

# MODELING OF THE ELECTRON-MOLECULE COLLISION FREQUENCY VARIATIONS IN THE UNDISTURBED MIDLATITUDE D-REGION ON THE EXPERIMENTAL BASIS

Gokov A. M.<sup>2</sup>, Tyrnov O. F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kharkiv V. N. Karazin National University  
4, Svoboda sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

<sup>2</sup>Kharkiv S. Kuznets National University of Economic  
Ph.: (057) 7051251, e-mail: amg\_1955@mail.ru

**Abstract** — There are given and analyzed the main features of the model distribution of the height-temporal variations of the electron collisions with neutral molecules in the undisturbed midlatitude D-region of the ionosphere, obtained through long-time systematic experimental studies near Kharkov and episodic purposeful observation near Volgograd performed by the partial reflection and rocket methods.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ЧАСТОТ СТОЛКНОВЕНИЙ ЭЛЕКТРОНОВ С МОЛЕКУЛАМИ В НЕВОЗМУЩЕННОЙ СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Гоков А. М.<sup>2</sup>, Тырнов О. Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина  
пл. Свободы 4, Харьков, 61022, Украина

<sup>2</sup>Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнецца  
тел.: (057) 7051251, e-mail: amg\_1955@mail.ru

**Аннотация** — Приведены и проанализированы модельные представления основных особенностей высотно-временных изменений частот столкновений электронов с молекулами в невозмущенной среднеширотной D-области ионосферы, полученные на основе длительных систематических экспериментальных исследований вблизи г. Харькова и эпизодических целенаправленных наблюдений вблизи г. Волгограда, выполненных методом частичных отражений и ракетными методами.

### I. Введение

В литературе до настоящего времени нет единого мнения об изменениях высотного профиля частот столкновений электронов с нейтральными молекулами  $\nu(z)$  в D-области ионосферы. По этой причине не существует надежной модели высотно-временных вариаций  $\nu(z)$ . Для решения различных задач обычно используют несколько моделей, в большинстве случаев сконструированных по профилю атмосферного давления той или иной модели стандартной атмосферы CIRA. В целом проблема вариаций  $\nu(z)$  в нижней ионосфере не решена и требует продолжения исследований с учетом влияния региональных особенностей, источников возмущений естественного и антропогенного происхождения.

В настоящей работе рассматриваются результаты моделирования вариаций профиля  $\nu(z)$  на основе банка экспериментальных данных, полученных методом частичных отражений (ЧО) с помощью аппаратуры ХНУ имени В. Н. Каразина в разные сезоны года в период 1980—2012 гг. вблизи г. Харькова, Мурманска и Волгограда [1].

### II. Основные результаты и их обсуждение

Изучение высотно-временных вариаций профиля  $\nu(z)$  в D-области проводилось тремя способами по наблюдениям, выполненным в двух среднеширотных регионах в разные сезоны года — в районе г. Харькова и г. Волгограда. Вариации  $\nu(z)$  в средней и верхней частях D-области (на высотах выше примерно 75 км) исследовались по измерениям методом ЧО с использованием методик, рассмотренных в ра-

ботах [2, 3], и в совместных измерениях методом ЧО и методами когерентных частот и импедансного зонда в ракетных экспериментах [4, 5] (профили концентрации электронов измерялись в ракетных экспериментах с погрешностью  $\leq 10\%$  и использовались для получения профилей  $\nu(z)$  по методике дифференциального поглощения методом ЧО). Вариации  $\nu(z)$  в нижней части D-области (ниже 75 км) исследовались с использованием методики, рассмотренной в работе [6]. Профили  $\nu(z)$  вычислены с погрешностью  $\leq 30\%$ . Модели высотно-временных изменений профиля  $\nu(z)$  представлены в графическом виде.

Результаты экспериментов показали, что изменения  $\nu(z)$  в среднеширотной D-области ионосферы в течение светлого времени суток находятся в пределах погрешностей измерений методом ЧО ( $\leq 30\%$ ), т. е. зависимость частот столкновений электронов с молекулами от зенитного угла Солнца отсутствует.

На основе многочисленных экспериментов установлена отчетливая сезонная зависимость  $\nu(z)$ .

Табл. 1. Средние значения частот столкновений для летних и зимних условий

Table 1. Average values of the collision frequencies for summer and winter conditions

Z, км	$\nu_1$ (лето)	$\nu_2$ (зима)	$\nu_1/\nu_2$	$\langle \nu \rangle$
60	$0,403 \cdot 10^8$	$0,274 \cdot 10^8$	1,47	$0,339 \cdot 10^8$
63	$0,250 \cdot 10^8$	$0,154 \cdot 10^8$	1,62	$0,202 \cdot 10^8$
66	$0,174 \cdot 10^8$	$0,164 \cdot 10^8$	1,07	$0,169 \cdot 10^8$

В табл. 1. в качестве примера приведены результаты расчетов для двух сезонов года значений  $\nu$  для высот  $z = 60—66$  км (количество реализаций — 170;  $\nu_{1,2}$  — усредненные по всем регистрациям значения

$\nu$  для летних и зимних условий соответственно;  $\langle \nu \rangle$  — среднее значение для  $\nu_1$  и  $\nu_2$ ). Они подтверждают наличие сезонных изменений в нижней части D-области: летние значения превышают зимние приблизительно в 1,4—1,6 раза.

Региональные различия в значениях  $\nu(z)$  исследовались нами по измерениям при одинаковых зенитных углах Солнца вблизи гг. Волгограда и Харькова в разные сезоны года. Установлено, что отличия значений  $\nu(z)$ , полученных в разных среднеширотных регионах, не превышают погрешностей измерений, что указывает на отсутствие региональных различий в вариациях  $\nu(z)$  в невозмущенной среднеширотной D-области ионосферы (см. пример в таблице 2). Эксперименты показали, что они возможны при некоторых региональных возмущениях естественного и антропогенного характера.

Табл. 2. Примеры региональных измерений профиля  $\nu(z)$   
Table 2. The examples of regional changes in the  $\nu(z)$ -profile

z, км	Харьков	Волгоград	Харьков	Волгоград
	10.20 LT 29.10.1995		11.00 LT 29.10.1995	
$\nu \times 10^{-7}, \text{c}^{-1}$				
72		0,181		0,192
75	0,128	0,115	0,101	0,111
78	0,087	0,071	0,078	0,069
81	0,038	0,045	0,032	0,040

Для установления возможных широтных вариаций  $\nu(z)$  в D-области выполнено сравнение усредненных  $\langle \nu(z) \rangle$ -профилей, полученных методом ЧО течение светлого времени суток на средней широте 31.07.1981 вблизи г. Харькова (географическая широта 49° 38') и на высокой широте 02.07.1977 вблизи г. Мурманка (69°). Результаты расчетов приведены на рис. 1.

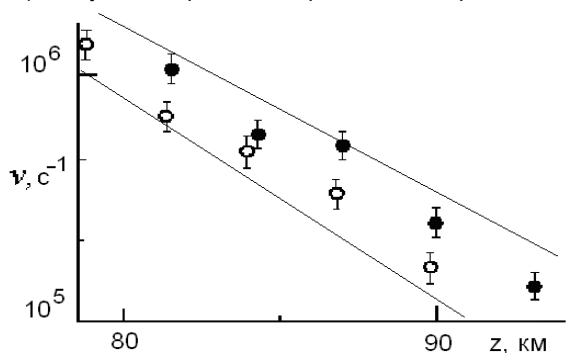


Рис. 1. Пример широтных изменений частот столкновений электронов в D-области.

Fig. 1. The example of latitude changes of the electron-molecules collisions frequency in the D-region

На этом рисунке кружками обозначены усредненный по 5 реализациям  $\langle \nu(z) \rangle$ -профиль для средней широты, точками  $\langle \nu(z) \rangle$  — для высокой широты (усреднение проводилось по 6 регистрациям, равномерно распределенным в течение светлого времени суток). Вертикальными отрезками обозначен разброс полученных данных; сплошными линиями — оценка разброса экспериментальных профилей частот столкновений в невозмущенных условиях, получен-

ная на основе обзора литературных данных, полученных экспериментально различными методами. Из рис. 1 видно, что различия  $\langle \nu(z) \rangle$ -профилей имеются, они небольшие, и значения  $\langle \nu(z) \rangle$  для высокой широты немного превышают значения для средней широты (как усредненные, так и индивидуальные). Разброс экспериментальных значений в профилях частот столкновений электронов с молекулами в невозмущенных условиях, полученных на основе обзора литературных данных, значительно больше. Обусловлено это, в первую очередь, ошибками измерений и, вероятно, возможными широтными вариациями частот столкновений

### III. Заключение

Построена эмпирическая модель высотно-временных вариаций частот столкновений электронов с молекулами в невозмущенной D-области.

Установлено, что региональные различия в вариациях  $\nu(z)$  в невозмущенной среднеширотной D-области ионосферы отсутствуют, но они возможны при некоторых региональных возмущениях.

Установлено, что изменения  $\nu(z)$  в невозмущенной среднеширотной D-области в течение светлого времени суток находятся в пределах погрешностей измерений методом ЧО, т. е. зависимость частот столкновений электронов с молекулами от зенитного угла Солнца отсутствует.

Установлены сезонные изменения  $\nu(z)$  в среднеширотной D-области: летние значения  $\nu(z)$  превышают зимние примерно в 1,4—1,6 раза.

### IV. References

- [1] Tyrnov, O. F., Garmash K. P., Gokov A. M., Gritchin A. I., Dorohov V. L., Kontzevaya L. G., Kostrov L. S., Leus S. G., Martynenko S. I., Misyura V. A., Podnos V. A., Pokhilko S. N., Rozumenko V. T., Somov V. G., Tsymbal A. M., Chernogor L. F., Shemet A. S. The radiophysical observatory for remote sounding of the ionosphere. *Turkish Journal of Physics*, 1994, Vol. 18, No. 11, pp. 1260–1265.
- [2] Benediktov E.A., Grishkevich L.V., Ivanov V.A. Odnovremennyye izmereniya elektronnoy koncentracii i chastot sudareniy elektronov v D-oblasti ionosfery metodom chasticnykh otrazheniy [Simultaneous measurements of electron density and electron collision frequency in the D-region of the ionosphere by the partial reflection]. *Izvestiya vuzov. Radiofizika*, 1972, Vol. 15, No. 5, pp. 695–702.
- [3] Gokov A. M. Simultaneous Determination of Electron Density and Electron-Neutral Molecule Collision Frequencies in the Ionospheric D-region by a Partial Reflection Technique. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2003, Vol. 60, No 10–1 2, pp. 145–158.
- [4] Sinelnikov V.M. Struktura N(h)-profiley zimney nizhney ionosfery po izmereniyam na meteoraketakh metodom kogherentnykh chastot v period MAP [Structure of the N(h)-profiles of the winter lower ionosphere as measured by the method of the coherent frequencies at the meteoraket during MAP]. *Ionosfernyye issledovaniya*, 1989, No 47, pp. 120–136.
- [5] Pakhomov S.V., Knjazev A.K. O sezonnom khode elektronnoy koncentracii sredneshirotnoy D-oblasti ionosfery [About the seasonal course of the electron density of the midlatitude D-region of the ionosphere]. *Geomagnetizm i aeronomija*, 1985, Vol. 25, No 5, pp. 750–754.
- [6] Gokov A. M. Development of the Method of Determining of the Electron Molecule Collision Frequencies in the Ionospheric D-region by Partial Reflection Technique. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2003, Vol. 59, No 3&4, pp. 139–144.