

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе  
и международной деятельности

ФГБОУ ВО «Юго-Западный

государственный университет»

кандидат технических наук, доцент

А.Ю. Алтухов

17.08.2025 года



### **ОТЗЫВ**

ведущей организации о диссертации

**Копелиовича Михаила Викторовича**

«Эффективная системная интеграция методических и алгоритмических  
средств дистанционной фотоплетизмографии»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка  
информации, статистика

#### **1. Актуальность темы исследования**

Стремительное расширение сфер применения человеко-ориентированных информационных систем требует внедрения средств бесконтактного мониторинга жизненно важных параметров оператора, которые не отвлекают от процесса работы, но при этом обеспечивают возможность мониторинга функционального состояния. Отсутствие таких инструментов затрудняет своевременное выявление стрессовых реакций и отклонений сердечного ритма, что в условиях авиации, транспорта и промышленного производства повышает риск нештатных ситуаций и снижает надежность работы операторов. Дистанционная фотоплетизмография, использующая повсеместно доступные видеокамеры и вычислительные ресурсы, предлагает системный подход к задаче неинвазивного контроля частоты сердечных сокращений, позволяя формализовать этапы детектирования лицевой области, выделения наиболее информативных областей на лице, преобразований сигнала и статистической обработки результатов.

Исходя из вышесказанного, диссертационное исследование Копелиовича М.В., посвященное разработке функциональной модели процесса дистанционной фотоплетизмографии и интеграции методических и алгоритмических средств оценивания частоты сердечных сокращений по видеоизображению, направлено на решение важной научной задачи повышения точности систем бесконтактного мониторинга при ограниченных вычислительных ресурсах и является **актуальным**.

## **2. Достоверность и научная новизна результатов работы**

**Достоверность** и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, полученных автором, подтверждается грамотной постановкой основных задач исследования, обоснованностью принятых допущений, корректным применением теорий системного анализа, численных методов решения уравнений, а также методов распознавания образов и обработки сигналов.

Помимо этого, достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается теоретическим обоснованием ее основных положений, а также непротиворечивостью и согласованностью с известными фактами и исследованиями в рассматриваемой области, обоснованным использованием математического аппарата, экспериментальными исследованиями разработанных моделей и алгоритмов, соответствием теоретических результатов данным экспериментов. Дополнительное подтверждение достоверности результатов работы обеспечивают апробация работы в профильных научных изданиях и на конференциях, а также успешное внедрение разработанных программных средств в коммерческой организации.

**Научная новизна** рассматриваемого исследования определяется разработкой функциональной модели процесса дистанционной фотоплетизмографии. Указанная модель позволяет интегрировать методические и алгоритмические средства в единую систему, что расширяет существующие представления о бесконтактном мониторинге с помощью дистанционной фотоплетизмографии и повышает эффективность оценивания частоты сердечных сокращений. Предложенная автором методика выбора наиболее информативных областей лица на основе спектральной энтропии Шеннона позволяет обеспечить повышение точности измерений в условиях низкочастотных и высокочастотных помех без существенного роста

вычислительных затрат, поскольку учитывает спектральную плотность мощности сигнала. Автору удалось предложить алгоритм адаптивного преобразования фотоплетизмографического сигнала, в котором аппроксимация первой конечной разности реализована однослойной нейронной сетью с радиально-базисными функциями, что повышает точность в условиях вариативного освещения и движений человека в кадре. Также автором был разработан критерий эффективности интеграции, позволяющий количественно оценивать компромисс между точностью системы и ресурсоемкостью реализованных модулей и тем самым оптимизировать конфигурацию программно-аппаратных компонентов. Разработанный автором модифицированный метод дистанционной фотоплетизмографии, объединяющий указанные компоненты, обеспечивает сбалансированное соотношение точности и вычислительной сложности.

### **3. Наиболее существенные результаты исследований и ценность для практического использования полученных соискателем результатов**

Новыми и значимыми для науки и практики являются следующие научные результаты, полученные в диссертации:

1. Разработана функциональная модель процесса дистанционной фотоплетизмографии, формализующая последовательность операций от детектирования лицевой области до получения оценки частоты сердечных сокращений, что позволило выполнить системную интеграцию функциональных блоков с целью повышения эффективности оценивания частоты сердечных сокращений.

2. Разработан модифицированный метод дистанционной фотоплетизмографии, позволивший достичь баланса между точностью и вычислительными затратами при работе системы в условиях практического применения на устройствах с ограниченными ресурсами и повсеместно распространенными веб-камерами.

3. Разработана методика выбора наиболее информативных областей лица на видеоизображении, основанная на спектральной энтропии Шеннона, обеспечивающая повышение точности оценивания частоты сердечных сокращений в условиях переменного освещения и движений человека-оператора в кадре.

4. Разработан алгоритм адаптивного преобразования фотоплетизмографического сигнала, использующий аппроксимацию первой

конечной разности однослойной радиально-базисной нейронной сетью, что позволило повысить точность измерений при наличии низко- и высокочастотных помех в фотоплетизмографическом сигнале и тем самым расширить возможности длительного бесконтактного мониторинга.

#### **4. Соответствие требованиям по выполнению, оформлению и апробации диссертационной работы**

Основная часть диссертации изложена на 146 страницах, общий объем с приложениями составляет 197 страниц, содержит введение, пять глав, заключение, 24 рисунка, 23 таблицы, список литературы из 241 наименований, 4 приложения.

**Во введении** обоснована актуальность избранной темы и степень ее разработанности, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, методология проведенных исследований, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, представлены сведения о достоверности и апробации результатов, внедрении, публикациях автора, объеме и структуре работы.

**В первой главе** диссертационной работы проведен анализ исследуемой предметной области, в результате которого выявлены особенности современных систем дистанционного мониторинга частоты сердечных сокращений, выделены преимущества бесконтактных методов и определены ключевые факторы, влияющие на точность систем дистанционной фотоплетизмографии – движения человека-оператора в кадре и вариабельность освещенности. В итоге была обоснована необходимость разработки методики выбора информативных областей лица и алгоритма преобразования фотоплетизмографического сигнала.

**Во второй главе** диссертационной работы разработана функциональная модель процесса дистанционной фотоплетизмографии, формализующая последовательность операций от детектирования лица до оценивания частоты сердечных сокращений, и предложен интегральный критерий, обеспечивающий баланс между точностью измерений, вычисляемой путем обработки видеозаписей с имеющимися эталонными оценками частоты сердечных сокращений, и вычислительной нагрузкой, вычисляемой в процессе обработки потокового видео с веб-камеры системой в режиме реального времени.

**В третьей главе** диссертации предложена методика выбора наиболее информативных областей лица на основе спектральной энтропии Шеннона, позволяющая преодолеть ограничения подхода, основанного на поиске максимума спектральной плотности мощности, и снизить погрешность оценивания частоты сердечных сокращений.

**В четвертой главе** диссертационной работы разработан алгоритм адаптивного преобразования фотоплетизмографического сигнала, использующий аппроксимацию первой конечной разности однослойной радиально-базисной нейронной сетью без полосовой фильтрации, что позволило повысить точность системы дистанционной фотоплетизмографии.

**В пятой главе** диссертации проведены вычислительные эксперименты и анализ интеграции разработанных средств в единую систему; показано, что предложенные компоненты снижают относительную погрешность измерения на 80% по сравнению с известными решениями при сохранении приемлемой вычислительной нагрузки. Приведенные автором результаты вычислительных экспериментов подтвердили непротиворечивость разработанных моделей, а также их практическую применимость для длительного бесконтактного мониторинга состояния человека-оператора.

**В заключении** представлены основные результаты работы и сделаны итоговые выводы.

**В приложениях** приведены полный список опубликованных работ автора по теме диссертации, полученные в ходе исследования алгоритма преобразования графики конечной разности фотоплетизмографического сигнала и его модели, копии актов об использовании результатов исследования, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные результаты достаточно полно отражены в 28 публикациях, среди них – 2 статьи опубликованы в издании, входящем в перечень ВАК, 9 статей, индексируемых в Scopus и/или Web of Science. Получены 9 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 11 международных, всероссийских и региональных научных конференциях.

Содержание диссертации изложено в последовательной форме. Стиль изложения в целом ясный. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат соискателя в полной степени отражает ее наиболее существенные положения, выводы и рекомендации.

#### **5. Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Теоретические и практические результаты диссертации Копелиовича М.В. целесообразно использовать в научных и иных организациях, деятельность которых связана с мониторингом состояния человека и измерением его физиологических показателей, создания и исследования моделей фотоплетизмографического сигнала, методов обработки сигналов и видеоизображений: ИПУ РАН (г. Москва); НИУ «ИТМО» (г. Санкт-Петербург), ННГУ (г. Нижний Новгород) ВНИИ «Градиент» (г. Ростов-на-Дону), а также на высокотехнологичных производствах при мониторинге состояния человека-оператора. Кроме того, результаты могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов по направлению «Информатика и вычислительная техника».

#### **6. Замечания и недостатки**

В целом диссертация заслуживает высокой оценки. Однако, она несвободна от недостатков, к числу которых относятся следующие:

1. В аналитическом обзоре недостаточно охвачены современные системы дистанционной фотоплетизмографии на основе методов глубокого обучения.
2. Не раскрыто влияние возраста испытуемых на точность оценивания частоты сердечных сокращений.
3. Отсутствует объяснение, почему выбрана методология *IDEF0* для описания процесса дистанционной фотоплетизмографии.
4. Недостаточно обоснован выбор длительности временного интервала для оценивания частоты сердечных сокращений.
5. Определение относительной погрешности приводится дважды в формулах (27) и (30), что усложняет структуру изложения.
6. Недостаточно детально исследован объем оперативной памяти, потребляемой разработанной системой.
7. Редакционные замечания:

а) автор многократно повторяет перевод терминов на английский язык и ввод аббревиатур, например, «(*region of interest, ROI*)» встречается на стр. 28, 32, 51, 68, 77 и 94;

б) представленные на рис. 4, 6 и 7 алгоритмы содержат ряд ошибок в условных обозначениях блок-схем.

Отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Копелиовича М.В.

## 7. Выводы

Диссертация Копелиовича Михаила Викторовича представляет собой актуальный научно-исследовательский труд, посвященный созданию систем дистанционной фотоплетизмографии для оценивания частоты сердечных сокращений по видеоизображению лица. Новые научные результаты, полученные в диссертации, имеют высокую значимость в области системного анализа и направлены на решение актуальной научной задачи, имеющей важное значение для развития технологий обработки сигналов и мониторинга состояния человека-оператора.

Работа Копелиовича Михаила Викторовича на тему: «Эффективная системная интеграция методических и алгоритмических средств дистанционной фотоплетизмографии», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и имеющей теоретическую и практическую значимость. Основные положения диссертации представлены в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК, а также в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, апробированы на международных и всероссийских научных конференциях. Диссертационная работа соответствует пунктам 3, 4, 5 и 12 паспорта научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Несмотря на отмеченные замечания, работа Копелиовича М.В. по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов полностью соответствует требованиям пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением

Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями) в редакции от 16 октября 2024 г., предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Копелиович Михаил Викторович, достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовил доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ Филист Сергей Алексеевич.

Отзыв ведущей организации о диссертационной работе Копелиовича Михаила Викторовича на тему: «Эффективная системная интеграция методических и алгоритмических средств дистанционной фотоплетизмографии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, обсужден и принят на заседании кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ, протокол № 1 от «28» августа 2025 г.

«29» августа 2025 г.

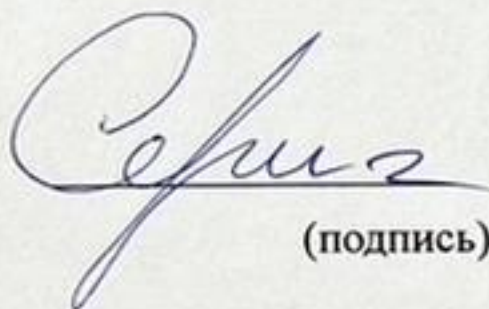


Филист Сергей Алексеевич

(подпись)

Заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия», д.т.н., профессор

«29» августа 2025 г.



Серегин Станислав Петрович

(подпись)

Профессор кафедры «Биомедицинская инженерия», доктор технических наук, профессор Филист Сергей Алексеевич, научные специальности: 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах. Адрес: 305004, г. Курск, ул. Челюскинцев, д. 19, аудитория 100а, тел.: +7 (4712) 22-26-60, email: [SFilist@gmail.com](mailto:SFilist@gmail.com).

Заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия», доктор медицинских наук, профессор Серегин Станислав Петрович, научная специальность: 14.01.23 – Урология. Адрес: 305004, г. Курск, ул. Челюскинцев, д. 19, аудитория 104, тел.: +7 (4712) 22-26-61, email: [kstu-bim@yandex.ru](mailto:kstu-bim@yandex.ru).



С.А. Филист, С.П. Серегин  
Удостоверяю  
Специалист по кадрам  
Чашев-И.И. Чашевская  
02.09.2025г.