

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.074.04 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «26» декабря 2019 г. №7

О присуждении Омпокову Вячеславу Дамдиновичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Частотно-временной анализ пульсовых сигналов с помощью преобразования Гильберта-Хуанга» в виде рукописи по специальности 01.04.03 – радиоп физика принята к защите 18 октября 2019, протокол №4, диссертационным советом Д 212.074.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, д. 20, приказ Рособнадзора о создании диссертационного совета № 1634–894 от 13.07.2007г.).

Соискатель Омпоков Вячеслав Дамдинович 1982 года рождения. В 2004 году окончил Восточно-Сибирский государственный технологический университет по специальности «Прикладная математика и информатика». В 2007 году окончил обучение в очной аспирантуре Отдела физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра СО РАН (ныне ФГБУН Институт физического материаловедения СО РАН) по специальности 01.04.03 – радиоп физика. Сдал кандидатские экзамены по этой специальности. Работает научным сотрудником лаборатории волновой диагностики живых систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт физического материаловедения СО РАН (670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6).

Научный руководитель – доктор технических наук (01.04.03 – радиофизика, 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения), профессор **Бороноев Виталий Васильевич**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения СО РАН, лаборатория волновой диагностики живых систем, заведующий.

Официальные оппоненты:

1. Банах Виктор Арсентьевич, доктор физико-математических наук (01.04.03 – радиофизика), с.н.с., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева» Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник (634021, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1),

2. Бардаков Владимир Михайлович, доктор физико-математических наук (01.03.03 – физика Солнца), профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет путей сообщения", профессор (664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126-а, а/я 291), в своем положительном заключении, подготовленном ведущим научным сотрудником отдела физики околоземного космического пространства, кандидатом физико-математических наук (01.04.03 – радиофизика), доцентом Ильиным Николаем Викторовичем и утвержденном директором ИСЗФ СО РАН, член-корреспондентом РАН Медведевым Андреем Всеволодовичем, указала, что диссертация Омпокова Вячеслава Дамдиновича “Частотно-временной анализ пульсовых сигналов с

помощью преобразования Гильберта-Хуанга” является законченной работой, выполнена на высоконаучном уровне и отвечает требованиям ВАК, автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, а соискатель заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика.

Материалы диссертации достаточно полно опубликованы в научной печати. Они изложены в 16 печатных работах, в том числе 4 из них – в рецензируемых научных изданиях, включенных в международные базы систем цитирования «Scopus» и/или «Web of Science», восемь – в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а также в сборниках трудов Российских и международных конференций.

В работах представлены результаты по развитию радиофизических методов анализа колебаний и волн различной физической природы, изучению частотно-временной структуры биомедицинских сигналов на примере пульсовых сигналов человека и анализу влияния шумов на точность получаемых результатов.

В диссертации не обнаружены недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, авторском вкладе и объеме научных изданий.

Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Омпоков В. Д. Частотно-временной анализ пульсовых сигналов на основе преобразования Гильберта-Хуанга / В. Д. Омпоков, В. В. Бороноев // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. - 2019. - № 8.

2. Бороноев В.В. Особенности дифференциально-интегральных преобразований пульсовых сигналов / В.В. Бороноев, Б.З. Гармаев, В.Д. Омпоков // Успехи современной радиоэлектроники. - 2018. - № 7. - С. 29-41.

3. Омпоков В.Д. Исследование частотно-временных характеристик пульсовых сигналов с помощью преобразования Гильберта-Хуанга / В.Д.

Омпоков, В.В. Бороноев // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. - 2017. - № 5.

4. Омпоков В.Д. Комплементарная множественная декомпозиция на эмпирические моды с адаптивным шумом CEEMDAN как метод решения основных проблем применения преобразования Гильберта-Хуанга / В.Д. Омпоков, В.В. Бороноев // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. - 2016. - № 9.

5. Бороноев В.В. Дифференциально-интегральные преобразования модельных сигналов / В.В. Бороноев, Б.З. Гармаев, В.Д. Омпоков // Радиотехника. - 2015. - № 3. - С. 122-127.

6. Бороноев В.В. Эмпирическая модовая декомпозиция импульсных сигналов / В.В. Бороноев, В.Д. Омпоков, В.А. Козин // Вестник ВСГУТУ. - 2015. - № 1. - С. 40-43.

7. Бороноев В.В. Возможности преобразования Гильберта-Хуанга в задаче обработки и анализа биомедицинских сигналов / В.В. Бороноев, В.Д. Омпоков // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2014. - № 3. - С. 40-44.

8. Бороноев В.В. Оценка функции когерентности импульсных сигналов при многоканальной пульсометрии / В.В. Бороноев, В.Д. Омпоков, Б.З. Гармаев // Вестник Бурятского государственного университета. - 2012. - № 3. - С. 219-221.

9. Ompokov V. D. Mode Decomposition and the Hilbert-Huang Transform / V. D. Ompokov, V. V. Boronoev // 2019 Russian Open Conference on Radio Wave Propagation: Conference Paper. Kazan Federal University. IEEE. – 2019. - Vol. 1. DOI: 10.1109/RWP.2019.8810217.

10. Garmaev B.Z. Classification of pulse waves based on cluster analysis of time parameters / B.Z. Garmaev, V.V. Boronoev, I.V. Naguslaeva, V.D. Ompokov // Journal of Physics: Conference Series. Omsk. – 2018. – Vol. 1210. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012048.

11. Boronoev V. V. The estimation of optical radiation influence on human pulse waves / V. V. Boronoev, V. D. Ompokov, N. V. Pupysheva, B. Z. Garmaev // 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proceedings of SPIE. – 2018. - Vol. 10833. DOI: 10.1117/12.2501927.

12. Boronoev V.V. The Hilbert-Huang transform for biomedical signals processing / V.V. Boronoev, V.D. Ompokov // 2014 International Conference on Computer Technologies in Physical and Engineering Applications (ICCTPEA). Saint Petersburg State University. IEEE. - 2014. - p. 21-22.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Официальный оппонент **Банах Виктор Арсентьевич**, доктор физико-математических наук (01.04.03 – радиофизика), главный научный сотрудник лаборатории распространения волн Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева» Сибирского отделения Российской академии наук. Замечания:

1. В чём причина, что модифицированный метод преобразования Гильберта-Хуанга позволяет не только существенно уменьшить погрешность модовой декомпозиции по сравнению с методами классической и множественной декомпозиции, но и добиться практически независимости этой погрешности от уровня шума? Является ли это следствием того, что используется модель белого шума, или погрешность ведёт себя также при небелом шуме? Почему при анализе не используется параметр «отношение сигнал/шум», как это принято при анализе сигналов? Иными словами, насколько широк класс сигналов и шумов, при анализе которых применение модифицированного преобразования является более эффективным, чем использование других методов?

2. При анализе экспериментальных пульсовых данных в третьей главе не приводятся сведения о месте, дате и продолжительности проведения экспериментов.

3. Формулировки защищаемых положений приведены лишь во введении и оторваны от основного текста. Более логичным было бы «подвести» к ним в основном тексте, сформулировав как следствия полученных результатов и доказательств.

4. Диссертация написана хорошим понятным языком, с чётким и ясным изложением всех аспектов проведённых исследований. В оформлении есть погрешности. Так, например, в первой главе два подраздела обозначены под одним номером 1.3.2. Имеется путаница в нумерации рисунков, используется

трёхзначная и четырёхзначная нумерация, например, 1.3.1-1.3.3 и 1.3.2.1-1.3.2.3. Два разных рисунка имеют один и тот же номер 1.3.2.1. Во второй главе нумерация рисунков начинается с номера 2.1.2. Допущена описка в обозначениях в одной из формул на стр. 42 диссертации. В автореферате неправильно указано число иллюстраций в диссертации. Список может быть продолжен.

Официальный оппонент **Бардаков Владимир Михайлович**, доктор физико-математических наук (01.03.03 – физика Солнца), профессор кафедры “Автоматика, телемеханика и связь” Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Иркутский государственный университет путей сообщения". Замечания:

1. Невозможно было не обратить внимание на странную хаотичность номеров появляющихся в тексте главы ссылок. При ближайшем рассмотрении оказалось, что список цитируемой литературы сформирован абсолютно независимо от возникающих ссылок в тексте, причем из 132 номеров списка литературы 55 номеров в тексте диссертации вообще не упоминаются. Это, во-первых, а, во-вторых, оказалось, что из 16 опубликованных работ, как основных работ по теме диссертации и, ссылки на которые приведены в автореферате, в списке литературы значатся только 10 работ. И, в-третьих, в последующих двух главах, где приводится уже материал исследований диссертанта, нет фиксации того, в каких опубликованных работах этот материал изложен.

2. Во второй главе диссертации подробно рассматривается алгоритм преобразования Гильберта - Хуанга. Сначала демонстрируется процедура эмпирической модовой декомпозиции модельных сигналов, а затем приведена полностью процедура преобразования Гильберта-Хуанга для модельных сигналов без шума и с шумом. Проведена демонстрация эффекта «смешивания мод» на модельных сигналах с высоким уровнем шума. Далее показано, что борьба с этим нежелательным эффектом с помощью метода множественной эмпирической модовой декомпозиции в свою очередь приводит к другому нежелательному эффекту «интерференции мод». Отмечу, что все эти демонстрации занимают больше трети текста диссертации, и совершенно

непонятно - приведено это только в диссертации или опубликовано в каких-то работах. Это непонимание является также отдельным замечанием к диссертации.

3. В конце второй главы предложен новый модифицированный метод с использованием Фурье преобразования и эмпирической модовой декомпозиции для минимизации эффектов «смешивания мод» и «интерференции мод». При ознакомлении с этим методом появился следующий вопрос. На Рис 2.6.2 видно, что сигнал, возникающий в результате обратного преобразования Фурье по первой полосе частот, в которой содержится только один пик модуля спектральной плотности записанной реализации сигнала, и основная модовая функция, найденная из этого сигнала с помощью эмпирической модовой декомпозиции, не сильно отличаются. Тогда, возможно, преобразование Гильберта надо применить сразу к сигналу, возникшему из обратного преобразования Фурье. Таковую возможность следовало бы оценить. Были ли такие проверки, которые должны были выявить то, насколько существенны отличия в частотно-временных и амплитудно-временных распределениях, получаемых для сигнала из обратного преобразования Фурье и для основной модовой функции? Если отличие минимально, то этап с эмпирической модовой декомпозицией и не нужен.

4. Очень важным обстоятельством в пользу применения модифицированного преобразования Гильберта-Хуанга с использованием Фурье-спектра было бы обнаружение на этом эксперименте четкого диагностического признака заболевания, основанного именно на особенностях частотно-временного распределения пульсового сигнала. На Рис. 3.1.4д представлен случай резкого уменьшения частоты первой моды в определенные моменты времени у пациента с нарушением сердечного ритма, но насколько это является общей закономерностью для того, чтобы быть диагностическим признаком, пока не ясно. Возможно, дальнейшие экспериментальные исследования позволят обнаружить эти диагностические признаки. Пока же, различия по трем группам обследуемых пациентов связаны с различием по средним частотам и девиациям частот квазигармонических составляющих. Но

средние частоты и девиации частот квазигармонических составляющих сигнала (мод) можно просто оценить из амплитудного спектра одной записи пульсового сигнала, выбирая разумную длительность этой записи. При этом нет необходимости применять метод Гильберта-Хуанга для получения частотно-временного распределения. И это обстоятельство также можно считать замечанием по диссертации, так как четкого результата в виде рекомендации медицине, основанной именно на, применении метода Гильберта-Хуанга, пока нет.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук. Замечания:

1. Наряду с некоторыми стилистическими замечаниями, следует отметить, что когда речь идет об экспериментальных данных, нигде не фигурируют характеристики прибора, с помощью которого эти данные получены. Аппаратная функция прибора, или что то же самое, его передаточная функция, влияет на форму регистрируемого сигнала. Как это влияет на частотно — временные спектры, получаемые в работе, неизвестно.

2. К стилистическим замечаниям можно отнести следующие: на стр. 6 преобразование Фурье называется методом исследования. Метод Фурье, конечно, существует, но в контексте следовало бы написать метод математического анализа. На стр. 16 написано: «следующие друг за другом синусоиды», под которым подразумевается - «отрезки синусоид». На 42 стр. в формуле для квадратурных компонент сигнала вместо $\varphi(t)$ написано ωt . На 62 стр. написано: «с ростом номера гармоники растет ее ширина», правильнее - «растет ширина пика, соответствующего моде».

Отзывы на автореферат:

1) **Ширапов Дашадондок Шагдарович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры “Электронно-вычислительные системы” Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (г. Улан-Удэ). Замечание: Следует отметить

некоторые недочеты изложения, например, в автореферате недостаточно полно отражена аппаратная часть. В частности, не указаны характеристики аналогового канала.

2) **Носов Виктор Викторович**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН (г. Томск). Замечаний нет.

3) **Аммосова Анастасия Михайловна**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории оптики атмосферы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН» Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН (г. Якутск). Замечание: В качестве пожелания, не снижающей положительной оценки работы, отмечу, что по автореферату сложно оценить эффективность использования преобразования Гильберта-Хуанга в задаче изучения закономерностей многолетних вариаций солнечной активности. Научный интерес могли бы представить исследования поведения биоритмов человека на фоне влияния солнечной активности и геомагнитных бурь на биосферу Земли.

4) **Бурнашов Алексей Владимирович**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории лидарных методов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН (г. Томск). Замечание: В качестве замечаний хотелось бы отметить следующее:

1. В параграфе «практическая значимость» соискатель говорит о «разработанном алгоритме». Далее уже речь идет о «разработанных алгоритмах». Так разработан алгоритм или алгоритмы?

2. В диссертации анализируются биомедицинские сигналы. Возможно ли применение для анализа сигналов других видов?

3. В параграфе «закключение» приведены основные научные результаты. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук предполагает численные данные, чего нет. Так, например, в пункте 2

сказано, что проведена оценка погрешности декомпозиции модельных сигналов. Следовало бы указать, на сколько лучше справляется предложенный в диссертации метод по сравнению с другими методами.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются известными и авторитетными учеными в области радиофизики, имеют большое количество публикаций по цифровой обработке сигналов, способны определить научную и практическую значимость диссертационной работы, а Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук является одной из ведущих научных организаций по: исследованиям современных проблем астрономии, астрофизики и космического пространства, включая ионосферное распространение радиоволн и радиофизические методы дистанционного зондирования; разработке новых методов и аппаратуры для диагностики и мониторинга окружающей среды (магнитосферы, ионосферы, атмосферы, литосферы) и активного воздействия на нее.

Официальный оппонент доктор физико-математических наук, с.н.с. В.А. Банах является известным российским ученым, работающим в области распространения оптического излучения в атмосфере, разработке лазерных методов измерения атмосферных параметров, изучении атмосферной турбулентности, имеющим большое количество публикаций в рейтинговых отечественных и зарубежных изданиях. Официальный оппонент доктор физико-математических наук, профессор В.М. Бардаков, основные научные интересы которого связаны с плазменными процессами в природных и технических объектах, имеет большое количество публикаций в рейтинговых отечественных и зарубежных журналах по генерации и распространению электромагнитных волн в плазменных средах.

Составитель отзыва ведущей организации кандидат физико-математических наук, доцент Н.В. Ильин является известным российским ученым, специализирующимся в области радиофизических исследований распространения радиоволн, дистанционного зондирования и обработки

сигналов, имеющим большое количество публикаций в рейтинговых изданиях. Институт солнечно-земной физики СО РАН является старейшим в Сибири центром радиофизических исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: впервые **предложен** и обоснован метод частотно-временного анализа сигналов на основе эмпирической модовой декомпозиции и преобразования Гильберта для изучения структуры пульсовых сигналов, позволяющий провести детальное изучение динамики изменения спектральных компонент во времени; при проведении модельных расчетов **выявлено**, что наличие шума в сигнале приводит к снижению точности выделения модовых функций из-за эффекта “смешивания мод” и явления “интерференции” частот; **разработан** модифицированный метод разложения сигналов на основе преобразования Фурье и эмпирической модовой декомпозиции, снижающий среднеквадратичную погрешность определения амплитуд компонент квазипериодических сигналов в несколько раз; **показана** дополнительная возможность проведения классификации пульсовых сигналов на группы по количественным характеристикам спектральных компонент, полученных с помощью модифицированного преобразования Гильберта-Хуанга.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: развитие существующих методов и подходов существенно **расширяет и дополняет** возможности радиофизических методов обработки и анализа нестационарных сигналов, в том числе биомедицинских, имеющих квазипериодический характер; **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс современных методов цифровой обработки сигналов, включающий статистический анализ, спектральный анализ, преобразование Гильберта-Хуанга; **изучены** закономерности изменения количественных показателей вариации модовых компонент пульсовых сигналов во времени, которые можно использовать для их классификации по группам.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: **разработан** модифицированный метод анализа частотно-временной структуры сигналов, позволяющий детально

изучать динамику изменения спектральных компонент квазипериодических сигналов во времени; метод **внедрен** в программное обеспечение автоматизированного пульсодиагностического комплекса для оценки функционального состояния организма человека; **намечены** перспективы использования разрабатываемого подхода для изучения нестационарных процессов в динамике при решении научных и практических задач радиофизики, биомедицины и других областей знаний.

Достоверность результатов и обоснованность выводов и положений диссертации **обусловлено** корректным использованием современных методов математического анализа и обработки массивов данных, **соответствием и согласованностью** с результатами, полученными другими методами и исследователями; **установлена** высокая корреляция результатов, полученных в диссертации, с результатами методически обоснованного и применяемого в медицинской практике метода оценки функционального состояния организма.

Личный вклад автора состоит в том, что все результаты, представленные в диссертации, получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор участвовал в постановке задач совместно с научным руководителем, лично разрабатывал методы, алгоритмы и компьютерные программы численных расчетов, а также выполнял непосредственные расчеты, необходимые для исследования, проводил обработку, систематизацию и интерпретацию полученных данных. Вклад автора также состоит в подготовке публикаций по выполненным работам, представлении результатов на различных всероссийских и международных мероприятиях.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация Омпокова В.Д. является законченным научным исследованием, выполненным по актуальной тематике, результаты которого имеют высокую научную и практическую значимость. Работа соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика и пункту 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а также отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 26 декабря 2019 г. диссертационный совет Д 212.074.04 принял решение присудить Омпокову В.Д. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов по специальности 01.04.03 – радиофизика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в совет, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета Д 212.074.04,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник


Буднев Николай Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.074.04,
доктор физико-математических наук,
профессор


Аграфонов Юрий Васильевич

26 декабря 2019 г.