

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Белорусского национального  
технического университета



К.В. Якушенко  
2024 г.

### ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Белорусского национального технического университета на диссертацию Бранцевича Петра Юльяновича «Математическое и программное обеспечение измерительно-вычислительных комплексов и автоматизированных систем для решения задач цифровой обработки вибрационных сигналов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

**Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК**

Диссертация Бранцевича П.Ю. на тему «Математическое и программное обеспечение измерительно-вычислительных комплексов и автоматизированных систем для решения задач цифровой обработки вибрационных сигналов» соответствует отрасли технических наук и специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Область исследований соответствует разделу III паспорта указанной специальности, утвержденному приказом ВАК Республики Беларусь от 23 декабря 2022 г. № 462 следующим пунктам:

п. 2. разработка методов, алгоритмов и программных средств для сбора, хранения, организации и обработки больших объемов разнородных по структуре и форме представления данных;

п. 6. теоретическое обоснование и создание математического и программного обеспечения систем измерений, контроля и управления;

п. 7. математическое и программное обеспечение интеллектуальных систем, мультимедиа, принятия решений, функционального и логического программирования, баз данных, знаний и экспертных систем.

### **Научный вклад соискателя в разработку научной проблемы с оценкой его значимости**

Бранцевич Петр Юльянович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук за новые научно обоснованные результаты, заключающиеся в разработке методологии создания современной системы вибрационного контроля и мониторинга, ориентированной на оценку вибрационного состояния сложных механизмов и агрегатов предприятий энергетики, обеспечивающей разработку программных средств обработки больших объемов виброметрических данных и реализаций вибрационных сигналов и импортозамещение в этой области.

Научный вклад соискателя заключается также в разработке методологии построения программно-управляемых многоканальных измерительно-вычислительных комплексов (ИВК), предназначенных для обработки в реальном масштабе времени вибрационных и других информативных сигналов при решении задач контроля, мониторинга, оценки состояния и защиты технических объектов. В отличие от специализированных систем ИВК на базе универсальных компьютеров требуют значительно меньших временных и ресурсных затрат на разработку и изготовление. Применение разработанных ИВК позволяет получить большие объемы виброметрических данных, а их обработка позволила получить результаты, которые используются при планировании ремонтно-восстановительных работ.

В работе Бранцевича П.Ю. предложен ряд оригинальных методов и способов анализа и обработки вибрационных сигналов, включающих:

- метод удаления в режиме реального масштаба времени низкочастотного дрейфа исходного сигнала, основанный на его полиномиальном приближении, позволяющий минимизировать погрешности вычисления параметров вибросигналов;
- способ вычисления частоты и амплитуды оборотных, кратных частоте вращения валов и роторов механизмов, но не кратных частотному разрешению спектрального анализа, гармонических составляющих вибрационного сигнала;
- декомпозицию вибрационных сигналов в виде суммы периодической (квазипериодической) и шумоподобной компонент;
- метод формирования гауссовых вейвлетов и вейвлета Морле с задаваемой центральной частотой их амплитудно-частотных характеристик;
- способ сравнительного анализа вибрационных характеристик пусков-выбегов механизмов и агрегатов, фиксируемых при различных временах переходных процессов и функциях изменения скорости вращения вала;
- базовый модуль принятия решений, обеспечивающий унифицированный подход для реализации систем автоматического принятия решений.

Значимость научного вклада соискателя подтверждается соответствующими публикациями, в число которых входят 3 монографии, 36 статей в рецензируемых научных изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, 18 статей в практико-ориентированных рецензируемых научных изданиях, 54 статьи в сборниках материалов научных

конференций, 2 патентами на полезную модель, 3 зарегистрированными компьютерными программами.

**Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень**

Для решения обозначенной проблемы в диссертации обосновано концептуальное развитие актуального современного научного направления «Измерительно-вычислительные комплексы и компьютерные системы цифровой обработки сигналов».

Среди конкретных научных результатов, полученных Бранцевичем П.Ю. впервые, необходимо отметить следующие положения:

1. Методология построения программно-управляемых многоканальных ИВК, функциональность которых определяется математическим и программным обеспечением, предназначенных для обработки в реальном масштабе времени вибрационных и других информативных сигналов при решении задач контроля, мониторинга, оценки состояния и защиты технических объектов.

2. Способ определения амплитудно-фазовых параметров вибрации подшипниковых опор механизмов с вращательным движением, работающих с постоянной и переменной частотой вращения валов и роторов, основанного на обработке параллельно принимаемых вибрационного и фазового сигналов. Оценки погрешностей вычисляемых параметров вибрации.

3. Метод удаления в режиме реального масштаба времени низкочастотного дрейфа исходного вибрационного сигнала, основанный на его полиномиальном приближении, позволяющий минимизировать погрешности вычисления параметров вибросигналов, возникающих в процессе их интегрирования при переходе от единиц виброускорения к единицам виброскорости.

4. Способ вычисления частоты и амплитуды оборотных, кратных частоте вращения валов и роторов механизмов, но не кратных частотному разрешению спектрального анализа, гармонических составляющих вибрационного сигнала, что позволяет адаптировать алгоритм быстрого преобразования Фурье для определения параметров вибрации при произвольном значении частоты вращения.

5. Декомпозиция вибрационных сигналов в виде суммы периодической (квазипериодической) и шумоподобной компонент, которая позволяет разнообразить определение информативно-значимых признаков вибраций.

6. Метод формирования гауссовых вейвлетов и вейвлета Морле с задаваемой центральной частотой их амплитудно-частотных характеристик. Их применение позволяет выявлять моменты появления возмущений определенного вида и оценивать изменение во времени параметров информативно-значимых частотных составляющих.

7. Способ сравнительного анализа вибрационных характеристик пусков-выбегов механизмов и агрегатов, получаемых при различных временах переходных



процессов и функциях изменения скорости вращения вала, позволяющий формулировать выводы об их подобии, с учетом различий по амплитуде и форме.

8. Алгоритмы автоматического принятия решения о вибрационном состоянии контролируемого объекта по стандартизованным и индивидуальным критериям, основанные на базовом модуле принятия решений, обеспечивающем унифицированный подход для реализации систем автоматического принятия решений.

9. Алгоритмы оптимизационного приближения затухающего вибрационного колебания, являющегося откликом объекта на динамическое воздействие, суммой затухающих гармоник, для определения собственных частот и коэффициентов затухания колебаний на этих частотах исследуемых конструкций зданий и сооружений.

10. Алгоритмы и программное обеспечение ИВК вибрационного контроля.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке алгоритмов и программного обеспечения ИВК вибрационного контроля, мониторинга, оценки технического состояния, автоматики защиты сложных многоопорных механизмов и агрегатов; цифровой обработки длинных реализаций вибрационных сигналов. Разработаны методики метрологической аттестации и поверки ИВК, ряд из которых введены в промышленную эксплуатацию на предприятиях энергетики Республики Беларусь.

Широкая апробация и востребованность результатов научных исследований Бранцевича П.Ю. подтверждается актами внедрения, копии которых представлены в приложениях диссертации, а также списком выполненных хозяйственных договоров и контрактов.

### **Замечания по диссертации**

1. В диссертации недостаточно полно проведен сравнительный анализ предлагаемых автором моделей измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) с зарубежными аналогами.

2. В диссертации рассматриваются только детерминированные модели вибрационных сигналов. Не проведены исследования стохастических моделей и случайных факторов, оказывающих влияние на вибрационные процессы.

3. В разделе 9.2 не в полной мере отражены особенности программного обеспечения обработки экспериментальных данных, полученных автором.

4. В выражении (8.1) (страница 221)  $N_{\max}$  является средним числом положительных выбросов, так как вычисляется на основе средних квадратических значений виброперемещения и виброскорости.

5. Термины «временные тренды» (страница 288) и «временная реализация» (страница 289), как правило, не применяются в технической литературе для названия графиков изменения во времени переменных.

5. В диссертации не рассматриваются вопросы инструментального или алгоритмического снижения отрицательного влияния вибраций в технических

системах.

6. Заголовок раздела «ПРИЛОЖЕНИЕ» необходимо писать прописными буквами в соответствии с Инструкцией ВАК от 22.08.2022 (пункты 5, 22) и ГОСТ 7.32-2017 (пункт 6.17.3).

**Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

Указанные замечания не снижают научную и практическую значимость работы, а диссертация Бранцевича П.Ю. на тему «Математическое и программное обеспечение измерительно-вычислительных комплексов и автоматизированных систем для решения задач цифровой обработки вибрационных сигналов», является законченной квалификационной научной работой, отвечающей требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям. Содержание диссертации соответствует отрасли технических наук и специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей. Публикации по теме диссертации достаточно полно отражают ее содержание.

Доклад соискателя Бранцевича П.Ю. по диссертации и проект отзыва на нее, подготовленный профессором кафедры «Робототехнические системы» доктором технических наук, профессором Лобатым А.А., назначенным экспертом приказом Белорусского национального технического университета от 15.05.2024 № 403 «Об изменении состава научного собрания и подготовке отзыва оппонировавшей организации» были заслушаны и обсуждены на научном собрании БНТУ по специальностям 05.02.05, 05.13.01, 05.13.06, 05.13.12 (протокол от 29.05.2024 № 1).

На заседании присутствовали 16 человек, из них 4 доктора наук и 12 кандидатов наук.

Результаты открытого голосования: «за» – 16, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Председатель научного собрания  
к.т.н., доцент



А.В. Бородуля

Эксперт  
д.т.н., профессор



А.А. Лобатый

Секретарь научного собрания  
к.ф-м.н., доцент



В.А. Мартинович

*Ознакомлен*

05.06, 2024

*П.Ю. Бранцевич*

