных направлений, охватывающий весь маршрут д/э «Обь» ($\alpha = 177 - 290^\circ$), в ноябре—начале декабря вочные часы попадает в область, близкую к минимуму (наихудшие условия распространения в указанных направлениях в это время суток), а в дневные часы (10—15 часов м. д. в., соответствующий сектор $\alpha = 225 - 290^\circ$) — в область, близкую к максимуму. Поэтому в указанные дневные часы в это время года на «Оби» так же, как и в сеанс 09—10 часов м. д. в., можно ожидать появления ОС или КС от московского передатчика, причем, как следует из графика, в разных точках маршрута — в различные часы. Однако московский передатчик в этот отрезок времени работал только с 12 до 13 часов м. д. в. (время работы передатчика обозначено вверху рисунка горизонтальными штрихами над шкалой м. д. в.). Как следует из [7], в сеанс 12—13 часов м. д. в. ОС (почти КС) были обнаружены на «Оби» именно в точках маршрута 4—5 тыс. км от Москвы ($\alpha \approx 260^\circ$). Как отмечалось выше, в другие сеансы наблюдения, кроме 09—10 и 12—13 часов м. д. в., на всем протяжении маршрута «Оби» ОС и КС обнаружены не были.

Из сказанного следует, что график, аналогичный рис. 3, построенный для любого пункта, может быть использован для определения периодов времени, наиболее благоприятных для дальней КВ радиосвязи с подвижными объектами. Отметим также, что такой график может быть использован для определения оптимальных направлений и соответствующих периодов времени для связи с антиподом.

Наиболее вероятное направление кругосветного распространения в любое заданное время суток, независимо от сезона (при условии равномерного излучения во всех азимутальных направлениях и приеме в том же пункте), можно определять непосредственно по горизонталь-

ным шкалам. А оптимальные направления и соответствующее время суток для заданного времени года определяются по графику.

На рис. 4 представлены построенные по данным [8] графики периодов появления ОС и КС на 12 трассах при приеме в Берлине передатчиков, удаленных на расстояния от 6000 до 12000 км и расположенных в пределах азимутальных секторов 45—90° и 230—260°. Наблюдения проводились в периоды, охватывающие максимум (1927—31 гг.)

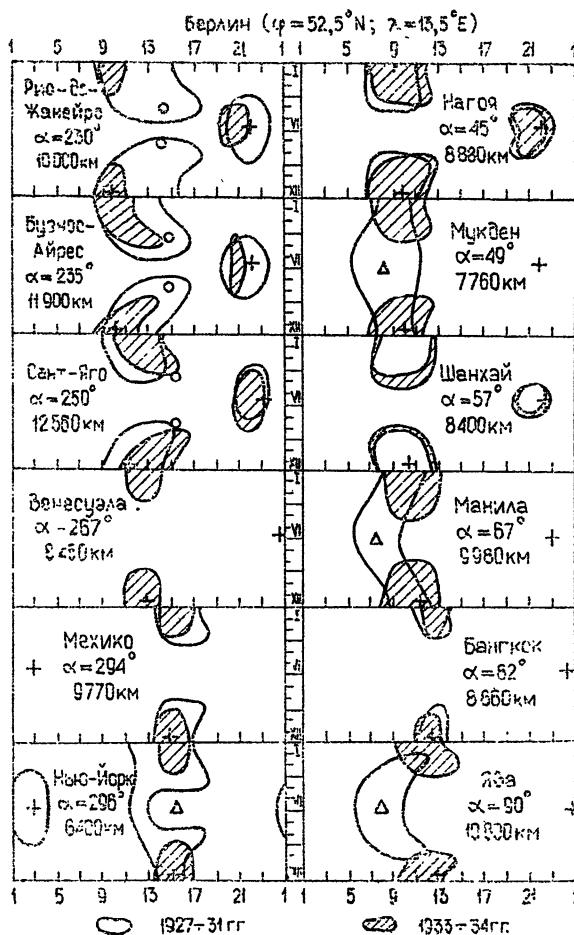


Рис. 4.

и минимум (1933—34 гг.) солнечной активности, на частотах в диапазоне 7—20 МГц. По осям абсцисс—берлинское время (15° Е), по осям ординат—время года. В работе [8] отмечается, что ОС лучше проходили зимой днем, КС—летом ночью (по берлинскому времени). Крестиками показаны периоды времени наступления оптимальных условий дальнего распространения КВ в соответствующем направлении, определенные по номограммам (рис. 1, 2). Поскольку ни одно из указанных на рис. 4 направлений никогда не совпадает с терминатором ($\delta > 23^{\circ}5$), на всех этих направлениях наилучшие условия распространения наступают в солнцестояния (зимой—днем, летом—ночью). Из приведенных на рис. 4 экспериментальных данных по направлениям, расположенным на рисунке в порядке возрастания азимута, видно

также, что оптимальный азимут (из Берлина) с течением времени суток вращается по часовой стрелке.

На рис. 5, 6 приведены данные, полученные в 1961—62 гг. при экспериментальных исследованиях направлений прихода КС в Стэнфорде [9] (излучение и прием в одном пункте). По оси абсцисс—местное время Стэнфорда, по оси ординат—азимутальное направление прихода КС. Расчетные кривые построены по номограммам рис. 1, 2. Сплошные участки кривых соответствуют оптимальным или условно

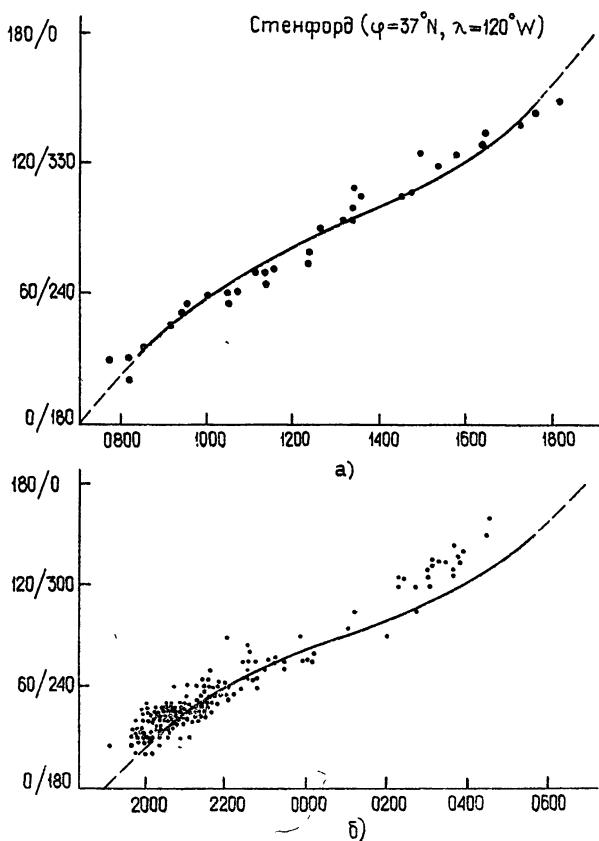


Рис. 5.

оптимальным направлениям. В остальное время суток (пунктирные участки кривых) распространение КС существенно затруднено в любых направлениях. Однако пунктирные участки означают наиболее вероятное в соответствующее время суток направление распространения КС (например, при увеличении узла приема равномерно во всех направлениях мощности).

В зимний (рис. 5 а, 31.XII.1961—8.I.1962, частота 15,1 МГц) и летний (рис. 5 б, 14.VI.—25.VII.1962, частоты 12,5, 15,1, 18,1 МГц) периоды результаты расчета хорошо согласуются с экспериментом. Достаточно хорошее согласие и в равноденственныне периоды для оптимальных направлений (сплошные участки расчетных кривых рис. 6) Однако в послевосходное время наблюдались КС со значительным отклонением от расчетной кривой, вплоть до направления распространения нормального к терминатору, т. е. направления, проходящего через подсолнечную точку.

Распространение в направлении нормальном или почти нормальном к терминатору является дополнительной специфической особенностью распространения ОС. Наиболее регулярно она проявляется на трансэкваториальных трассах в периоды времени, когда Солнце находится вблизи средней точки прямой трассы. При этом большая часть обратной трассы проходит по затемненному полуширанию, а конечные пункты примерно одинаково удалены от границ затемненной области. Это следует, например, из экспериментов по приему ОС на радиолинии Москва—Молодежная [7]. Этую особенность распространения ОС можно объяснить двумя причинами. С одной стороны, наименьшим в течение года интегральным проглощением на обратной трассе при указанном положении Солнца. При этом, чем больше длина прямой трассы, тем больше вероятность появления ОС на сравнительно низких частотах. С другой стороны, — наклонами ионосферы (уровней постоянной электронной концентрации слоя F2) при переходе из затемненного в освещенное полуширание, обусловленными существенными горизонтальными градиентами электронной плотности и геометрических параметров ионосферы в переходной области [10].

В периоды, когда оба конечных пункта трассы находятся в освещенном полуширании, такие наклоны могут приводить к скользящему механизму распространения в ночной полусфере [5, 11] и способствовать распространению на частотах выше МПЧ, рассчитанной для скачкового механизма. Причем, с точки зрения наилучшего согласования КВ канала, наклоны на участках вблизи пересечений обратной трассы с терминатором должны быть идентичными, чтобы для волн одной и той же длины обеспечивались одинаково благоприятные условия захвата и спуска.

Распространением, нормальным к терминатору, очевидно, объясняются и вытянутые вправо контуры на рис. 4, характеризующие периоды приема в Берлине обратных сигналов от радиостанций Рио-де-Жанейро, Буэнос-Айреса и Сант-Яго. Эти трассы также относятся к трансэкваториальным. Моменты времени, когда Солнце находится точно над средней точкой прямой трассы, на рис. 4 показаны кружочками. Середины остальных трасс, приведенных на рис. 4, лежат за пределами тропиков. На некоторых из этих трасс (Мукден, Манила, Ява) в годы, близкие к максимуму солнечной активности, также наблюдались ОС в направлениях, почти нормальных к терминатору, в моменты времени, когда Солнце ближе всего оказывалось к средней точке прямой трассы. Эти моменты времени на графиках рис. 4 показаны треугольниками.

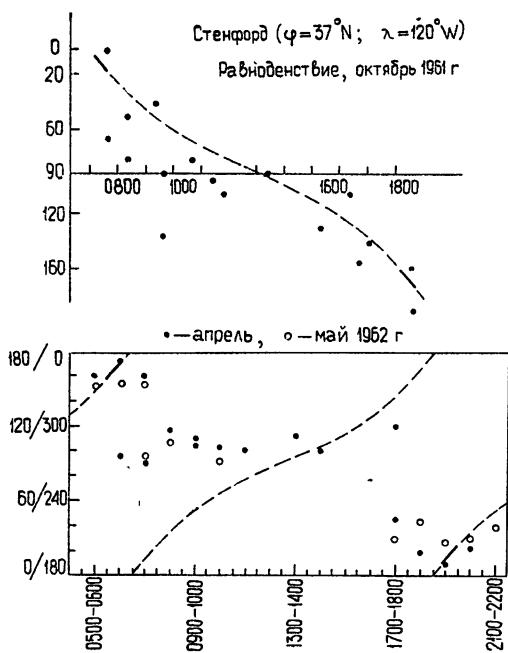


Рис. 6.

Поскольку распространение КС является предельным случаем распространения ОС (при уменьшении расстояния между передающим и приемным пунктами), то в ряде случаев КС также могут наблюдаться (в совмещенном пункте, находящемся в освещенном полуширотии) с направлений нормальных или почти нормальных к терминатору.

Этот особый вид распространения КС и ОС номограммы (рис. 1, 2) не учитывают. Однако дополнительные вероятные периоды появления ОС могут быть отнесены к периодам времени, когда Солнце находится вблизи средней точки прямой трассы, и учтены аналогично расчету, приведенному на рис. 4.

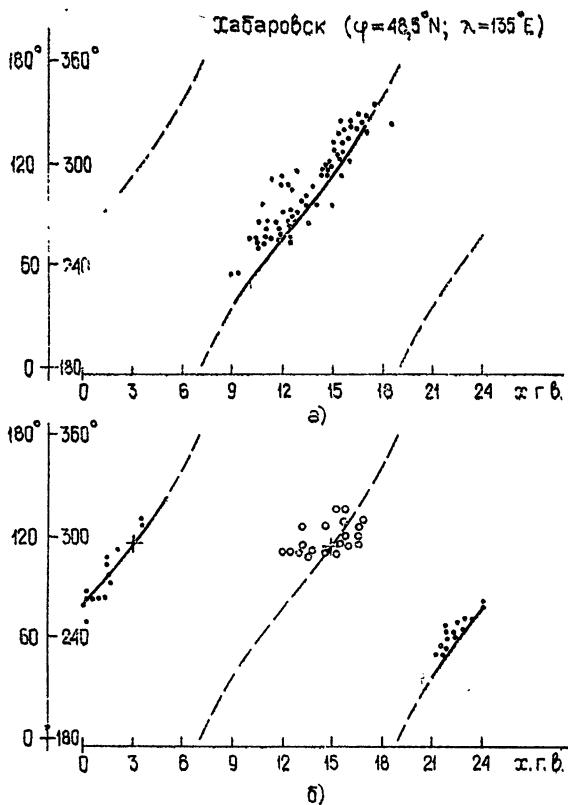


Рис. 7.

На рис. 7 приведены данные эксперимента по измерению азимутальных углов прихода КС в Хабаровске [12] от передатчика с ненаправленным излучением, расположенного в том же пункте. Эксперимент проводился в различные сезоны 1971 года (рис. 7 а—зима 1971, ненаправленное излучение; рис. 7 б—лето, ненаправленное излучение (черные точки), и осень, равноденствие, октябрь, РГД, $\alpha = 295^\circ$ (кружочки)).

Результаты измерений в зимний и летний периоды хорошо согласуются с расчетными кривыми, построенными по номограммам рис. 1, 2. В равноденствие (октябрь 1971 г.) при ненаправленном излучении КС вообще не были обнаружены. При работе передатчика на ромбическую антенну в направлении $\sigma = 295^\circ$, т. е. при увеличенной излученной мощности, КС обнаруживались (показано кружочками) в небольшом азимутальном секторе противоположного направления около 15 часов по

хабаровскому гражданскому времени (х. г. в.), что соответствует наиболее вероятному расчетному времени появления КС в направлении $\alpha = 115^\circ/295^\circ$ (03 и 15 часов х. г. в. — на графике отмечено крестиками), хотя указанное направление и не является оптимальным для равноденствия.

Отсутствие КС в направлении север—юг, оптимальном для равноденствия (около 07 и 19 часов х. г. в.), по-видимому, можно объяснить частичной «блокировкой» оптимального кольцевого канала в полярных районах. Заметим, что в осенне равноденствие 1971 г. на меридиональной радиолинии Москва—Молодежная надежность обнаружения КС также была близка к нулю, а надежность обнаружения ОС—минимальной за весь период наблюдений [7].

Проведенное сравнение расчетов по номограммам с результатами экспериментов на радиолиниях Москва—Молодежная и д/э «Обь», а также данными других экспериментов, в основном подтверждает правильность полученных выводов об оптимальных условиях сверхдальнего распространения КВ.

Номограммы рис. 1, 2 и 3 могут быть рекомендованы для расчета периодов времени суток и года, наиболее благоприятных для дальней КВ радиосвязи между любыми пунктами на земном шаре как в прямом, так и в обратном направлениях, а также, расчета направлений и соответствующих периодов времени, наиболее благоприятных для кругосветного распространения из произвольно заданного пункта.

Что касается выбора ОРЧ и расчета напряженности поля, или необходимой излученной мощности, для связи вдоль оптимальных направлений, то эта задача требует дальнейших комплексных исследований механизмов распространения радиоволн, особенно вблизи термиатора, исследований свойств оптимального кольцевого канала как в целом, так и отдельных его участков, поскольку, как показывают эксперименты, именно в этих направлениях наиболее часто наблюдаются аномально высокие уровни сигналов, прохождение на частотах выше расчетной МПЧ, максимальные дальности обратно-рассеянных сигналов при возвратно-наклонном зондировании, многократное кругосветное распространение и ряд других особенностей, в том числе, зависящих от расположения передающего и приемного пунктов внутри оптимального кольцевого канала. К этим направлениям относятся и наибольшие расхождения экспериментальных и прогнозируемых значений.

Отметим, что ОРЧ для дальней радиосвязи в оптимальных направлениях ориентировано можно выбирать в пределах от 0,8 до 1 от значения МПЧ-4000, рассчитанного по существующим методикам. Это следует из результатов сравнения ОРЧ, наблюдавшихся на радиолиниях Москва—Молодежная и д/э «Обь» в периоды оптимального прохождения, с $F2-4000$ —МПЧ, рассчитанными по прогнозам ИЗМИРАНа [13] для тех же периодов.

Расчеты по приведенным номограммам могут быть полезны также при планировании экспериментов по сверхдальнему распространению, анализе экспериментальных материалов и при решении ряда задач практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Miya, S. Kanaya, Rep. Ionosphere Res. Japan, 9, № 1, 1 (1955).
2. K. Miya, M. Ishikawa, S. Kanaya, Rep. Ionosphere Res. Japan, 11, № 3 (1957).
3. S. Kanaya, H. Yokoi, Rep. Ionosphere Res. Japan, 14, № 2, 192 (1960).
4. E. Hayden, J. Res. Nat. Bur. Standards, 65, D, № 3 (1961).
5. R. B. Fenwick, O. G. Villard, J. Geophys. Res., 68, № 20, 5659 (1963).
6. H. F. Bates, Geophys. Inst. of the Univ. of Alaska, College, 1966.

- 7 С. Ф. Голян, сб. Вопросы распространения коротких радиоволн, ч. II, ИЗМИРАН, 1974, стр. 30.
- 8 Н. Могель, Telefunken Zeitung, № 67, 24 (1934).
9. R. B. Fenwick, TR № 71, Radioscience Lab., Stanford Univ., contract Nonr-225 (64), NR 088019, ARPA Order 196—62, April, 1963.
- 10 Е. М. Ковалевская, Диссертация, ИЗМИРАН, 1970.
- 11 Э. Е. Войк (Хвойкова), Геомагнетизм и аэрономия, 14, № 1, 57 (1974); № 3, 466 (1974).
12. И. Я. Островский, Ш. Г. Шлионский, сб. Вопросы распространения коротких радиоволн, ч. II, ИЗМИРАН, 1974, стр. 52.
13. Месячный прогноз распространения радиоволн, ИЗМИРАН

Институт земного магнетизма,
ионосфера и распространения радиоволн АН СССР

OPTIMUM CONDITIONS OF SHORT RADIO WAVE ULTRALONG PROPAGATION

S. F. Golyan

The results of calculations and nomograms are given which permit a determination of the time moments (day and year) of occurrence of the optimal conditions for ultralong radio wave propagation up to round the world in any direction for any site on the earth. A comparison is made between the nomograms and the experiments on the ultralong propagation along various geographical paths.