

Нейросетевой подход к усвоению данных о полном электронном содержании в модели ионосферы INM-IM

Хамикова Марина Александровна

Останин Павел Антонович

Актуальность

- ❶ Применение в системах связи, спутниковой навигации и радиолокации;
- ❷ Важность разработки надежной и точной системы анализа и прогнозирования состояния ионосферы;
- ❸ Недостаточная изученность механизмов изменчивости ионосферы;
- ❹ Значительный рост объема данных об ионосфере, требующий создания новых систем усвоения данных и усовершенствования старых.

Постановка задачи

Используемые приближения:

- ❶ Рассмотрение только F слоя;
- ❷ Динамическое преобладание амбиполярной диффузии;
- ❸ Предположение квазинейтральности плазмы.

Постановка задачи усвоения: динамическое уравнение модели с управлением по правой части и условия наблюдения

$$\begin{cases} \frac{\partial n}{\partial t} - \nabla(K \nabla n) - \frac{\partial}{\partial z}(u \cdot n) - \frac{\partial}{\partial y}(v \cos \varphi \cdot n) = P_0 - kn + U, \\ \int_{\Omega_k} n(z, \varphi, t) d\Omega = Tec_k(t) \end{cases}$$

Операторная постановка задачи:

$$\begin{cases} Ln = P_0 + U, \\ Cn = \varphi_{obs}. \end{cases}$$

Итерационный процесс

Обратная задача решается с помощью минимизации регуляризованного по Тихонову функционала невязки.

Итерационный процесс для решения этой задачи был построен и реализован ранее:

$$\begin{cases} Ln^m = P^m, \\ L^* q^m = C^*(Cn^m - \varphi_{obs}), \\ P^{m+1} = P^m - \tau_m(\alpha P^m + q^m). \end{cases}$$

Нейросетевой подход

Цель: уменьшение времени счёта вариационного алгоритма.

Модель: многослойный перцептрон с 4 полносвязными слоями.
Функции потерь L_1 с весами.

На вход нейросети подаются ТЕС, посчитанные на фиксированных траекториях. На выходе модель строит распределение одной искомой величины:

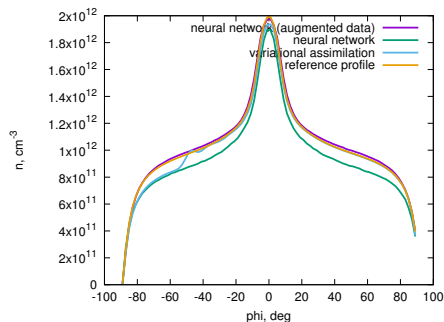
- 1 $n_{\max}(\varphi)$ — распределение $n_{\max} = \max_z n$ по широте;
- 2 $VTec(\varphi)$ — распределение вертикальных ТЕС по широте;
- 3 Вертикальный профиль $n_{\varphi_0}(z)$ на фиксированной широте φ_0 .

Постановка эксперимента

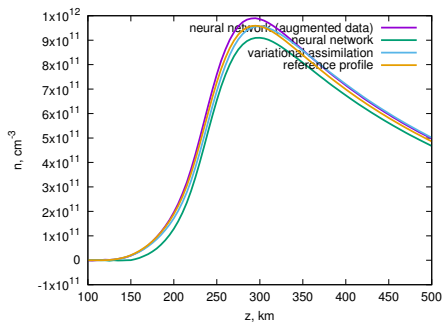
В работе проведены три этапа по разработке нейронной сети для задачи:

- 1 Эмуляция системы усвоения для 2d-модели;
- 2 Восстановление двух зависимостей $n_{\max}(\varphi)$ и $n_{\varphi_0}(z)$ в задаче с обучением на модельных данных из диффузионной версии модели;
- 3 Эксперимент с данными из полной трехмерной модели.

Сравнение вариационной и нейросетевой систем усвоения для диффузионной модели



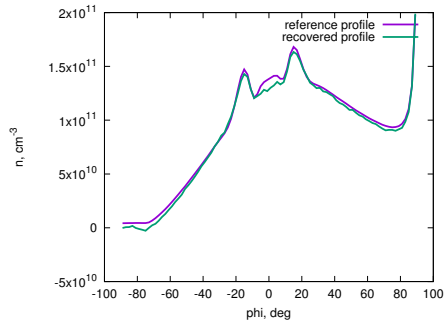
(a)



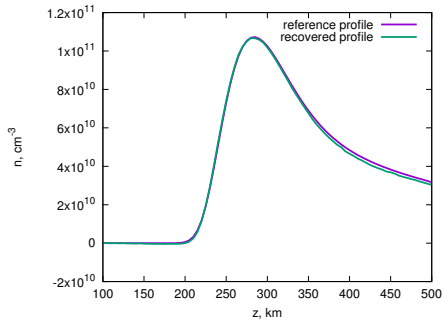
(б)

Рис. 1: Восстановленные профили величин (а) $n_{\max}(\varphi)$ и (б) $n_{55}(z)$ для случаев нейронной сети без аугментации данных (зелёная линия) и с аугментацией (фиолетовая линия), а также для случая вариационного усвоения (голубая линия). Референсные значения нанесены оранжевой линией.

Результаты восстановления для 3D модели



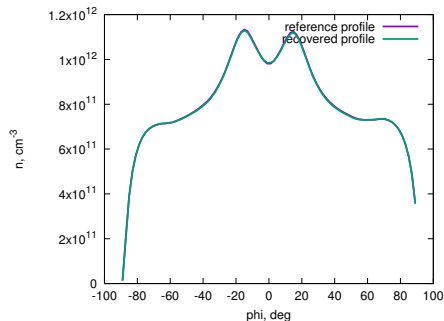
(a)



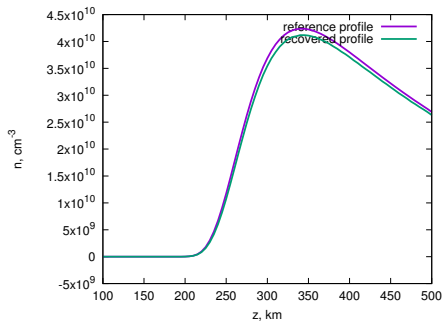
(б)

Рис. 2: Восстановленные профили величин (а) $n_{\max}(\varphi)$ и (б) $n_{55}(z)$ (зеленая линия) и референсные значения (фиолетовая линия).

Результаты восстановления для 3D модели



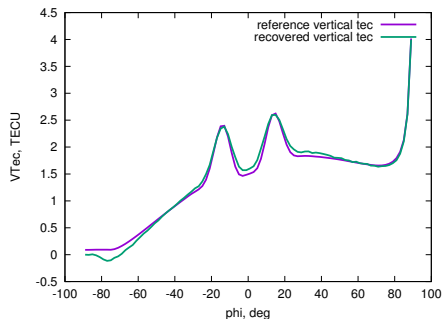
(a)



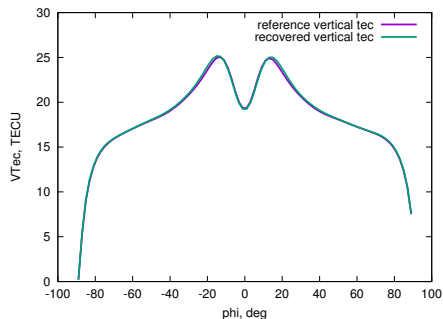
(б)

Рис. 3: Восстановленные профили величин (а) $n_{\max}(\varphi)$ и (б) $n_{55}(z)$ (зеленая линия) и референсные значения (фиолетовая линия).

Результаты восстановления для 3D модели



(a)



(б)

Рис. 4: Восстановленные профили величины $V_{\text{Tec}}(\phi)$ (зеленая линия) и референсные значения (фиолетовая линия).

Анализ результатов

Обсудим четыре основных аспекта применения нейросетового подхода:

- 1 Ускорение решения задачи;
- 2 Величина относительных ошибок;
- 3 Характер предсказанных зависимостей;
- 4 Ограничения применимости нейросетового подхода.

Заключение

- 1 Проведены численные эксперименты по обучению нейронной сети на модельных данных, полученных с помощью результатов расчета модели INM-IM;
- 2 Показано достаточно точное восстановление нейросетью характеристик поля электронной концентрации: $n_{\max}(\varphi)$, $n_{\varphi_0}(z)$ и $V_{\text{Тес}}(\varphi)$.

Спасибо за внимание!