

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Филиппова Михаила Юрьевича *«Амплитудный фактор ионограммы вертикального радиозондирования цифрового ионозонда»*, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Проблема оперативного прогнозирования состояния ионосферы и условий работы коротковолновых радиосистем различного назначения никогда не теряла своей актуальности и важности в любых условиях состояния общества. Особенно важно располагать насколько возможно точными прогнозами ионосферных характеристик в периоды международной напряженности, когда другие виды связи часто проявляют свою слабую защищенность перед нежелательным вмешательством. Поэтому тема диссертации, посвященная части большого вопроса прогнозирования, была и будет важной и актуальной.

Диссертация состоит из пяти глав, Введения, Заключения и Приложения. **Во Введении** автор излагает цель работы, заключающейся в исследовании ионосферного поглощения на основе регулярных измерений ионозонда вертикального радиозондирования в среднеширотном регионе. Подробно останавливается на существующем состоянии в этой проблеме, анализирует методы изучения поглощения, их положительные стороны и недостатки. Автор отмечает, что регулярные измерения поглощения сейчас практически не ведутся по ряду причин, но есть принципиальная возможность восстановить измерения на новой основе, не требующей такой затраты времени, как ранее. Дается определение термину «Амплитудный фактор» как среднее значение на частотной шкале. Разработке нового метода и посвящена представленная работа.

**В первой главе** рассматриваются необходимые для дальнейшего вопросы теории ионосферного поглощения радиоволн. Обсуждается метод A1, как наиболее распространенный и удобный, но отмечен также и основной недостаток, это длительное время получения среднего значения (до трех часов), что резко снижает оперативность метода. Обсуждаются вопросы расчета ионосферного поглощения и частотная зависимость поглощения.

В вопросе об уточнении профиля D-области автор акцентировал внимание на разнообразии методов учета начальной ионизации, не видимой ионозондом. В основном, это методы с долей неопределенности. И, как вывод из приведенного материала, следует, что ситуацию с измерением можно существенно улучшить путем дополнения амплитудного метода A1 методом частотного усреднения.

**Во второй главе** обсуждаются вопросы выбора аппаратуры, подходящей к решению поставленной задачи. Формулируются требования к аппаратуре, и в первую очередь проанализирована возможность использования

распространенного ионозонда «Парус-А», работающего в составе государственной наблюдательной сети Росгидромета.

Особо следует отметить, что автор проанализировал частотную корреляцию уровней сигнала на ионограмме, и оценил целесообразную величину частотного шага измерений. Этот анализ показал пригодность выбранного ионозонда для нового способа оценки поглощения по данным одной ионограммы.

**Третья глава** посвящена анализу вариаций поглощения, которое характеризуется как детерминированными, так и случайными компонентами. Случайные изменения типа непрерывных замираний, в частности, определяют продолжительность измерений и частотный диапазон, необходимые для получения достаточной точности оценки среднего значения. Обсуждается также характер внезапных ионосферных возмущений и связь между величинами поглощения и минимальной частотой  $f_{\min}$ .

Далее в главе обсуждаются такие вопросы, как Зимняя аномалия поглощения и ее асимметричный сезонный ход, внезапное стратосферное потепление, также вызывающее увеличение поглощения в D-области на несколько дней, и асимметрия суточного хода поглощения. От измерительного комплекса требуется, чтобы он позволял в максимальной степени точно реагировать на все указанные виды вариаций поглощения. Автор показывает, что возможности сетевого ионозонда позволяют решить эти задачи.

Далее формулируются 5 критериев работоспособности метода, одним из которых является требование равенства средних значений по частоте средним значениям по времени в предположении эргодичности процесса. На мой взгляд, это является ключевым условием получения достаточной точности метода.

**Четвертая глава** посвящена непосредственно самому методу расчета поглощения по данным ионозонда «Парус-А». Анализируется Амплитудный фактор, и, в частности, усреднение по частоте и по времени. Вначале формулируются четыре допущения, при которых производится этот анализ. Обсуждаются особенности процессов усреднения с учетом возможных законов распределения амплитуд принимаемых сигналов. Отмечается роль «постоянной аппаратуры» и оценка ее численной величины. Подробно рассматривается алгоритм расчета амплитудного фактора. Приводятся примеры обработки ионограмм. Приведен также алгоритм перевода величины поглощения на измеренной частоте к частоте 2,5 МГц.

Большое внимание уделено точности расчетов и точности всего метода. Показано, что ошибка единичного измерения при отражении от слоя **E** не превышает 2,1 дБ. На основе предложенных метода и алгоритма приведены примеры расчета ВЧХ и профилей электронной концентрации по данным одной ионограммы.

**В пятой главе** приводится и обсуждается обработка результатов многолетних измерений по методу амплитудного фактора. Эта глава является

наиболее насыщенной, так как в ней подводятся итоги тестирования нового метода на 5-летнем объеме измерений, и проверяется правильность фиксации и отображения всех существенных видов вариаций поглощения. Проверка показала качественное и количественное совпадение, в частности, с моделью IRI-2012. Приведено большое количество рисунков, иллюстрирующих результаты работы нового метода.

В диссертации многие вопросы являются новыми, поставлены и решены лично автором.

Вместе с тем, по работе могут быть сделаны и некоторые замечания.

1. Автором в п.4 перечня допущений в разделе 4.1 говорится о линейной зависимости поглощения (в дБ) от частоты, однако из формул и рис.2 гл.1 видно, что это можно принять лишь с некоторой натяжкой. Это говорит о дальнейших возможностях улучшения метода.

2. Использование аппаратных параметров, относящихся к процессу излучения и приема (рис. 6 гл.2 и рис. 20 гл.5) в различных местах размещения ионозондов может приводить к различным результатам калибровок, так как этот процесс не свободен от погрешностей. Кроме тепловых потерь в почве, в ряде мест существует сильное рассеяние от рельефных неровностей. В работе этот вопрос освещен недостаточно полно, что также может стать предметом дальнейших исследований.

3. Имеются некоторые редакционные погрешности – например, на рис. 18 гл.5 нет обозначений составляющих рисунков  $a - z$ . Однако замеченные недостатки не являются существенными.


В целом работа производит хорошее впечатление, задача определена вполне конкретно, проведено широкое рассмотрение комплекса вопросов воспроизводства непрерывного измерения поглощения в нижней ионосфере, предложен новый более современный метод взамен А1, произведено широкое тестирование, показавшее хорошие результаты. Особую значимость полученные результаты приобретают благодаря привлечению большого объема экспериментальных данных. Исследование проведено на высоком научном уровне с использованием современной вычислительной техники.

Учитывая все изложенное выше, можно считать, что автором решена задача разработки нового метода оценки поглощения – «Амплитудного фактора», который может стать более совершенной заменой метода А1.

Работа удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Официальный оппонент, научный консультант ФГУП НИИР,

 д.т.н. Чернов Ю. А.

Подпись руки Чернова Ю.А. удостоверяю, Ученый секретарь ФГУП НИИР

к.т.н. Ступницкий М.М.



