

Т.Г. ЖИВОЛУП, канд. физ.-мат. наук, Институт ионосферы (г. Харьков)

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ОБЛАСТИ F ИОНОСФЕРЫ С ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ А.Д. ДАНИЛОВА

Розглянуто порівняння розробленої теоретичної моделі нижньої частини області F іоносфери з емпіричною моделлю А.Д. Данилова. Результати порівняння експериментальних та теоретичних висотних профілів $[O^+]/n_e$ свідчать про гарні точнісні характеристики розробленої теоретичної моделі.

Comparison of the elaborated theoretical model of the ionosphere F-region lower part with the A.D. Danilov empirical model is considered. Comparison results of the experimental and theoretical $[O^+]/n_e$ height profiles give evidence about good accuracy characteristics of the elaborated theoretical model.

Введение. Для решения прикладных задач радиолокации, радионавигации и распространения радиоволн требуются надежные теоретические модели нижней части области F ионосферы, обладающие хорошими точностными характеристиками. Поэтому сравнение разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы с надежными экспериментальными данными позволяет определить ее точностные характеристики.

Постановка задачи. Для проверки точностных характеристик разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы была взята эмпирическая модель относительного ионного содержания А.Д. Данилова, построенная по данным ракетных измерений и входящая в модель IRI-2001. Были выбраны конкретные дни 2001 года, относящиеся к весеннему и осеннему равноденствиям, а также к летнему и зимнему солнцестояниям: 22 марта (индекс солнечной активности $F_{10,7} = 145$), 22 сентября ($F_{10,7} = 132$), 22 июня ($F_{10,7} = 135$) и 22 декабря ($F_{10,7} = 127$). Сравнение было проведено для относительного содержания иона атомарного кислорода O^+ в интервале высот 100–300 км.

Разработанная теоретическая модель нижней части области F ионосферы использует данные модели MSIS-86 для концентраций нейтральных частиц на высоте 100 км для конкретного дня и уровня солнечной активности, а также значение экзосферной температуры. Эти данные используются как входные для вычисления высотного распределения нейтральных частиц согласно соотношениям модели нейтральной атмосферы Яккия-71 [1]. Разрабо-

танная теоретическая модель также использует девятиинтервальный спектр коротковолнового солнечного излучения [2], зависимость интенсивности коротковолнового излучения Солнца от значения индекса $F_{10.7}$ [3], а также основные ионно-обменные реакции и реакции диссоциативной рекомбинации и значения их скоростей, приведенные в [4].

Разработанная теоретическая модель нижней части области F ионосферы учитывает ионизацию нейтральной атмосферы солнечным излучением, шесть ионно-обменных реакций и три реакции диссоциативной рекомбинации и определяет концентрацию электронов n_e и ионных составляющих $[\text{NO}^+]$, $[\text{O}_2^+]$, $[\text{O}^+]$ и $[\text{N}_2^+]$.

Концентрация атомарного кислорода $[\text{O}^+]$ определяется путем решения уравнения непрерывности. Из системы уравнений баланса ионизации вычисляются концентрации молекулярных ионов $[\text{NO}^+]$, $[\text{O}_2^+]$, $[\text{N}_2^+]$ и электронная концентрация n_e .

Разработанная теоретическая модель нижней части области F ионосферы позволяет рассчитать как абсолютную, так и относительную концентрацию молекулярных ионов и иона $[\text{O}^+]$.

Цель работы – проверка точностных характеристик разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы.

Результаты исследований. Расчетные высотные профили относительного содержания иона O^+ были сопоставлены с эмпирическими высотными профилями $[\text{O}^+]/n_e$ эмпирической модели А.Д. Данилова. Следует отметить, что данные состава нейтральной атмосферы на высоте 100 км для летнего солнцестояния (22 июня) были взяты непосредственно из модели MSIS-86, а для весеннего и осеннего равноденствий и зимнего солнцестояния были взяты данные, полученные путем модификации нейтральных составляющих для летнего солнцестояния. Исходные данные для летнего солнцестояния были модифицированы следующим образом:

- для 22 марта содержание нейтрального кислорода $[\text{O}]$ было увеличено в 4 раза, а содержание молекулярного кислорода $[\text{O}_2]$ было уменьшено в 2 раза;
- для 22 сентября содержание атомарного кислорода было увеличено в 4 раза, а содержание молекулярного кислорода было уменьшено в $\sqrt{3}$ раз;
- для 22 декабря содержание атомарного кислорода было увеличено в 2 раза, содержание молекулярного кислорода было уменьшено в 3 раза, а содержание молекулярного азота $[\text{N}_2]$ было увеличено в 1,5 раза.

На рис. 1 2 показано сравнение расчетных высотных профилей $([O^+]/n_e)(h)$ с профилями, взятыми из эмпирической модели А.Д. Данилова

Как видно из рис. 1 для 22 марта, расчетный и экспериментальный профили расходятся на 1–3% в интервале высот 100–200 км и на 1–5% – в интервале высот 200–300 км.

Для 22 июня (рис. 1) наблюдается расхождение расчетного и экспериментального профилей $([O^+]/n_e)(h)$ на 1–3% в интервале высот 100–200 км и на 1–7% – в интервале высот 200–300 км.

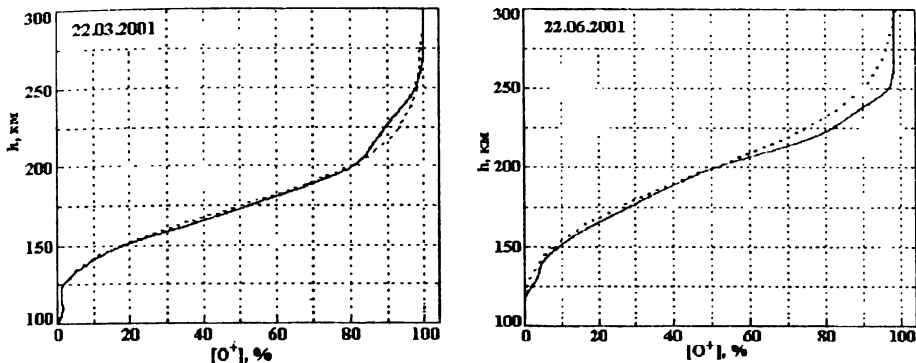


Рис. 1. Сравнение высотных профилей $([O^+]/n_e)(h)$, рассчитанных по разработанной теоретической модели (пунктир) и взятых из эмпирической модели А.Д. Данилова (сплошные линии), для весеннего равноденствия и летнего солнцестояния

Для 22 сентября (рис. 2) наблюдается расхождение расчетного и экспериментального профилей $([O^+]/n_e)(h)$ на 1–3% в интервале высот 100–225 км и на 1–6% – в интервале высот 225–300 км.

Для 22 декабря (рис. 2) расхождение расчетного и экспериментального профилей $([O^+]/n_e)(h)$ составляет 1–3% на высотах 100–170 км и заметно возрастает на высотах 175–225 км до величины 5–10%. Выше высоты 225 км расхождение профилей составляет 1–3%.

Таким образом, сравнение экспериментальных высотных профилей относительного содержания иона O^+ , взятых из эмпирической модели А.Д. Данилова, с теоретическими показало их хорошее соответствие для 22 марта, 22 июня и 22 сентября в области высот 100–200 км. В интервале высот 200–300 км расхождение экспериментальных и теоретических профилей для этих дней не превышает 5–7%.

Для 22 декабря наблюдается расхождение экспериментальных и теоретических профилей на высотах 175-225 км до величины 5-10%.

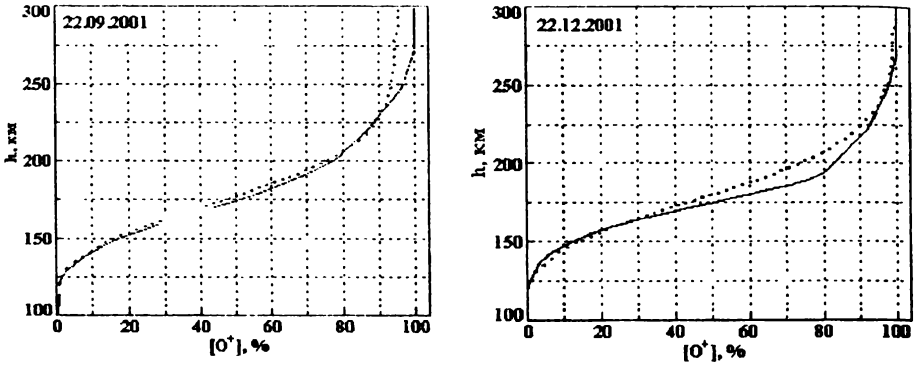


Рис. 2. Сравнение высотных профилей $([O^+]/n_e)(h)$, рассчитанных по разработанной теоретической модели (пунктир) и взятых из эмпирической модели А.Д. Данилова (сплошные линии), для осеннего равноденствия и зимнего солнцестояния

Выводы. Результаты сравнения экспериментальных и теоретических высотных профилей O^+/n_e свидетельствуют о хороших точностных характеристиках разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы.

Список литературы: 1. *Jacchia L.G.* Revised static models of the thermosphere and exosphere with empirical temperature profiles // Spec. Rep. N 332. Smithsonian Astrophys. Observ., Cambridge, Mass. 1971. 2. *Stubbe P.* The thermosphere and the F-region: a reconciliation of theory with observations. Ionospheric Research Sci. Rep. N 418. Penn. State University. 1973. 156 p. 3. *Иванов-Холодный Г.С., Фирсов В.В.* Спектр коротковолнового излучения Солнца при различных уровнях активности // Геомагн. и аэронавигация. 1974, Т. 14, №3. С. 393 - 398. 4. *Антонова Л.А., Иванов-Холодный Г.С.* Солнечная активность и ионосфера (на высотах 100-200 км) // М.: Наука, 1989. 168 с.

Поступила в редколлегию 21.04.04