

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕПОЛЯРИЗАЦИИ РАДИОВОЛНЫ ПРИ РАДИОЛОКАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В. А. Ивонин, В. П. Лебедев

Суть данной работы — создание ПО, моделирующего изменения эллипса поляризации радиоволны при радиолокации космических объектов с поверхности Земли. Форма и ориентация в пространстве эллипса поляризации радиоволны описывается уравнением (1):

$$\frac{d\theta}{d\sigma} = \frac{1}{T_{крч}(\sigma)} + \frac{\omega}{2c} v(\sigma) \sqrt{u(\sigma)} \cos(\alpha(\sigma)) - i \frac{\omega}{4c} v(\sigma) u(\sigma) \bullet \sin^2(\alpha(\sigma)) \sin(2(\theta(\sigma) + \beta(\sigma))) = \theta' + i\theta'' \quad (1)$$

где θ — комплексный угол эллипса поляризации (рис. 1), σ — элемент траектории луча, $T_{крч}$ — радиус кручения луча, ω — рабочая циклическая частота волны, c — скорость света в вакууме, $v(\sigma) = \frac{e^2}{m_e \epsilon_0 \omega^2} N(\sigma)$,

где e — заряд электрона, m_e — масса электрона, ϵ_0 — электрическая постоянная, N — электронная концентрация атмосферы (ионосферы); $\sqrt{u(\sigma)} = \frac{eB(\sigma)}{m_e \omega}$, где B — модуль магнитной индукции магнитного поля Земли; α — угол между направлением магнитного поля Земли и касательной к лучу, β — угол между главной нормалью луча и плоскостью, образованной касательной к лучу и вектором напряжённости магнитного поля Земли (\vec{H}), θ' — угол наклона эллипса поляризации относительно главной нормали луча, $\theta'' = \text{arctg}\left(\frac{a}{b}\right)$, где a и b — полуоси.

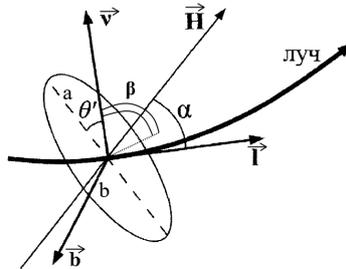


Рис. 1. Ориентация эллипса поляризации радиоволны. \vec{V} — главная нормаль, \vec{I} — касательная, \vec{b} — бинормаль

За первое слагаемое в (1) отвечает эффект кручения луча (в данной работе им пренебрегают из-за его малости), за второе — эффект Фарадея, за третье — эффект Коттона-Мутона. Введя новые переменные: $\theta(\sigma) = F(\sigma) + \chi(\sigma) = F(\sigma) + \chi_{Re}(\sigma) + i\chi_{im}(\sigma)$ и преобразовав (1), получим конечную систему уравнений (2), решение которой и заложено в созданном ПО.

$$\begin{cases} F(\sigma) = \theta_0 + \int_0^\sigma \frac{\omega}{2c} v(\sigma) \sqrt{u(\sigma)} \cos(\alpha(\sigma)) d\sigma \\ \frac{d\chi_{Re}}{d\sigma} = \frac{\omega}{4c} v(\sigma) u(\sigma) \sin^2(\alpha(\sigma)) \cos(2(F(\sigma) + \chi_{Re}(\sigma) + \beta(\sigma))) \sinh(2\chi_{im}(\sigma)) \\ \frac{d\chi_{im}}{d\sigma} = -\frac{\omega}{4c} v(\sigma) u(\sigma) \sin^2(\alpha(\sigma)) \sin(2(F(\sigma) + \chi_{Re}(\sigma) + \beta(\sigma))) \cosh(2\chi_{im}(\sigma)) \end{cases} \quad (2)$$

Интеграл в (2) решается методом Симпсона, а ДУ — методом Рунге-Кутты 4-ого порядка с шагом, равным 1 км. ПО написано на C++ (GUI — на «Qt») (рис. 2).

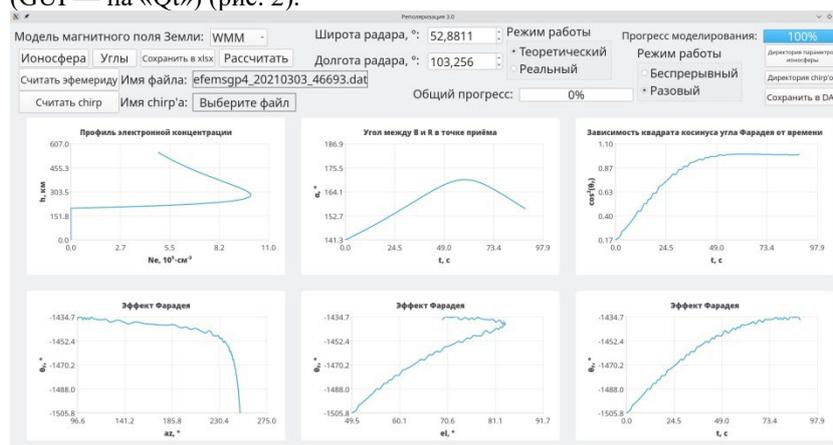


Рис. 2. Окно разработанного ПО

В ПО реализованы модели магнитосферы: дипольная, WMM, IGRF и модели ионосферы: биэкспоненциальная, Чепмена, IRI. Возможна работа в режимах моделирования расчёта реполяризации: по эфемеридам, по реально зарегистрированным объектам (также есть автоматический режим для массива файлов). Земля представляется сферой.