

## **Ассимиляционная модель ионосферы (АМИ)**

АМИ представляет численную физическую модель ионосферы Земли, которая описывает глобальные трехмерные распределения концентраций ионов и электронов, температуры и скоростей на сетке свыше одного миллиона точек в слое между 80 и 30, 000 км.

Рисунок ниже иллюстрирует в качестве примера трехмерное распределение электронной концентрации в ионосфере, рассчитанное по данной модели для конкретной даты и времени дня.



### ***Физическое описание модели и ее отличие от других моделей ионосферы.***

АМИ является физической моделью ионосферы, основанной на численном решении уравнений сохранения массы, момента и энергии для концентраций семи основных ионов и электронов с учетом их нагрева и выхолаживания и химических процессов преобразований малых примесей в ионосфере. Аналогично численным моделям прогноза погоды, разработанная модель ионосферы АМИ ассимилирует (использует) текущие данные наблюдений некоторых параметров ионосферы на каждом шаге выполнения численных расчетов и поэтому относится к классу ассимиляционных прогностических моделей. Метод численного моделирования с использованием ассимиляции некоторых текущих данных наблюдений дает возможность получить в квази-реальном времени с существенно большей точностью глобальные распределения параметров ионосферы и дать прогноз изменений этих параметров.

Как следует из изложенного выше модель АМИ, в отличие от международной стандартной модели ионосферы IRI (International Reference Ionosphere), не является эмпирической моделью. Модель IRI является справочной и построена путем параметризации многолетних

эмпирических данных наблюдений распределений электронной концентрации.

### ***Преимущества модели АМИ.***

Как известно, вариации распределений электронных концентраций в ионосфере могут вызвать погрешности в работе систем связи спутник – Земля, по крайней мере вследствие двух эффектов.

Первый связан с тем, что изменение концентрации электронов вдоль трассы зондирования между передатчиком на спутнике и приемником сигнала на наземной станции вызывает изменение в задержке времени прохождения радиосигналов. Поскольку системы GPS или ГЛОНАСС основаны на использовании точных измерений времен прохождения сигналов от различных спутников, вариации электронной плотности в ионосфере могут вызвать ошибки в определении координат изучаемого объекта, достигающие несколько десятков метров.

Второй эффект состоит в том, что быстрые вариации в плотности электронов, известные как осцилляции, приводят к искажению радиосигналов и к их затуханию в широком спектре частот, охватывающем практически весь используемый радиодиапазон. Этот механизм может существенно ограничивать работоспособность спутниковых систем радиосвязи, в том числе систем GPS или ГЛОНАСС.

Использование модели АМИ в оперативном режиме даст возможность уменьшить влияние обоих эффектов и улучшить характеристики и работоспособность космических систем связи.

А именно:

1. Уменьшить погрешность определения координат объектов системами GPS или ГЛОНАСС за счет получения в реальном времени трехмерных распределений концентраций электронов и использования этих данных для более точных расчетов времени задержек радиосигналов.
2. Повысить надежность работы систем связи за счет использования численных прогнозов появления осцилляций как функции географического положения и времени.

### ***Основные параметры модели АМИ***

#### Тип модели:

- Глобальная 3-D модель ионосферы

#### Масштаб сетки модели

- В настоящее время ~ 1,000,000 глобально распределенных ячеек, число которых легко может быть увеличено при использовании более мощных компьютеров.

#### Диапазон моделирования параметров:

- От 80 км до 30,000 км по высоте
- 85N – 85S по широтам северного и южного полушарий

#### Используемые входные данные ( в настоящее время) :

- Индекс солнечной активности в реальном времени от NOAA США ( NOAA Space Environment Center )
- Данные измерений системы GPS от сети IGS усваиваемые через каждые 10 минут.

#### Выходные параметры модели:

- Квази-реальные по времени 3-х мерные распределения плотности электронов и 7 основных ионов, температуры и скорости
- Величины задержек времени распространения сигналов GPS между выбранной точкой внутри на сетке модели и всеми видимыми спутниками системы GPS.
- 2-х мерные карты вероятности появления осцилляций и вероятностей появления искажений сигналов по трассам «земля - спутник», «спутник – земля».

#### Точность/Погрешность( среднеквадратичное отклонение):

- Глобальная средняя точность 2-3 TEC единиц, эквивалентная 30-45 см задержки в ионосфере.

#### Перспективы развития модели АМИ:

- Ассимиляция данных в реальном времени (1задержка 1-2 секунды) от сети NTRIP.
- Прогноз состояния ионосферы, основанный на учете прогнозов индекса солнечной активности.

#### *Типы операционной работы модели*

1. Расчет текущих параметров ионосферы для конкретного местоположения и времени дня для нескольких уровней солнечной активности.
2. Анализ баз данных параметров ионосферы и архивов данных GPS в прошлые периоды наблюдений. Основная цель анализа – корректировка данных GPS с учетом данных о состоянии ионосферы. Возможен также анализ архивных баз данных для конкретных дат и местоположения в прошлые периоды с целью анализа связей эффектов возмущений в ионосфере с другими факторами и природными явлениями.
3. Мониторинг параметров ионосферы в реальном времени для текущих условий окружающей среды.
4. Прогнозы параметров ионосферы на ближайшие периоды времени до 3 часов.