

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ясюкевича Юрия Владимировича «Развитие диагностических возможностей приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга состояния ионосферы и коррекции ионосферной ошибки в радиотехнических системах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. «Радиофизика»

Лучше названия диссертации не скажешь, чему посвящена работа Ю.В. Ясюкевича, а именно, развитию диагностических возможностей GPS приемников для мониторинга состояния ионосферы и коррекции ионосферной ошибки в радиотехнических системах. Важность, актуальность этой работы заключается, если не в резком, то в существенном увеличении требований к мониторингу и моделированию влияния космической погоды на состояние ионосферы. Почти столетие основным измерительным прибором был ионозонд, а измеряемым параметром критическая частота. Но с появлением спутников, спутниковых технологий не только возросли требования, но и открылись новые возможности, в частности, роль основного параметра стало играть полное электронное содержание ПЭС, измеряемое GPS приемниками. Но, если посмотреть на глобальное распределение систем приемников (рисунок 1.3, страница 49 диссертации), то можно увидеть две GPS пустыни: Россию и Африку, поэтому роль результатов диссертации Ю.В. Ясюкевича трудно переоценить.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, и списка литературы.

В главе 1, носящей в основном обзорный характер, излагаются проблемы, которые необходимо решать, и даются алгоритмы определения простого ПЭС для двухчастотного и одночастотного приемников. Делается вывод о принципиальной невозможности получения абсолютных значений ПЭС по исходным данным ГНСС из-за невозможности точной оценки дифференциальных кодовых задержек ДКЗ. Дан обзор методов определения ДКЗ, но они не спасают от получения отрицательных ПЭС.

В главе 2, которая считается автором основной, приводятся детали алгоритмов оценки абсолютного ПЭС. Важными являются результаты с использованием метода наименьших квадратов с ограничениями. Существенно, что разработанный метод использовался другими пользователями для определения ТЕС в достаточно проблемных зонах (экваториальной и субавроральной) в спокойных и возмущенных условиях. Что касается методов машинного обучения, то в настоящее время их число растет в геометрической прогрессии и точности уже достигают меньших величин, однако

использование производных нужно считать преимуществом и всячески рекомендовать. Важными являются выводы о проблемах используемых в литературе технологий Seemala и Madrigal, поскольку программа Seemala используется очень широко, а карты Madrigal, по-видимому, имеют точность, меньшую, чем IGS.

В главе 3 представлена реально функционирующая система дистанционного мониторинга параметра ПЭС, лежащая в основе сибирской сети SibNet ИСЗФ СО РАН. Новым свойством является использование абсолютных ПЭС и производных по времени и координатам. Решен ряд технологических проблем.

Глава 4 посвящена наиболее важным практическим приложениям абсолютных ПЭС на примерах. Прежде всего, это касается оперативного мониторинга радиоканала, задач ассимиляции данных измерений в модели ионосферы. Для трех ключевых схем коррекции с использованием ПЭС представлены алгоритмы, обсуждены достоинства и недостатки схем, пути модификации. Особое значение разработанный метод имеет для восстановления МПЧ на трассах. Результаты продемонстрированы на трех трассах различной длины. Коррекция радиоастрономических наблюдений восходит к работам, с которых начиналась советская и российская школа.

В главе 5 рассматривается вопрос устойчивости работы ГНСС. Важность этой главы связана с тем, что подобные вопросы сложны и рассматриваются в литературе не так часто, в то время, как каждому пользователю важно иметь представление о надежности данных. Подтверждена связь между резким изменением возмущенности магнитного поля и увеличением вероятности сбоев ПЭС. Анализ глобального распределения срывов сопровождения фазы для 20 ноября 2003 имеет особое значение, так как показывает, по-видимому, предельные оценки. Зафиксирован факт повышения порога устойчивости измерения фазы за последние 10 лет. С помощью креативных подходов к анализу мощности принимаемого сигнала и оценке плотности срывов сопровождения фазы сигналов спутников разных поколений сделан вывод об улучшении стабильности обновленных спутников.

В Заключение приводятся основные результаты, полученные при работе над диссертацией.

Эти результаты сформулированы соискателем в виде положений, выносимых на защиту, которые являются новыми, обоснованными и достоверными.

Среди них можно выделить следующие.

1. Разработанный метод оценки абсолютных ПЭС на основе данных одного приемника ГНСС обеспечивает неотрицательные значения ПЭС.



2. Особую ценность точная оценка ПЭС имеет в периоды возмущений, когда ни одна модель не может обеспечить достаточную близость значений  $f_oF_2$ , полученных с использованием ПЭС, а, следовательно, МПЧ, к реальным значениям.

3. Использование методов машинного обучения для оперативного прогноза регионального абсолютного ПЭС проведено с учетом индексов солнечной (F10.7) и геомагнитной (AE, SYM) и показано, что наилучшим оказался метод градиентного бустинга.

4. Система дистанционного мониторинга ионосферного абсолютного полного электронного содержания с применением приемников ГНСС сети SibNet ИСЗФ СО РАН обладает возможностью работы с данными различных спутников GPS/ГЛОНАСС/Galileo.

5. Детальное исследование, проведенное с помощью специальных подходов, стабильности работы современных ГНСС показало их возросшие возможности в различных гелиогеофизических условиях.

Некоторые замечания и вопросы сводятся к следующему.

1. Страница 11: не совсем удачно введен термин «относительное наклонное ПЭС». Относительно чего?

2. Страница 12: фраза, включающая новизну, не полна, поскольку в такой формулировке к ней относится только п. 1. На самом деле, речь идет о новых методах определения, прогноза и использования абсолютного ионосферного ПЭС.

3. Страница 85: чем используемые предположения отличаются от предположений в других работах?

4. Страница 88: почему формула (2.9) для статистических весов включает функцию преобразования вертикального ПЭС в наклонное?

5. Как указано на страницах 91 и 95, большинство результатов получено на основе классического МНК. С чем это связано: с небольшим числом случаев, требующих перехода к МНК с ограничениями, большим временем счета или другими причинами?

6. Несколько замечаний к главе 4: на рисунке 4.5 (страница 175) логичнее было бы дать распределение  $NmF_2$  для исходной модели IRI (без коррекции) и для модели с индексом IGF2, соответствующим экспериментальному ПЭС, как это сделано на рисунке 4.6. В разделе 4.3 картина была бы идеальной, если бы на рисунке 4.7 (страница 182) были даны значения  $R^2$ . Небольшое замечание к разделу 4.4 сводится к отсутствию длин используемых трасс (страница 185).

7. Замечание по поводу рисунков, которые мелковаты, тем более, что они располагаются на отдельных страницах.

Эти замечания и вопросы не являются принципиальными и не влияют на положительную оценку результатов диссертации, которые имеют большое научное и прикладное значение.

Можно порекомендовать диссертацию к публикации в виде монографии и в этом плане необходимо учесть некоторые недочеты, которые имели место в отдельных главах.

1. Обозначения цветов на рисунках 1.8 и 1.9 противоположны описанию на странице 69.
2. В пунктах 7-8 особенностей ГНСС (страница 160) можно было указать на проблему определения  $hmF2$ , так как этот параметр при оценках МПЧ также важен, как и  $NmF2$ .
3. На рисунках 5.10 (страница 219) и 5.11 (страница 225), относящихся к магнитной буре 22 июня 2015, по-видимому, по ошибке указаны периоды 22-23 июля.
4. В списке литературы, который является хорошим справочником: а) отсутствуют некоторые публикации (Edemskiy et al., 2018; Epishov et al., 2000 на странице 8, Tsunoda et al., 2016 на странице 34, Kedar et al. 2003 на странице 52), б) не совсем точно указаны фамилии некоторых авторов в тексте (Kelley на странице 29, McCready на странице 40), в) в английской части иногда нарушается алфавитный порядок (ссылка 96 должна стоять перед 95, 119-121 перед 112, 144-145 перед 143, 154 перед 152, 217 перед 216, 223-226 перед 222, 254 перед 253, 269 перед 268, 289-291 перед 288).

Все результаты в полной мере опубликованы в научной печати в соответствии с требованиями "Положения о порядке присуждения ученых степеней". Статьи соискателя очень хорошо известны и цитируются во многих обзорных статьях и статьях, представляющих конкретные результаты.

Научное значение полученных результатов подтверждается использованием метода автора другими учеными. Огромное прикладное значение результатов Ю.В. Ясюкевича вытекает из большого числа грантов, руководителем или исполнителем которых являлся соискатель. Большое число выступлений на конференциях различного уровня свидетельствует о всероссийском и международном признании результатов.

Сибирская система приемников SibNet ИСЗФ СО РАН является примером для создания таких систем в России, чтобы продвигаться в мониторинге ионосферы по всей стране.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Юрия Владимировича Ясюкевича является законченным научным исследованием и удовлетворяет требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" (п. 9-14), предъявляемых ВАК РФ к докторским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. «Радиофизика».

Официальный оппонент:  
Ведущий научный сотрудник,  
доктор физико-математических наук



Научно-исследовательского института физики ФГАОУ ВО Южного федерального университета, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42,  
Тел. +79185772533, Эл. Почта oamaltseva@sfnu.ru  
Диссертация защищена по специальности: 04.00.22 – Геофизика.

Подпись Мальцевой Ольги Алексеевны заверяю:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Личную подпись Мальцева О.А.

ЗАВЕРЯЮ:

Специалист по работе с персоналом  
I категории Иванов И.И.  
« 20 » / 04 20 23 г.