



КрымУкКо 2011 CriMiCo

**21-я Международная Крымская конференция
СВЧ-техника
и телекоммуникационные технологии
Материалы конференции**

12—16 сентября 2011 г.
Севастополь, Крым, Украина

2011 21st International Crimean Conference
**Microwave &
Telecommunication Technology**
Conference Proceedings

September 12—16, 2011
Sevastopol, Crimea, Ukraine



Moscow • Kiev • Minsk • Sevastopol
2011

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431
С255

Организаторы и спонсоры:

Севастопольский национальный технический университет
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (Минск)
НИИ телекоммуникаций НТУУ «КПИ» (Киев)
Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ» (Киев)
Академия инженерных наук Украины, Отделение радиоэлектроники и средств связи
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Радиоастрономический институт НАН Украины (Харьков)
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
ОАО «Сатурн» (Киев)
НП ОАО «Фаза» (Ростов-на-Дону)
ФГУП НПП «Исток» (Фрязино)
ЗАО «Микроволновые системы» (Москва)
Компания «Нанoeлектроника ТД» (Москва)
ОАО «Российские космические системы» (Москва)
National Instruments (Москва)
Rohde & Schwarz (Москва)
Абрис RCM group (Санкт-Петербург)
Таврический национальный университет им. проф. В. И. Вернадского (Симферополь)
НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (Кацивели)
Крымский научно-технологический центр им. проф. А. С. Попова (Севастополь)

Техническая и информационная поддержка:

IEEE Electron Devices Society
IEEE/ED/MTT/CPMT/SSCS/ComSoc Central Ukraine Joint Chapter
IEEE AP Chapter, Russia Section
Журнал «Технология и конструирование в электронной аппаратуре» (Одесса)
Журнал «Техника и приборы СВЧ» (Киев)

Organized and Sponsored by:

Sevastopol National Technical University (Ukraine)
Belarus State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk)
NTUU KPI, SRI of Telecommunications (Kiev, Ukraine)
NTUU KPI, Institute of Telecommunication Systems (Kiev, Ukraine)
Academy of Engineering Sciences of Ukraine, Radioelectronics & Communication Systems Section
Kharkov National University of Radio Electronics (Ukraine)
Institute of Radio Astronomy of NAS of Ukraine (Kharkov, Ukraine)
Moscow Aviation Institute — National Research University (Russia)
OJS SPE «Saturn» (Kiev, Ukraine)
Faza Co. (Rostov-on-Don, Russia)
SSPE «Istok» (Fryazino, Russia)
Microwave Systems Co. (Moscow, Russia)
Nanoelektronika TD Co. (Moscow, Russia)
JSC «Russian Space Systems» (Moscow)
National Instruments (Moscow, Russia)
Rohde & Schwarz (Moscow, Russia)
Абрис RCM group (Saint-Petersburg, Russia)
Tavriya National University after prof. V. I. Vernadsky (Simferopol, Ukraine)
SRI «Crimean Astrophysical Observatory» (Katsiveli, Ukraine)
Popov Crimean Scientific and Technological Center (Sevastopol, Ukraine)

Technical Co-Sponsorship:

IEEE Electron Devices Society
IEEE/ED/MTT/CPMT/SSCS/ComSoc Central Ukraine Joint Chapter
IEEE AP Chapter, Russia Section
«Technology & Designing in Electronic Equipment» Magazine (Odessa, Ukraine)
«Microwave Devices & Components» Magazine (Odessa, Ukraine)

21-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные C255 технологии» (КрыМиКо'2011). Севастополь, 12—16 сентября 2011 г. : материалы конф. — Севастополь : Вебер, 2011. — 59 с.(I—LIX) + 1131 с.(1—1131) + 30 с. (A—CC) : ил.

ISBN 978-966-335-355-5.

В сборник материалов включены 477 прошедших рецензирование докладов, которые будут представлены на секциях: Усилители мощности СВЧ, Транзисторы и интегральные схемы СВЧ, Устройства приема, обработки и генерации СВЧ-сигналов, Методы моделирования систем и устройств, Методы моделирования полупроводниковых приборов, Общие вопросы электроники СВЧ, Приборы СВЧ О-типа, Гиросприборы и приборы СВЧ М-типа, Общие вопросы телекоммуникационных сетей, Системы спутниковой, радиорелейной и волоконно-оптической связи, Методы и средства передачи и обработки сигналов в ТКС, Программные среды и технологии предоставления услуг в телекоммуникационных сетях, Методы и средства передачи и обработки информации в телекоммуникационных сетях, Антенные решетки, Антенные элементы, Слабонаправленные антенны, Селективные устройства, Ферритовые и квазиоптические устройства, Физические основы, методы контроля элементов и структур СВЧ, Технология структур, элементов и приборов СВЧ, Материалы элементов и структур СВЧ, Нанотехнологии, Наноматериалы, Квантовые приборы, СВЧ-электроника сверхбольших мощностей и эффекты, СВЧ-измерения параметров сигналов и цепей, СВЧ-измерения параметров антенн, материалов и объектов, Прикладные аспекты СВЧ-техники, Исследование свойств воды и биоматериалов, Прикладные технологии в биологии и медицине, Радиоастрономия и дистанционное зондирование, Распространение радиоволн в околосферном пространстве, Радиотехнические системы, Общие вопросы и история развития радиотехнологий и телекоммуникаций (Федотовские чтения), а также на семинаре «Массовая технология проектирования интеллектуальных систем для научных исследований». Авторами докладов являются 1086 ученых и специалистов из 177 университетов и предприятий 17 стран: Беларуси, Бразилии, Великобритании, Вьетнама, Германии, Грузии, Италии, Китая, Молдовы, Нидерланд, Польши, России, США, Турции, Украины, Чехии и ЮАР.

Материалы конференции изданы также в двух томах на бумаге и на двух компакт-диске с оболочкой на английском языке. Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области СВЧ-техники и телекоммуникационных технологий. Сборник также будет полезен студентам и аспирантам телекоммуникационных, радиотехнических и радиофизических факультетов вузов.

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431

IEEE Catalog Number CFP11788-PRT
ISBN 978-966-335-356-2 (CD, обол. — англ.)
ISBN 978-966-335-351-7 (комплект, 2 тома)
ISBN 978-966-335-353-1 (том 2)
ISBN 978-966-335-352-4 (том 1)
ISBN 978-966-335-355-5

© Оргкомитет КрыМиКо'2011
CrMiCo'2011 Organizing Committee
© КНТЦ им. Попова, 2011
CrSTC, 2011

О ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВИСТЛЕРОВ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ ВОЗМУШЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Гоков А. М.¹, Тырнов О. Ф.²

¹ Харьковский национальный экономический университет
тел.: 057-7021831, e-mail: amg_1955@mail.ru

² Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
г. Харьков, пл. Свободы 4, Украина, 61077
тел.: 057-7051251, e-mail: Oleg.F.Tyrnov@univer.kharkov.ua

Аннотация — Экспериментально показана возможность генерации низкочастотного вистлера инфразвуком, генерируемым в атмосфере сильными грозами и мощными атмосферными фронтами в переходные сезоны года. Определены частоты вистлеров $f_3 \approx 7-29$ кГц, хорошо согласующиеся с теоретическими расчетами.

I. Введение

Известно, что при сильных грозах, взрывах, землетрясениях и других возмущениях различной природы в атмосфере генерируются инфразвуковые волны в диапазоне частот $0,01 \text{ Гц} < f_1 < 20 \text{ Гц}$ (см., например, [1]). Такие волны достаточно свободно проникают до высот Е-области ионосферы, что приводит к появлению дополнительных токов и возмущению электрических и магнитных полей, т.е. к генерации или усилению различных волн. Известно также, что вистлеры представляют собой электромагнитные волны, распространяющиеся в слабоионизированной плазме, для которой выполняются условия:

$$V_{en} \ll \omega_{Be}, \quad V_{in} \ll \omega_{Bi}, \quad (1)$$

(ω_{Be} , ω_{Bi} – гирочастоты, V_{en} , V_{in} – частоты соударений с нейтралами электронов и ионов). Эти условия выполняются на высотах Е-области ионосферы. Присутствие таких волн в эпицентральной зоне и на некотором удалении от источника возмущения обнаруживалось экспериментально (см., например, [2]). Вопросы распространения низкочастотного вистлера в этой области высот достаточно полно рассмотрены в [3]. В [4] решена задача генерации таких волн в Е-области ионосферы акустическими волнами, а в [5] – инфразвуком. В [6] экспериментально показана возможность получения сведений о генерации низкочастотного вистлера во время сильной грозы.

В настоящей работе экспериментально показана возможность генерации низкочастотного вистлера инфразвуком, генерируемым в атмосфере сильными грозами и мощными атмосферными фронтами в переходные сезоны года.

II. Основные результаты и их обсуждение

В [5] для рассматриваемого случая получено дисперсионное уравнение в общем виде. Из этого уравнения для волн с частотами $\omega_{Bi} \ll \omega \ll \omega_{Be}$ (низкочастотные вистлеры) определено дисперсионное уравнение в виде: $n_3^2(\omega) = \omega_p^2 / \omega \omega_{Be} \cos \theta$, из которого спектр волн: $\omega_3(k) = |\omega_{Be} \cos \theta| k^2 c^2 / \omega_p^2$. Собственное решение последнего уравнения позволяет определить связь между f_1 и частотами генерируемых в этой области высот вистлеров f_3 [5]:

$$f_3 = \frac{c^2}{v_1^2} \frac{f_1^2 f_{Be}}{f_p^2} \cos \theta \cos \theta_1, \quad (2)$$

Здесь θ_1 – угол между вертикалью и направлением распространения инфразвуковой волны, $k\vec{B} = \theta$, c – скорость света, v_1 – скорость инфразвука, f_p – плазменная частота.

Известно, что колебания плотности атмосферного газа (инфразвуковые волны) достаточно свободно распространяются до высот F-области ионосферы. Естественно предположить, что при высокочастотном зондировании (например, в диапазоне 2 – 10 МГц) ионосферы радиоволны будут испытывать дифракцию на инфразвуковой волне, что приводит к смещению зондирующей частоты на величину, равную частоте инфразвуковой волны $f_d = f_1$. Исходя из этого можно по измерениям доплеровского сдвига частоты при вертикальном зондировании в эпицентральной зоне источника возмущений определить частоту инфразвуковых волн как $f_d = f_1$. Из соотношения (2) можно получить численные значения частот f_1 и f_3 и определить их длину волны $\lambda_1 = v_1 / f_1$.

Экспериментальные исследования по предложенной выше схеме были проведены во время четырех сильных гроз и в период прохождения четырех мощных атмосферных фронтов в 2005 – 2009 гг. при помощи комплекса аппаратуры [7] методами частичных отражений (ЧО) и вертикального доплеровского зондирования (ВДЗ) вблизи г. Харькова в Радиофизической Обсерватории Харьковского Национального университета. Измерения выполнялись сеансами непрерывно длительностью 1 – 10 часов до, в период и после гроз и непрерывно в течение трех суток в период прохождения атмосферных фронтов. Решались три задачи: 1) по измерениям доплеровского сдвига частоты при вертикальном зондировании ионосферы в эпицентральной зоне возмущения определить частоту инфразвуковых волн как $f_1 = f_d$; 2) по измерениям методом ЧО амплитуд обратно рассеянных радиосигналов и радишумов экспериментально получить подтверждение возможной генерации инфразвуковых волн в атмосфере во время возмущений и определить частоту инфразвуковой волны f_1 ; 3) при одновременных измерениях методами ЧО и ВДЗ сравнить полученные значения частот инфразвука f_1 и по соотношению (2) вычислить частоты генерируемых в этой области высот низкочастотных вистлеров f_3 . Для расчетов полагали: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $v_1 = 500 \text{ м/с}$, $\omega_{Be} = 8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $\omega_p = 17,6 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, оценка высоты отражения h взята по ионограммам

вертикального зондирования. Расчеты проведены в предположении, что вистлер распространяется вдоль направления геомагнитного поля $\theta = 0^\circ$; инфразвуковая волна распространяется вертикально вверх и $\theta_1 = 30^\circ$, что соответствует магнитному наклонению $\sim 60^\circ$ в средних широтах. Результаты расчетов приведены в табл. 1. Полученные экспериментально значения частот инфразвука f_3 хорошо согласуются с теоретическими расчетами [5].

Табл. 1. Расчеты частот низкочастотных вистлеров

Table 1. Calculations of the frequencies of whistlers

Дата	h , км	f_1 , Гц	f_3 , кГц
Грозы			
01.07.97	170	0,5	11,3
07.07.98	160	0,5	11,3
08.09.01	160	0,5	11,3
25.09.01	170 и 160	0,4 и 0,8	7,2 и 28,9
Атмосферные фронты			
02.02.05	170	0,4	7,2
29.03.06	170	0,4	7,2
08.02.07	160	0,5	11,3
22.03.07	160	0,4	7,2

III. Заключение

1. Предложена методика определения частот низкочастотных вистлеров, генерируемых инфразвуком в E-области ионосферы вблизи эпицентра сильной грозы в атмосфере Земли и в периоды прохождения мощных атмосферных фронтов.

2. Экспериментально с использованием методов ВДЗ и ЧО подтверждено, что во время сильной грозы вблизи эпицентра и в периоды прохождения мощных атмосферных фронтов возможна генерация инфразвуковых волн с частотами $f_1 \approx 0,4 - 0,8$ Гц, которые проникают до высот E-области ионосферы.

3. На основе механизма трансформации инфразвуковых волн в E-области ионосферы в низкочастотные вистлеры и дисперсионного соотношения определены частоты вистлеров $f_3 \approx 7 - 29$ кГц, хорошо согласующиеся с теоретическими расчетами.

IV. Список литературы

- [1] Григорьев Т. И., Докучаев В. П. Инфразвук и внутренние гравитационные волны при грозовых разрядах в атмосфере // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1981. Т. 17. С. 690 – 697.
- [2] Михайлов Ю. М., Михайлова А. Г., Капустина О. В. КНЧ и ОНЧ-электромагнитный фон во внешней ионосфере над сейсмоактивными районами // Геомагнетизм и аэрномия. 1997. Т. 37, № 4. С. 78 – 85.
- [3] Мазур В. А. О распространении низкочастотного вистлера в ионосфере // Известия вузов. Радиофизика. 1988. Т. 31, №12. С. 1423 – 1430.
- [4] Сурков В. А. Возбуждение низкочастотных электромагнитных возмущений ионосферы акустическими волнами // М.: Препринт МИФИ №041-89. 1989. 24 с.
- [5] Gokov A. M. Low frequency whistlers generated by infrasonic waves in the ionospheric E-region during disturbances of different nature // Journal of Atmos. Electricity. 2000. V. 21, № 1. P. 1 – 6.
- [6] Gokov A. M., Tyrnov O. F. Low frequency whistlers generated in lower ionosphere during strong thunderstorms // Telecommunications and radio engineering. – 2002. – V. 57, № 10&11. – P. 110 – 122.
- [7] The radiophysical observatory for remote sounding of the ionosphere / Tyrnov, O. F. et al. // Turkish Journal of Physics. 1994. V. 18. P. 1260–1265.

ON THE POSSIBILITY OF GENERATING LOW FREQUENCY WHISTLERS IN THE LOWER IONOSPHERE DURING THE DISTURBANCES OF DIFFERENT NATURE

Gokov A. M.¹, Tyrnov O. F.²

¹ Kharkiv National Economic University
e-mail: amg_1955@mail.ru

² V. Karazin Kharkiv National University
Svoboda Sq. 4, Kharkiv, 61077, Ukraine

Abstract — It is experimentally shown that low frequency whistlers can be generated using the infrasound produced by heavy thunderstorm in the atmosphere and by powerful atmospheric fronts during the seasonal changes of the year.

I. Introduction

The results of experimental investigations near Kharkiv with the use of the partial reflection technique (PR) (using time-height registrations of the PR-signals and radio-noises at 2,4 MHz) and by the vertical Doppler sounding technique (using the Doppler shift of frequency) in the regional middle latitude D-region the possibility to generate of low-frequency whistlers by infrasound, generated in the atmosphere during heavy thunderstorms and in the powerful atmospheric fronts during the seasonal of changes of the year are considered.

II. Main Part

Experimental investigations have been made near Kharkiv (geographical coordinates: 49°38'N, 36°20' E) by the PR and VDS techniques. The measurements of the PR amplitudes and radio noises at 2.2 – 2.4 MHz and the Doppler shift of frequency have been previously made before, during and after the strong thunderstorms 01.07.1997, 07.07.1998, 08.09.2001, 25.09.2001 and before, during and after the passage of powerful atmospheric front 01 – 03.02.2005, 28 – 30.03.2006, 07 – 10.02.2007 and 21 – 23.03.2007. Measurements were performed by sessions continuously over the period of 1 to 10 hours, and after thunderstorms and continuously during three days in the period of the passage of atmospheric fronts. Three tasks were fulfilled: 1) measurements of the Doppler shift of frequency at the vertical sounding of ionosphere in the epicentral area of disturbances to define the frequency of infrasonic waves as $f_1 = f_d$; 2) on the measurements by the method of PR amplitudes of the partially reflected radio signals and radionoisces experimentally to get the confirmation of possible generation of infrasonic waves in the atmosphere during disturbances and to define infrasonic wave frequency f_1 ; 3) the simultaneous measurements by the PR and VDS techniques to compare the obtained values of frequencies of infra-sound f_1 and the use of relation (2) to calculate the frequencies f_3 of the low-frequency whistlers generated in this height region. The experimental results are given in Table 1.

III. Conclusion

1. The methods for determining of the frequencies of low frequency whistlers, generated by infrasonic waves in the E-region of ionosphere near the epicentre of heavy thunderstorms in the atmosphere and over the periods of passage of powerful atmospheric front is proposed.

2. It was confirmed experimentally with use the Vertical Doppler Sounding and Partial reflection techniques, that during the heavy thunderstorms near the epicentre and during the periods of the passing powerful atmospheric fronts of the infrasonic waves can be generated at the frequency of $f_1 \approx 0.4 - 0.8$ Hz, which penetrates to the heights of E-region of the ionosphere.

3. Based upon the mechanism to transformations of infrasonic waves in the E-region of the ionosphere in low frequency whistlers and dispersion correlation the frequencies of low frequency whistlers 7- 29 кГц, are determined. The experimental results are in good agreement with theoretical calculation.