

УДК 550.388.2

С. В. ГРИНЧЕНКО

РАЗРЫВЫ НЕПРЕРЫВНОСТИ СУТОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ, ВЫЧИСЛЕННОЙ ПО МОДЕЛИ NEQUICK

Модель NeQuick позволяет вычислять высотные профили электронной концентрации для любой точки земного шара в широком диапазоне высот в любое время суток. При построении профиля электронной концентрации областей E, F1, F2 применяются аналитические формулы, включающие в себя выражения для описания отдельных слоёв. В качестве параметров этих формул используются предварительно вычисляемые значения электронной концентрации и высот вершин слоёв. Недостаточная корректность алгоритмизации построения профиля электронной концентрации в областях E, F1 приводит к некоторым неточностям. Например, при расчёте суточного хода электронной концентрации в моменты времени, соответствующие появлению или исчезновению слоя F1, происходит разрыв непрерывности зависимости электронной концентрации от времени.

Ключевые слова: ионосфера, электронная концентрация, NeQuick, IRI.

Общие сведения об ионосферных моделях NeQuick и IRI. Ионосферные модели позволяют рассчитывать параметры ионосферной плазмы в широком высотном диапазоне вокруг земного шара. Наиболее широко используются многими научными группами эмпирические ионосферные модели NeQuick и IRI. Исходные коды этих моделей, написанные на языке Фортран, являются открытыми для доступа на некоторых сайтах. Нынешние компиляторы Фортрана, ориентированные на объектно-ориентированное программирование, поддерживают всевозможные коды, написанные в течение всей 60-летней истории Фортрана. Поэтому имеется возможность на базе фортрановских кодов любых версий создавать современные приложения с использованием графических и сетевых технологий.

При расчёте электронной концентрации вблизи максимума F2 принципиальной разницы между моделями NeQuick и IRI нет, так как критическая частота f_0F2 слоя F2 и высота h_mF2 вершины слоя рассчитываются по одной и той же модели CCIR [1]. Полное электронное содержание в обеих моделях вычисляется интегрированием модельного профиля электронной концентрации.

Ряд исследователей проводят сопоставления расчётов по моделям NeQuick и IRI, сравнения со спутниковыми данными и данными различных наземных радиофизических методов [2-6]. Отмечается хорошее согласие в максимуме слоя F2 и несколько худшее соответствие в остальных частях профиля электронной концентрации. Наибольшие расхождения отмечаются в области экваториальной аномалии.

Европейская модель NeQuick позволяет рассчитывать как вертикальный, так и наклонный профили концентрации электронов в ионосфере. При расчёте вертикального высотного профиля электронной концентрации программа NeQuick использует в качестве входных данных географические координаты точки расчёта, номер месяца в году, местное время и индекс $F_{10.7}$ уровня солнечной активности. При расчёте наклонного профиля задаются координаты концов наклонного отрезка расчётов.

Модель NeQuick является продуктом нескольких европейских научных организаций, занимающихся ионосферными исследованиями. Головной по разработке модели NeQuick является лаборатория связи в Международном центре теоретической физики (Италия, г. Триест). Международный союз электросвязи рекомендует использовать модель NeQuick рекомендуется для расчёта линий связи.

В Европейском научном сообществе ионосферной модели NeQuick уделяется значительное внимание. Ежегодно в Международном Центре теоретической физики проходят семинары, ассамблеи, конференции, посвящённые развитию и применению модели NeQuick.

Постановка проблемы разрыва непрерывности суточных вариаций электронной концентрации согласно расчётам по модели NeQuick. При расчёте электронной концентрации в течение суток в утренние и вечерние моменты времени, соответствующие появлению и исчезновению слоя F1, происходит разрыв временной непрерывности вычисления электронной концентрации. На рис. 1 представлено суточное изменение электронной концентрации, рассчитанной по модели NeQuick в точке с координатами Харьковского радара некогерентного рассеяния. Расчётный месяц – июнь, индекс $F_{10.7}=100$. Десятичный логарифм значения электронной концентрации представлен соответствующим серым цветом. Сама электронная концентрация измеряется в см^{-3} .

Для черно-белой печати данного издания рисунок выполнен в серых цветах. Серые цвета представляют комбинации одинаково насыщенных красного, зелёного и синего цветов система. RGB-значения серых цветов равны AABVCC₁₆. Чёрный цвет имеет RGB-значение 000000₁₆, белый цвет определяется RGB-значением FFFFFFF₁₆. Количество серых цветов равно 256. Естественно, данный рисунок может быть выполнен и «в цвете». Количество цветов в этом случае равно $16^6=256^3=16777216$.

© С. В. Гринченко, 2015

В моменты появления и исчезновения слоя F1 наблюдается разрыв цветности рисунка, т.е. разрыв в непрерывности зависимости значения электронной концентрации от местного времени.

На рис. 2 изображены высотные профили электронной концентрации соответствующие утреннему разрыву непрерывности. Крестиками

обозначены вершины слоёв E, F1, F2, предварительно вычисляемые в модели NeQuick при построении высотного профиля. Как видно из рисунка, при наличии слоя F1 точка, соответствующая вычисляемым параметрам вершины слоя F1, не лежит на профиле электронной концентрации.

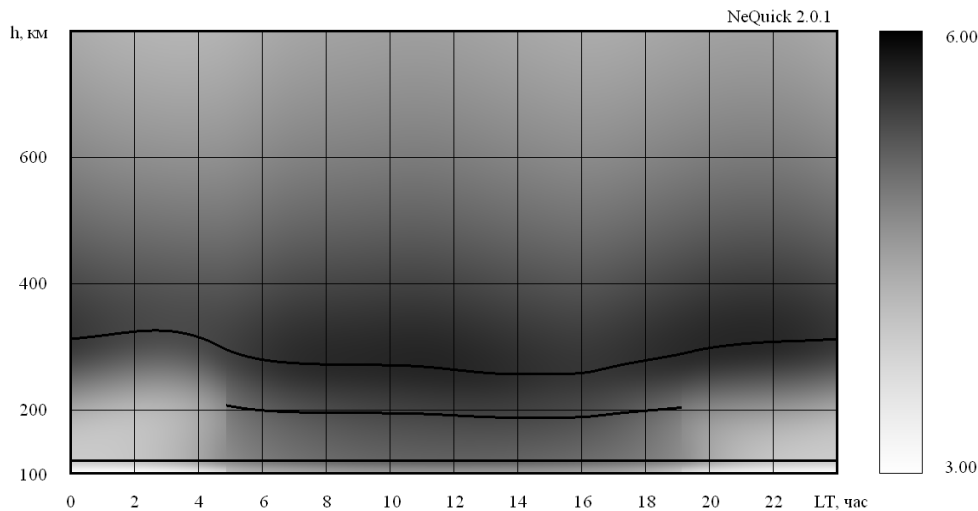


Рис. 1 – Разрыв в непрерывности зависимости значения электронной концентрации от местного времени в моменты появления и исчезновения слоя F1: июнь, индекс $F_{10.7}=100$

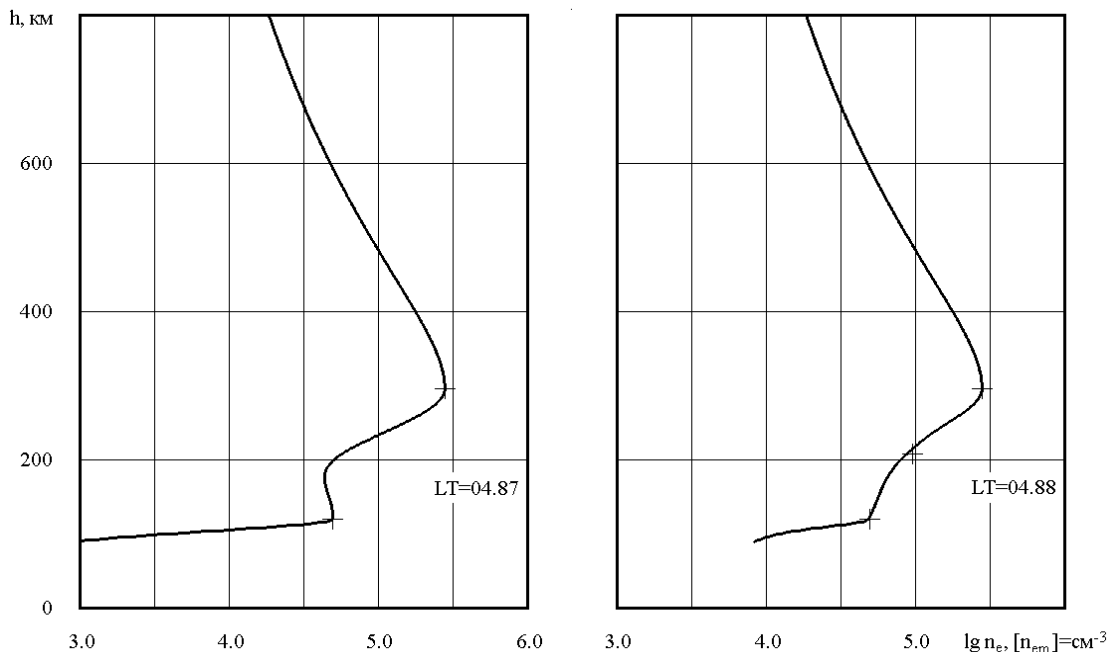


Рис. 2 – Скачок в изменении электронной концентрации модели NeQuick в момент появления слоя F1

В модели NeQuick высота слоя E является фиксированной и равной 120 км. Высота слоя F1 вычисляется по приближённой формуле (высота слоя F1 равна полусумме высот слоёв E и F2).

Расчёты показывают, что по модели NeQuick слой F1 существует в дневное время и летом, и зимой;

причём с ростом солнечной активности временной интервал существования слоя F1 расширяется. Это противоречит общепринятым представлениям о вариациях слоя F1, согласно которым слой F1 проявляется преимущественно в летнее дневное время при низкой солнечной активности.

Хотя вопрос о разрыве непрерывности суточных вариаций значений электронной концентрации, вычисляемых по модели NeQuick, кажется автору статьи не только естественным, но и актуальным [7], в литературе эта проблема никогда не обсуждалась. Тем более, эффект дискретного изменения профиля электронной концентрации в моменты появления и исчезновения слоя F1 присутствует и в модели IRI. В модели IRI этот разрыв количественно менее выражен.

Задачей, решаемой автором статьи, является выяснение особенностей алгоритма программы модели NeQuick, вызывающих нарушение непрерывности зависимости от местного времени в моменты появления и исчезновения слоя F1.

Базовые формулы, используемые в модели NeQuick при построении профиля электронной концентрации ниже области F2. Модель NeQuick базируется на использовании функции Эпштейна

$$f(x, y, z, w) = \frac{x}{\left(1 + e^{\frac{w-y}{z}}\right)^2} e^{\frac{(w-y)}{z}} \quad \text{при описании}$$

отдельных слоёв электронной концентрации [8-11]. Для каждого из слоёв E, F1, F2 электронная концентрация задаётся формулой:

$$n_e(h) = n_e(h; h_m, n_{em}, B) = \frac{4n_{em}}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m}{B}}\right)^2} e^{\frac{h-h_m}{B}},$$

где h – высота расчёта электронной концентрации; h_m – высота максимума электронной концентрации слоя; n_{em} – максимальное значение электронной концентрации слоя; B – параметр, описывающий толщину слоя.

$$\text{Как видно, } n_e(h_m) = \frac{4n_{em}}{(1+1)^2} \cdot 1 = n_{em}.$$

Высотный профиль электронной концентрации областей E, F1, F2 описывается формулой:

$$n_e(h) = n_e^E(h) + n_e^{F1}(h) + n_e^{F2}(h),$$

где:

$$n_e^E(h) = n_e^E(h; h_m^E, n_{em}^E, B^E) = \frac{4n_{em}^E}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m^E}{B^E}}\right)^2} e^{\frac{h-h_m^E}{B^E}},$$

$$n_e^{F1}(h) = n_e^{F1}(h; h_m^{F1}, n_{em}^{F1}, B^{F1}) = \frac{4n_{em}^{F1}}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m^{F1}}{B^{F1}}}\right)^2} e^{\frac{h-h_m^{F1}}{B^{F1}}},$$

$$n_e^{F2}(h) = n_e^{F2}(h; h_m^{F2}, n_{em}^{F2}, B^{F2}) = \frac{4n_{em}^{F2}}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m^{F2}}{B^{F2}}}\right)^2} e^{\frac{h-h_m^{F2}}{B^{F2}}}.$$

Анализ аналитического описания слоя электронной концентрации модели NeQuick.

Электронная концентрация слоя

$$n_e(h) = n_e(h; h_m, n_{em}, B) = \frac{4n_{em}}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m}{B}}\right)^2} e^{\frac{h-h_m}{B}}.$$

Для выяснения физического смысла параметра B

вычислим отношения $\frac{n_{em}}{n_e(h_m - B)}$ и $\frac{n_{em}}{n_e(h_m + B)}$:

$$\frac{n_{em}}{n_e(h_m - B)} = \frac{n_{em}}{\frac{4n_{em}}{(1+e^{-1})^2} e^{-1}} = \frac{(e+1)^2}{4e},$$

$$\frac{n_{em}}{n_e(h_m + B)} = \frac{n_{em}}{\frac{4n_{em}}{(1+e)^2} e} = \frac{(e+1)^2}{4e}.$$

Таким образом, параметр B – это полутолщина слоя, при которой значение электронной концентрации уменьшается в $\frac{(e+1)^2}{4e} \approx 1.2715$ раза.

При этом $\lg n_{em} - \lg n_e(h_m - B) = \lg n_{em} - \lg n_e(h_m + B) = \lg \frac{(e+1)^2}{4e}$, т.е. десятичный логарифм электронной

концентрации уменьшается на $\lg \frac{(e+1)^2}{4e} \approx 0.10433$.

Кривая $n_e(h)$ симметрична относительно прямой (оси симметрии) $h=h_m$. Это видно из следующих соотношений:

$$n_e(h_m + \Delta h) = \frac{4n_{em}}{\left(1 + e^{\frac{\Delta h}{B}}\right)^2} e^{\frac{\Delta h}{B}},$$

$$n_e(h_m - \Delta h) = \frac{4n_{em}}{\left(1 + e^{-\frac{\Delta h}{B}}\right)^2} e^{-\frac{\Delta h}{B}} =$$

$$= \frac{4n_{em}}{\left(e^{\frac{\Delta h}{B}} + 1\right)^2} e^{\frac{\Delta h}{B}} = n_e(h_m + \Delta h).$$

Понятно, что и кривая $\lg n_e(h)$ симметрична относительно прямой $h=h_m$.

На рис. 3 приведены примеры слоя F1 с параметрами $h_m=180$ км, $\lg n_{em}=5.3$ ($[n_{em}]=\text{см}^{-3}$), $B=10$ км и слоя F2 с параметрами $h_m=260$ км, $\lg n_{em}=5.8$, $B=25$ км.

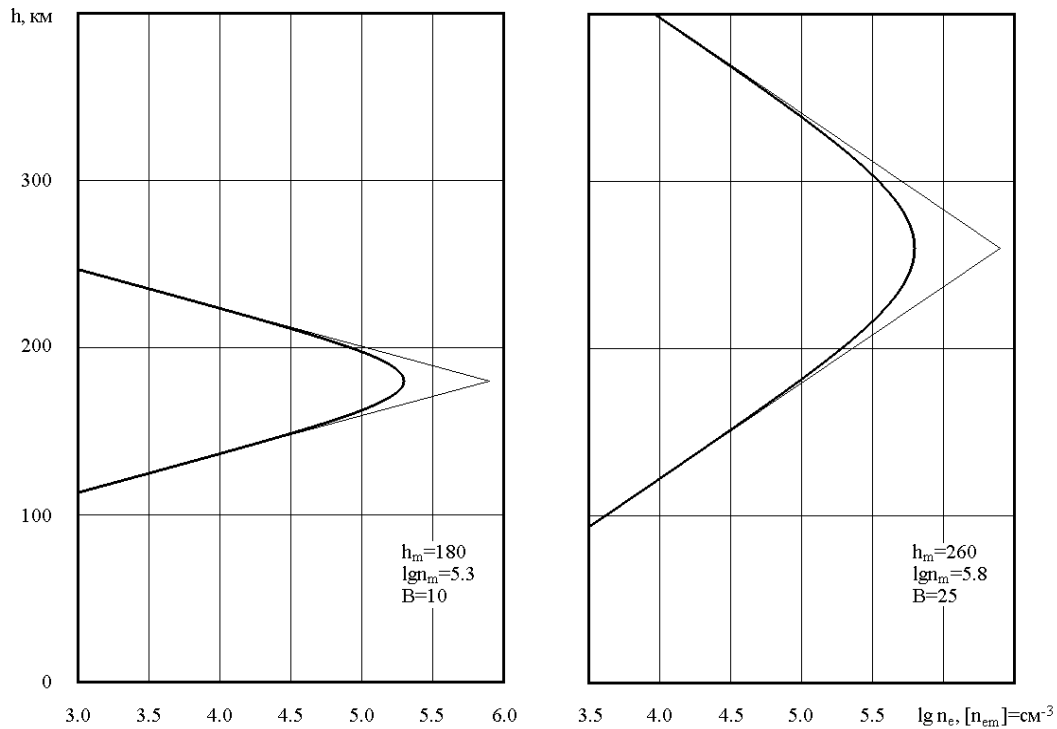


Рис. 3 – Примеры графиков слоёв F1, F2 и их асимптотических прямых

Проведём элементарный анализ кривой $\lg n_e(h)$ на предмет пригодности её для описания слоя электронной концентрации:

$$\ln n_e(h) = \ln 4 + \ln n_{em} - 2 \ln \left(1 + e^{\frac{h-h_m}{B}} \right) + \frac{h-h_m}{B},$$

$$\begin{aligned} (\ln n_e(h))' &= \frac{-2}{1+e^{\frac{h-h_m}{B}}} e^{\frac{h-h_m}{B}} \cdot \frac{1}{B} + \frac{1}{B} = \\ &= \frac{1}{B} \cdot \frac{1-e^{\frac{h-h_m}{B}}}{1+e^{\frac{h-h_m}{B}}} \end{aligned}$$

Производная $(\lg n_e(h))' = \frac{1}{\ln 10} (\ln n_e(h))' = 0$ при $h = h_m$; при $h > h_m$ производная $(\lg n_e(h))' < 0$; при $h < h_m$ производная $(\lg n_e(h))' > 0$. Следовательно, точка $h = h_m$ является точкой максимума функции $\lg n_e(h)$.

В силу наличия оси симметрии $h = h_m$ графика слоя электронной концентрации значения производной $(\lg n_e(h))'$ должны отличаться знаком в точках высоты h , равноудалённых от значения $h = h_m$:

$$(\lg n_e(h_m + \Delta h))' = \frac{1}{\ln 10 \cdot B} \cdot \frac{1 - e^{\frac{\Delta h}{B}}}{1 + e^{\frac{\Delta h}{B}}},$$

$$\begin{aligned} (\lg n_e(h_m - \Delta h))' &= \frac{1}{\ln 10 \cdot B} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{\Delta h}{B}}}{1 + e^{-\frac{\Delta h}{B}}} = \\ &= \frac{1}{\ln 10 \cdot B} \cdot \frac{e^{\frac{\Delta h}{B}} - 1}{e^{\frac{\Delta h}{B}} + 1} = -(\lg n_e(h_m + \Delta h))'. \end{aligned}$$

Вторая производная

$$\begin{aligned} (\ln n_e(h))'' &= \frac{1}{B} \left(\frac{-2e^{\frac{h-h_m}{B}}}{1+e^{\frac{h-h_m}{B}}} + 1 \right)' = \\ &= -\frac{2}{B} \cdot \frac{1 \cdot \left(1 + e^{\frac{h-h_m}{B}} \right) - e^{\frac{h-h_m}{B}} \cdot 1}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m}{B}} \right)^2} \cdot e^{\frac{h-h_m}{B}} \cdot \frac{1}{B} = \\ &= -\frac{2}{B^2} \frac{e^{\frac{h-h_m}{B}}}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m}{B}} \right)^2}. \end{aligned}$$

Производная второго порядка $(\lg n_e(h))'' = \frac{1}{\ln 10} (\ln n_e(h))'' < 0$ при всех значения аргумента h . Следовательно, кривая $\lg n_e(h)$ является выпуклой.

Так как график слоя электронной концентрации симметричен относительно прямой $h = h_m$, значения второй производной $(\lg n_e(h))''$ в точках высоты h , равноудалённых от $h = h_m$, равны друг другу:

$$\begin{aligned} (\lg n_e(h_m + \Delta h))'' &= -\frac{2}{\ln 10 \cdot B^2} \frac{e^{\frac{\Delta h}{B}}}{\left(1 + e^{\frac{\Delta h}{B}}\right)^2}, \\ (\lg n_e(h_m - \Delta h))'' &= -\frac{2}{\ln 10 \cdot B^2} \frac{e^{-\frac{\Delta h}{B}}}{\left(1 + e^{-\frac{\Delta h}{B}}\right)^2} = \\ &= \frac{2}{\ln 10 \cdot B^2} \frac{e^{\frac{\Delta h}{B}}}{\left(e^{\frac{\Delta h}{B}} + 1\right)^2} = (\lg n_e(h_m + \Delta h))''. \end{aligned}$$

Исследуем наличие асимптот кривой $n_e(h)$:

$$\begin{aligned} n_e(h) &= \frac{4n_{em}}{\left(1 + e^{\frac{h-h_m}{B}}\right)^2} e^{\frac{h-h_m}{B}} = \frac{4n_{em}}{\left(e^{-\frac{h-h_m}{B}} + 1\right)^2} e^{\frac{h-h_m}{B}} = \\ &= \frac{4n_{em}}{\left(\frac{1}{e^{\frac{h-h_m}{B}}} + \frac{2}{e^{\frac{h-h_m}{B}}} + 1\right)^2} e^{\frac{h-h_m}{B}} = \frac{4n_{em}}{e^{\frac{h-h_m}{B}} + 2 + e^{-\frac{h-h_m}{B}}}. \end{aligned}$$

При значениях высоты h , значительно превышающих высоту максимума слоя ($h \gg h_m$), формула для аналитического описания электронной концентрации слоя принимает вид: $n_e(h) \approx \frac{4n_{em}}{e^{\frac{h-h_m}{B}}}$. При значениях высоты h , меньших высоты максимума слоя, электронная концентрация слоя $n_e(h) \approx 4n_{em} e^{\frac{h-h_m}{B}}$. Обе асимптотические экспоненты имеют большие значения, чем $n_e(h)$.

Из асимптотических приближений $n_e(h)$ получаются асимптоты $\lg n_e(h)$. При $h \gg h_m$ логарифм $\lg n_e(h) \approx \lg 4 + \lg n_{em} - \frac{h-h_m}{B} \lg e$. При $h \ll h_m$ логарифм $\lg n_e(h) \approx \lg 4 + \lg n_{em} + \frac{h-h_m}{B} \lg e$.

Прямая $\lg n_e(h) \approx \lg 4 + \lg n_{em} - \frac{h-h_m}{B} \lg e$ является наклонной асимптотой десятичного логарифма электронной концентрации слоя выше максимума слоя.

Прямая $\lg n_e(h) \approx \lg 4 + \lg n_{em} - \frac{h-h_m}{B} \lg e$ является наклонной асимптотой ниже максимума слоя. Обе прямые пересекаются в точке $(h_m; \lg 4 + \lg n_{em})$.

Моделирование высотного профиля электронной концентрации как суммы профилей отдельных слоёв. Если слои E и F2 существуют в течение всех суток, то слой F1 существует только днём. Поэтому в дневное время электронная концентрация областей $n_e(h) = n_e^E(h) + n_e^{F1}(h) + n_e^{F2}(h)$, а в остальное время – $n_e(h) = n_e^E(h) + n_e^{F2}(h)$. В моменты появления или исчезновения слоя F1 профиль электронной концентрации терпит скачок (см. рис. 4).

В результате сложения слоёв вершины слоёв E, F1 суммарного профиля электронной концентрации смещаются от первоначального положения вершин отдельных слоёв.

Анализ кода программы показывают, что в программе присутствует алгоритмы, препятствующие смещению вершин слоёв. Если вершина слоя E практически не смещается, то вычисляемые вершины слоя F1 по-прежнему не лежат на самих профилях электронной концентрации. Побочным эффектом этих алгоритмов оказывается также то, что на профиле электронной концентрации модели NeQuick практически не прорисовываются слои E, F1. На рис. 5 показан пример несовпадения вычисляемой по модели NeQuick точки слоя F1 с линией профиля электронной концентрации. Входные данные расчётов: $\varphi=49.7$; $\lambda=36.3$; $mth=12$; $F_{10.7}=100$. То, что предварительно вычисляемая вершина слоя F1 не лежит на профиле электронной концентрации, наблюдается и на рис. 2.

Для проверки работоспособности фортрановского кода модели NeQuick версии 2.0.1, скачанного с открытых для доступа сайтов, было проведено сравнение расчётов, выполненных с помощью кода программы, с результатами вычисления профиля электронной концентрации в режиме on-line. На рис. 5 изображены высотные профили электронной концентрации, вычисленные по модели NeQuick для одних и тех же входных данных: один – по реальной программе, проект которой сделан из имеющегося фортрановского текста, а другой профиль электронной концентрации вычислен в режиме «он-лайн» через Интернет. Рис. 5 иллюстрирует идентичность расчётов.

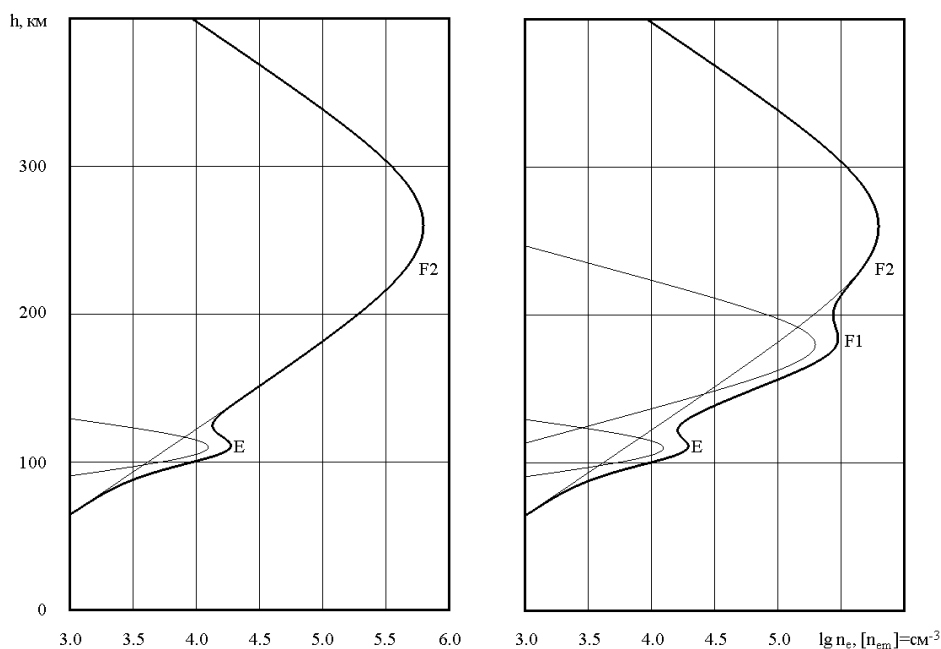


Рис. 4 – Дискретное изменение профиля электронной концентрации в моменты появления или исчезновения слоя F1

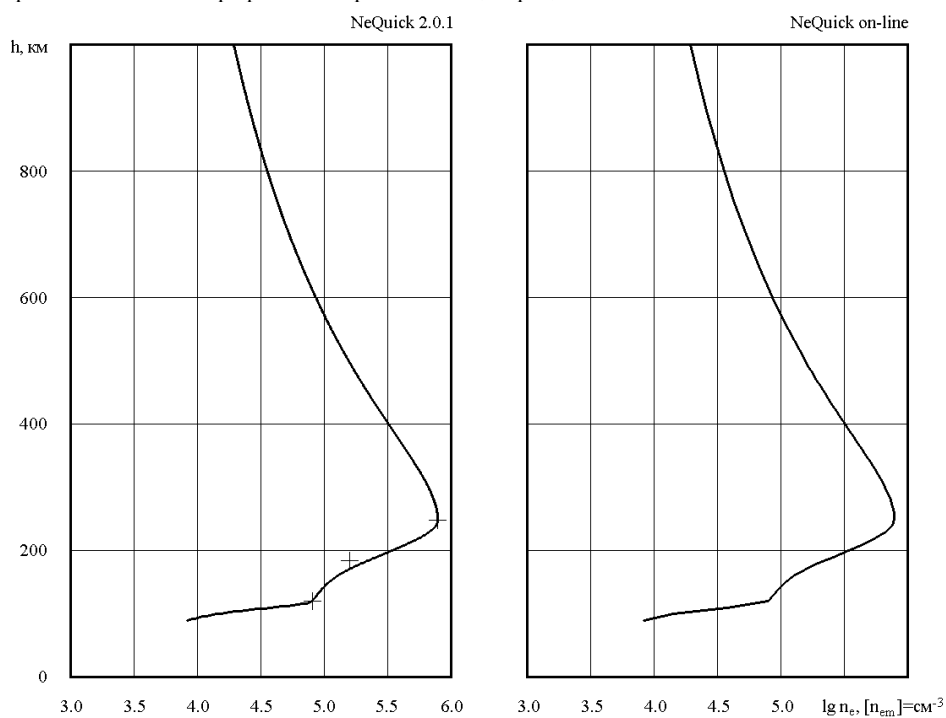


Рис. 5 – Сравнение результатов расчётов по модели NeQuick, проведенных автономно и в режиме on-line

Выводы. При вычислении по модели NeQuick электронной концентрации в течение суток в утренние моменты появления слоя F1 и вечерние моменты его исчезновения наблюдаются разрывы непрерывности изменения электронной концентрации. На профиле электронной концентрации модели NeQuick практически не проявляются слои E, F1. Кроме того,

часто вычисляемые вершины слоя F1 не лежат на самих профилях электронной концентрации. Причиной этого является недостаточная корректность алгоритмизации построения профиля электронной концентрации в областях E, F1.

К менее значимым некорректностям можно отнести то, в модели NeQuick высота слоя E является

фіксованою і рівною 120 км, а висота слоя F1 вивчається по приблизній формулі як полусума висот слоїв E і F2. Згідно моделі NeQuick слой F1 існує в денне час і літом, і зимою; причём з ростом сонячної активності часовий інтервал існування слоя F1 розширюється, що суперечить загальноприйнятими представленнями про варіації слоя F1.

Список літератури: 1. *Grinchenko S.V.* Seasonal anomaly in variations of global distributions of F2-layer electron density according to CCIR model / *S.V. Grinchenko* // Вісник НТУ «ХПІ». Сер.: Радіофізика та іоносфера. – 2014. – № 47 (1089). – С. 74–91. 2. *Radicella S.M.* The evolution of the DGR approach to model electron density profiles / *S.M. Radicella, R. Leitinger* // Adv. Space. Res. – 2001. – Vol. 27, No. 1. – P. 35–40. 3. *Leitinger R.* An improved bottomside for the ionospheric electron density model NeQuick / *R. Leitinger, M.–L. Zhang, S.M. Radicella* // Annals of Geophysics. – 2005. – Vol. 48, No. 3. – P. 525–534. 4. *Coisson P.* Topside electron density in IRI and NeQuick: Features and limitations / *P. Coisson, S.M. Radicella, R. Leitinger, B. Nava* // Adv. Space. Res. – 2006. – Vol. 37, No. 5. – P. 937–942. 5. *Nava B.A.* New version of the NeQuick ionosphere electron density model / *B. Nava, P. Coisson, S.M. Radicella* // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2008. – Vol. 70, No. 15. – P. 1856–1862. 6. *Buresova D.* Data ingestion and assimilation in ionospheric models / *D. Buresova, B. Nava, I. Galkin, et al.* // Annals of Geophysics. – 2009. – Vol. 52, No. 3/4. – P. 235–253. 7. *Грінченко С.В.* Некоректності моделі NeQuick при розрахунок електронної концентрації нижче головного максимуму / *С.В. Грінченко* // 15th Ukrainian Conference on Space Research. Abstracts. Odesa, Ukraine, August 24–28, 2015. Kyiv. – 2015. – 226 p. – P. 130. 8. *Giovanni G.Di.* An analytical model of the electron density profile in the ionosphere / *G.Di. Giovanni, S.M. Radicella* // Adv. Space. Res. – 1990. – Vol. 10, No. 11. – P. 27–30. 9. *Radicella S.M.* The improved DGR analytical model of electron density profile and total content in the ionosphere / *S.M. Radicella, M.–L. Zhang* // Annals of Geophysics. – 1995. – Vol. 38, No. 1. – P. 35–41. 10. *Radicella S.M.* The NeQuick model genesis, uses and evolution / *S.M. Radicella* // Annals of Geophysics. – 2009. – Vol. 52, No. 3/4. – P. 417–422. 11. *Radicella S.M.* NeQuick model: origin and evolution /

S.M. Radicella, B. Nava // Proceedings of the 9th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory. – 2010. – P. 422–425.

Bibliography (transliterated): 1. Grinchenko, S. V. Seasonal anomaly in variations of global distributions of F2-layer electron density according to CCIR model / S. V. Grinchenko // Bulletin of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. Scientific Papers. Series: Radiophysics and ionosphere. – 2014. – No 47 (1089). – P. 74–91. 2. Radicella, S. M. The evolution of the DGR approach to model electron density profiles / S. M. Radicella, R. Leitinger // Adv. Space. Res. – 2001. – Vol. 27, No. 1. – P. 35–40. 3. Leitinger, R. An improved bottomside for the ionospheric electron density model NeQuick / R. Leitinger, M.–L. Zhang, S. M. Radicella // Annals of Geophysics. – 2005. – Vol. 48, No. 3. – P. 525–534. 4. Coisson, P. Topside electron density in IRI and NeQuick: Features and limitations / P. Coisson, S. M. Radicella, R. Leitinger, B. Nava // Adv. Space. Res. – 2006. – Vol. 37, No. 5. – P. 937–942. 5. Nava, B. A new version of the NeQuick ionosphere electron density model / B. Nava, P. Coisson, S. M. Radicella // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2008. – Vol. 70, No. 15. – P. 1856–1862. 6. Buresova, D. Data ingestion and assimilation in ionospheric models / D. Buresova, B. Nava, I. Galkin, et al. // Annals of Geophysics. – 2009. – Vol. 52, No. 3/4. – P. 235–253. 7. Grinchenko, S. V. Some incorrectnesses of NeQuick model at electron density calculation below the main maximum / S. V. Grinchenko // 15th Ukrainian Conference on Space Research. Abstracts. Odesa, Ukraine, August 24–28, 2015. Kyiv. – 2015. – 226 p. – P. 130. 8. Giovanni, G. Di. An analytical model of the electron density profile in the ionosphere / G. Di. Giovanni, S. M. Radicella // Adv. Space. Res. – 1990. – Vol. 10, No. 11. – P. 27–30. 9. Radicella, S. M. The improved DGR analytical model of electron density profile and total content in the ionosphere / S. M. Radicella, M.–L. Zhang // Annals of Geophysics. – 1995. – Vol. 38, No. 1. – P. 35–41. 10. Radicella, S. M. The NeQuick model genesis, uses and evolution / S. M. Radicella // Annals of Geophysics. – 2009. – Vol. 52, No. 3/4. – P. 417–422. 11. Radicella, S. M. NeQuick model: origin and evolution / S. M. Radicella, B. Nava // Proceedings of the 9th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory. – 2010. – P. 422–425.

Поступила (received) 03.08.2015

Відомості про автора / Сведения об авторе / About the Author

Грінченко Сергій Володимирович – Інститут іоносфери НАН та МОН України, м. Харків, науковий співробітник; тел.: (066) 963-18-85; e-mail: svgrinchenko@gmail.com.

Грінченко Сергей Владимирович – Інститут іоносфери НАН і МОН України, г. Харків, науковий співробітник; тел.: (066) 963-18-85; e-mail: svgrinchenko@gmail.com.

Grinchenko Sergii Volodymyrovych – Institute of ionosphere of NAS and MES of Ukraine, Kharkiv, researcher; tel.: (066) 963-18-85; e-mail: svgrinchenko@gmail.com.