

Я. Л. АЛЬПЕРТ, В. В. МИГУЛИН, П. А. РЯЗИН

О ДИСПЕРСИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НАД ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 15 II 1938)

1. Введение. Вопрос об исследовании дисперсии электромагнитных волн радиотехнического диапазона при распространении вдоль земной поверхности, поскольку известно из литературы, еще никем обстоятельно не изучался. Общие теоретические соображения* позволяют сделать некоторые заключения по этому вопросу. Так например, можно ожидать наличия дисперсии в случае распространения волны над сушей. С другой стороны, при распространении вдоль морской поверхности волн радиовещательного диапазона дисперсия должна практически отсутствовать.

В последнее время более точное знание законов распространения радиоволн в действительных условиях приобрело практическое значение в связи с вопросом измерения расстояний⁽¹⁾, в первую очередь вдоль поверхности моря. Те же вопросы возникают и при других, например ионосферных, измерениях^(2, 3, 4).

До настоящего времени опубликовано очень мало работ, касающихся распространения радиоволн в действительных условиях. Но результаты даже этих немногочисленных работ не совпадают между собой: например в работе Колвелла и его сотрудников⁽⁵⁾ для скорости распространения получены величины порядка 60% от скорости света (c), что находится в противоречии с результатами других работ^(1, 6).

В виду практической важности вопросов распространения электромагнитных волн в реальных условиях, в которых решающая роль в настоящее время остается за экспериментом, и были поставлены опыты, имевшие своей целью непосредственно обследовать вопрос о дисперсии радиоволн в действительных условиях в первую очередь вдоль поверхности моря.

Ниже описываются некоторые результаты экспериментальных исследований дисперсии радиоволн среднего диапазона, проведенных лабораторией колебаний Физического института Академии наук СССР (ФИАН) по интерференционному методу, предложенному акад. Л. И. Мандельштамом и проф. Н. Д. Папалекси с помощью специальной аппаратуры, разработанной и построенной в этом институте.

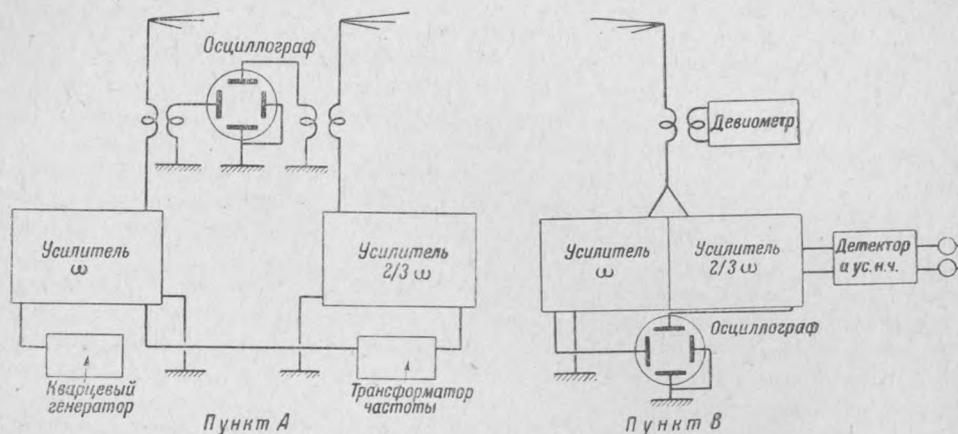
* Работы Zenneck'a, Sommerfeld'a, Weil'a, Фока, van der Pol'a, Niessen'a.

2. Краткое описание методики и аппаратуры. Если в точке A будут излучаться две когерентные волны с частотами ω и $\frac{m}{n}\omega$ (где $\frac{m}{n}$ рационально) и с определенной разностью фаз φ_0 , то при отсутствии дисперсии эта разность фаз будет сохраняться в любой точке пространства. При наличии же дисперсии в точке B , удаленной от A на расстояние r , мы получим уже другую разность фаз:

$$\Phi = \varphi_0 + \omega r \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right),$$

здесь v_1 и v_2 — соответственно фазовые скорости распространения обоих колебаний. При этом предполагается, что геометрические траектории обеих волн совпадают и разность оптических длин путей, вызывающая появление дополнительного фазного сдвига $\omega r \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right)$, обусловлена исключительно расхождением между величинами фазовых скоростей v_1 и v_2 .

Измеряя Φ при различных r (сохраняя постоянным φ_0) и сравнивая полученные результаты, можно определить величину $\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}$.



Изменения Φ связаны с изменениями r соотношением

$$\Delta \Phi = \omega \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) \Delta r,$$

откуда приближенно

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta \Phi \cdot c}{\omega \cdot \Delta r}$$

[здесь $v = \sqrt{v_1 \cdot v_2}$, и точность проводимых экспериментов позволяет в правой части заменить v на c тем более, что по результатам Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси⁽²⁾ эти величины весьма мало различаются между собой].

Для осуществления этих измерений был создан своего рода дисперсионный радиоинтерферометр, который в пункте A (чертеж) состоял из двух передатчиков мощностью 10—15 W, находившихся в одном каркасе и работавших на две рядом расположенные одинаковые антенны. Для осуществления постоянства ω передатчики стабилизировались кварцевым генератором, причем один из передатчиков работал непосредственно на частоте кварца, а другой через трансформатор частоты.

Последний трансформировал частоту кварца ω в $\frac{2}{3}\omega$ и позволял подбирать желаемый сдвиг фаз между обоими излучаемыми колебаниями.

Контроль сдвига фаз между колебаниями в обеих антеннах производился посредством наблюдения за фигурой Лиссажу, получаемой на экране катодного осциллографа, каждая пара отклоняющих пластин которого была связана с соответствующей антенной.

В пункте *B* (чертеж) находился сдвоенный приемник, работавший от одной антенны, в которой приходящие волны наводили колебания частот ω и $\frac{2}{3}\omega$ со сдвигом фаз, соответствующим сдвигу фаз между обоими волнами в данной точке. Воспринятые и усиленные колебания с выхода приемников подавались на отклоняющие пластины осциллографа, давая фигуру Лиссажу, форма которой позволяла определить разность фаз на выходе приемников. Для того, чтобы исключить тот сдвиг фаз, который вносится самим приемным устройством, применялось дополнительное приспособление (девиометр), которое в отсутствие приходящих волн наводило в приемную антенну колебания точно тех же частот с известной разностью фаз. Наблюдая за получающейся при этом фигурой Лиссажу на выходе приемников, можно подсчитать величину фазного сдвига (фазовая девиация), вносимого приемным устройством*, или по крайней мере контролировать и поддерживать его постоянство во время каждого измерения и от измерения к измерению.

3. Эксперименты и результаты. Первые эксперименты и окончательная наладка аппаратуры производились в условиях подмосковной местности вблизи г. Звенигорода.

Было произведено несколько измерений, при которых r принимало значение: 3.8, 7.3, 7.8, 13.6, 18.6 км.

При этом применяемая частота ω была равна $2\pi \cdot 10^6 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$, что соответствовало волне в 300 м. Вторая волна при этом была соответственно равна 450 м.

Результаты этих немногочисленных экспериментов в условиях данного характера земной поверхности (луга, пашни, лес) дают указания на возможность наличия дисперсии порядка десятых долей процента.

Основные эксперименты о проверке справедливости заключения об отсутствии дисперсии при распространении волн вдоль свободной поверхности моря производились в Кандалакшском заливе Белого моря. При этом земная поверхность (в данном случае свободная поверхность моря) обладает значительной диэлектрической постоянной, большой проводимостью и однородна и гладка в оптическом смысле.

В проведенных экспериментах передающее устройство (пункт *A*) находилось на судне (гидрографическое судно «Папанин»)**, а приемное устройство (пункт *B*) было установлено на острове (Вольостров) в непосредственной близости к берегу моря.

При движении судна имело место непрерывное изменение расстояния r , что при наличии дисперсии повлекло бы за собой непрерывное изменение разности фаз приходящих волн, наблюдаемой в приемном

* Заметим, что описываемый здесь метод девиометрирования отличается от описанного в статье К. Э. Виллер (?) главным образом тем, что здесь определяется сдвиг фаз не в одном устройстве, а относительный сдвиг фаз колебаний, прошедших по двум каналам (два приемника).

** Авторы считают своим долгом выразить свою благодарность составу экспедиции гидрографического управления Главсевморпути и судовому составу гидрографического судна «Папанин» за любезное содействие и помощь в проведении описываемых работ.

пункте. В этом случае роль девиометра сводилась только к контролю постоянства работы приемного устройства в смысле постоянства вносимых им фазных сдвигов.

Подобные наблюдения были проведены: 9, 11, 15 и 17 августа, а затем 28 октября и 3, 4 и 9 ноября 1937 г. При этом Δr принимало значение от 4 до 10 км.

Наблюдения показали отсутствие систематического изменения разности фаз в точке приема при всех имевших место изменениях расстояния (Δr), в пределах той точности, которая обуславливалась техническими свойствами аппаратуры.

Полученный цифровой материал показывает, что возможная дисперсия ($\frac{\Delta v}{v}$) в указанных условиях (свободная поверхность моря) во всяком случае меньше 0.07%.

Кроме этого был произведен ряд экспериментов при заходе судна за сушу (мыс Турий в Кандалакшском заливе), которые показали, что появление суши на пути распространения радиоволн оказывает определенное влияние на взаимную фазу колебаний в точке приема. Но имеющийся материал не позволяет сделать определенных заключений о том, лежит ли причина этих изменений в дисперсии или в явлениях, имеющих диффракционный характер.

Интересно отметить, что все полученные результаты могут быть согласованы с численными данными, получающимися из приближенной теории Ценнека при значениях ϵ и σ , заимствованных из литературы (для воды $\epsilon = 80$; $\sigma > 3 \cdot 10^8$, для суши $\epsilon = 5$; $\sigma \approx 10^7$).

4. **З а к л ю ч е н и е.** На основе интерференционного метода, предложенного акад. Л. И. Мандельштамом и проф. Н. Д. Папалекси, лабораторией колебаний ФИАН разработан и построен прибор для исследования дисперсии радиоволн — дисперсионный радиоинтерферометр.

Посредством этого прибора произведен ряд экспериментов по исследованию дисперсии электромагнитных волн в диапазоне $\lambda = 300—450$ м над свободной поверхностью моря (в Кандалакшском заливе Белого моря).

Полученные результаты показывают, что в этих условиях дисперсия ($\frac{\Delta v}{v}$) во всяком случае не превышает 0.07%.

Для случая распространения волн над сушей как в условиях подмосковной местности, так и в Кандалакшском заливе, проведенные предварительные эксперименты указывают на возможность наличия дисперсии (до нескольких десятых долей процента в случае подмосковной местности).

Исследования в этом направлении и уточнение полученных результатов продолжаются в лаборатории колебаний ФИАН под руководством проф. Н. Д. Папалекси.

Лаборатория колебаний.
Физический институт им. П. Н. Лебедева.
Академия Наук СССР.
Москва.

Поступило
17 II 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси, ЖТФ, VII, вып. 6, стр. 559 (1937); Techn. Phys., IV, № 10, 767 (1937). ² G. Breit a. M. A. Tuve, Proc. Inst. Radio Eng., 16, 1236 (1928). ³ E. V. Appleton a. M. A. Barnett, Proc. Roy. Soc. London A, 113, 450 (1926). ⁴ Goubau u. Zenneck, J. d. d. T. u. T., H. 3 (1932). ⁵ R. C. Colwell, N. L. Hall a. L. R. Hill, Journ. of the Franklin Inst., 559, Nov. (1936). ⁶ W. Ross a. E. C. Slow, Nature, 139, № 3520 67 (1937). ⁷ C. Viller, Techn. Phys., IV, № 10, 841 (1937).