

Я. Л. АЛЬПЕРТ и В. В. МИГУЛИН

**К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ФАЗОВУЮ СТРУКТУРУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ АНТЕННЫ**

(Представлено академиком Н. Д. Папалекси 28 I 1940)

Распространение радиоволн вдоль земной поверхности в настоящее время нельзя еще считать полностью изученным. На небольших расстояниях от излучателя, расположенного на поверхности земли, электрические свойства почвы, несомненно, влияют на электромагнитное поле и, в частности, на его фазовую структуру\*. С другой стороны, теоретические соображения дают основание считать, что при достаточном подъеме над земной поверхностью это влияние практически отпадает. Независимо от научного интереса, который представляет выяснение этих вопросов, они имеют и существенное практическое значение в связи со все развивающимися применениями электромагнитных волн для пеленгации, определения расстояний и т. д. как по земле, так и в воздухе.

В настоящем сообщении приводятся результаты опытов, проведенных авторами по предложению академиков Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси с целью выяснить, до какой высоты над поверхностью земли, на которой находится излучатель, простирается влияние ее свойств, и оценить величину этого влияния.

Эти эксперименты были проведены под Москвой в течение июля 1939 г. при содействии отдельной воздухоплавательной группы Гражданского Воздушного Флота.

Для экспериментального исследования указанного выше вопроса мы воспользовались уже разработанной методикой, применявшейся нами ранее для исследования дисперсии радиоволн (дисперсионный радиоинтерферометр) (1).

Эта методика заключается в следующем. Передающая станция, находящаяся на поверхности земли, излучает два когерентных колебания с частотами, находящимися в рациональном отношении (3 : 2), причем постоянство разности фаз между излучаемыми колебаниями контролируется катодным осциллографом. Приемное устройство позволяет наблюдать разность фаз (2) между обоими колебаниями в точке приема (фиг. 1). При этом пренебрегается влиянием земной поверхности на приемную антенну.

Эта разность фаз  $\Delta\Phi = \Phi_1 - \frac{3}{2}\Phi_2$ , вообще говоря, зависит не только от свойств почвы, но и от расстояния\*\*.

\* Работы Sommerfeld'a, Zenneck'a, Weil'a и др.

\*\* Подробные расчеты этих зависимостей приведены П. А. Рязиным в его еще не опубликованной работе.

В общем случае

$$\Delta\Phi = \omega_1 \int_0^{r_0} \frac{dr}{v(r, \omega_1)} - \frac{3}{2} \left[ \omega_2 \int_0^{r_0} \frac{dr}{v(r, \omega_2)} \right],$$

где  $\omega_2 = \frac{2}{3} \omega_1$  и  $v(r, \omega)$  — фазовая скорость распространения радиоволн вдоль земной поверхности.

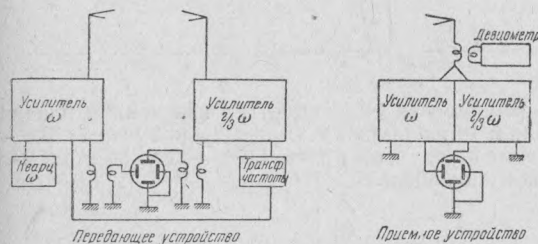
Для свободного пространства

$$\Delta\Phi' = \omega \frac{r}{v} - \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \omega \frac{r}{v} \right) = 0.$$

Таким образом при переходе из условий распространения вдоль земной поверхности к случаю свободного пространства произойдет изменение разности фаз

$$\Delta\Phi - \Delta\Phi' = \Phi_1 - \frac{3}{2} \Phi_2,$$

которое должно наблюдаться при подъеме приемного устройства дисперсионного радиоинтерферометра вверх от поверхности земли. Это изменение разности фаз должно наблюдаться до той высоты, начиная с которой влиянием земной поверхности можно пренебречь, т. е. считать, что здесь уже имеет место распространение радиоволн в однородном свободном пространстве.



Фиг. 1. Схема дисперсионного радиоинтерферометра.

корзине которых было смонтировано приемное устройство\*. Передающее устройство было установлено на расстоянии около 3 км от места взлета аэростатов. Антенной приемнику служил медный провод длиной в 10 м, выпущенный с отвесом из корзины; противовесом служила система стальных строп аэростата.

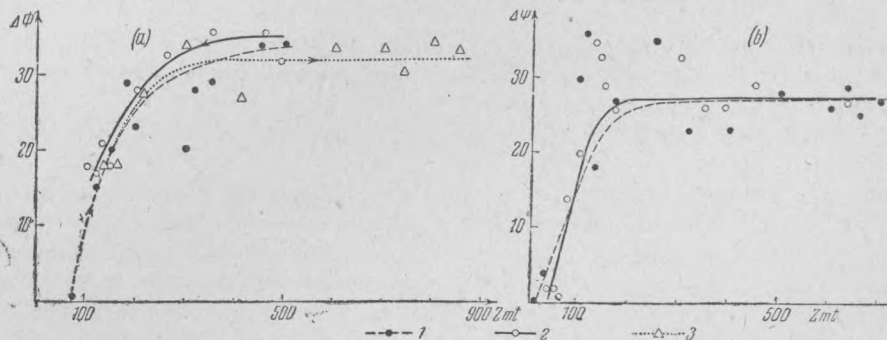
Порядок измерений был следующий. Аэростат поднимался на высоту ~20 м и поддерживался с земли веревкой; в это время производилась настройка приемника на приходящие колебания и проверялась его фазовая девиация. После этого аэростат отпускался и начинался подъем, во время которого проводились наблюдения за разностью фаз принимаемых колебаний по фигуре Лиссажу, получаемой на экране катодного осциллографа на выходе приемников. Несмотря на специальный выбор дней и часов для измерений, подъем аэростатов редко был вертикальным вследствие постоянно имевшихся воздушных течений. При этом скорость сноса и его направление менялись от опыта к опыту. Достигнув достаточной высоты, аэростат, продержавшись на ней некоторое время, спускался с малой скоростью до высоты ~100 м, затем повторялся подъем. Во всех опытах производилось несколько спусков и подъемов. Направление сноса отмечалось визуально; высота регистрировалась альтиметром. Всего было произведено 9 полетов, преимущественно в утренние и предвечерние часы.

Опыты были проведены на двух парах волн: 120—180 м и 300—450 м. На фиг. 2 и 3 приведены результаты четырех опытов. Из фигур видно, что

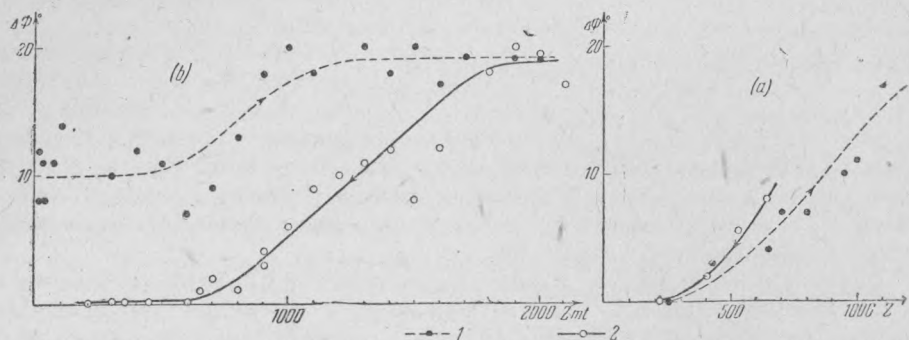
\* Пользуемся случаем выразить благодарность отдельной воздухоплавательной группе ГВФ и пилотам Гольшеву, Фомину, Полосухину, Невернову и Белову за их участие в работе.

при подъеме вверх разность фаз  $\Delta\Phi$  между приходящими колебаниями изменялась вначале довольно быстро с высотой. На некоторой высоте изменение  $\Delta\Phi$  практически становилось равным нулю. При этом величина полного изменения  $\Delta\Phi$  неодинакова на различных волнах.

Как указывалось выше, в различных опытах аэростат относился с неодинаковой скоростью в разных направлениях. В условиях неоднородной местности Подмосковного района подъем и спуск совершались в отдельных случаях то над лесом, то над прудом, поляной, селением и т. д. Все проведенные опыты однозначно указывают на изменение  $\Delta\Phi$



Фиг. 2. Экспериментальные кривые зависимости  $\Delta\Phi$  от высоты  $z$  над земной поверхностью, полученные на волнах 120—180 м 16 июля 1939 г.: кривые *a* получены в 5 ч.—5 ч. 45 м по московскому времени, кривые *b* получены в 20 ч. 40 м.—21 ч. 30 м. по московскому времени.



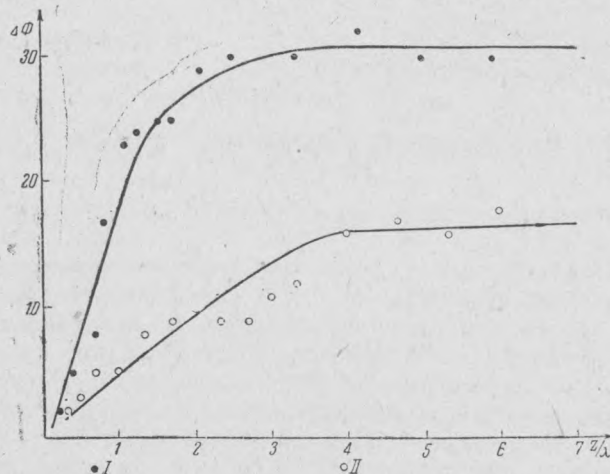
Фиг. 3.—Экспериментальные кривые зависимости  $\Delta\Phi$  от высоты  $z$  над земной поверхностью, полученные на волнах 300—450 м: кривые *a* получены 14 июля 1939 г. в 20 ч. 15 м.—20 ч. 36 м., кривые *b* получены 23 июля 1939 г. в 5 ч. 56 м.—6 ч. 30 м.

с высотой, однако ввиду различного характера местности (могли иметь место дифракционные явления, усложнявшие фазовую структуру поля над земной поверхностью и на некоторой высоте над ней), а также благодаря различному расстоянию от излучателя каждый из опытов отличался индивидуальными особенностями. Так, например, во время одного из полетов, когда аэростат пролетал на высоте порядка  $\lambda$  над крупным металлическим сооружением, имело место резкое изменение наблюдаемой величины  $\Delta\Phi$ , которая до этого и после имела установившееся для данной высоты значение.

Полученные результаты не позволяют детально выяснить влияние различных условий местности и изменения расстояния от излучателя на фазовую структуру поля. Однако ввиду случайного характера дополнительных эффектов, вызываемых индивидуальными особенностями отдельных опытов, можно было ожидать, что усреднение результатов различных

опытов позволит в более чистом виде выявить общий ход зависимости  $\Delta\Phi$  от высоты.

Результаты подобного усреднения представлены на фиг. 4 в виде кривых, выражающих зависимость  $\Delta\Phi$  от высоты  $z$  над земной поверхностью для некоторой условно «усредненной» местности характера Подмосквовного района, причем для  $\lambda=120-180$  м эта зависимость соответствует среднему удалению от излучателя порядка  $(50-60)\lambda$ , а для  $\lambda=300-450$  — порядка  $(15-20)\lambda$ . Из фиг. 4 видно, что на высоте порядка  $4\lambda$  изменение  $\Delta\Phi$ , в пределах точности измерений ( $\sim\pm 3$ ), прекращается. При этом



Фиг. 4.—Усредненные кривые зависимости  $\Delta\Phi$  от высоты над земной поверхностью. Высота выражена в длинах волн.

характер изменения  $\Delta\Phi$  одинаков на обоих диапазонах волн. Общая же величина изменения  $\Delta\Phi$  различна на различных волнах, что может быть объяснено как различием самих частот, так и различием в исходном удалении точки взлета от передающего устройства (в масштабах длин волн).

Так, для волны 300 м мы имели  $\frac{r_0}{\lambda}=10$ , а для волны 120 м  $\frac{r_0}{\lambda}=25$ .

Проведенное исследование влияния земли на фазовую структуру поля излучающей антенны указывает, что это влияние постепенно уменьшается с высотой и практически исчезает, начиная с высот порядка  $4\lambda$  на расстояниях от излучателя порядка  $(25-50)\lambda$  на волнах 120—180 м и расстояниях порядка  $(10-20)\lambda$  на волнах 300—450 м. Величина изменения наблюдавшейся разности фаз (разности оптических длин путей в угловой мере) для указанных расстояний—порядка  $30^\circ$  на волнах 120—180 м и порядка  $18^\circ$  на волнах 300—450 м.

Для уточнения зависимости фазовой структуры электромагнитного поля от геометрических и электрических свойств земной поверхности, а также от расстояния от излучателя, требуется специальное исследование.

Лаборатория колебаний  
Физического института  
Академия Наук СССР  
Москва

Поступило  
31 I 1940

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Я. Л. Альперт, В. В. Мигулин, П. А. Рязин, ДАН, XVIII, № 9 635 (1938). <sup>2</sup> Е. Я. Щеголев, ЖТФ, IV, 1 (1934).