

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию  
Зюзина Василия Викторовича  
на тему «Разработка и исследование полуавтоматических и автоматического алгоритмов оконтуривания левого желудочка сердца на эхокардиографических изображениях сердца»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь)

### **Актуальность темы исследования**

Эхокардиография (ЭхоКГ) является одним из наиболее распространенных методов неинвазивного анализа сердечной мышцы, которое основано на использовании ультразвуковых волн, называемое ультразвуковым исследованием (УЗИ). ЭхоКГ позволяет получать врачам-кардиологам двумерные изображения сердца в апикальной проекции, на которой необходимо выделять эндокардиальный контур левого желудочка (ЛЖ). На основе анализа эндокардиального контура вычисляются различные количественные показатели, характеризующие состояние сердечной мышцы. Врач-эксперт строит контур ЛЖ на основе собственных представлений о его правильной форме, зачастую субъективны, игнорируя при этом области на изображении являющиеся артефактами или достраивая области с низким контрастом мышечных тканей.

В этой связи разработка новых методов анализа экспертных наборов данных и разработка алгоритмов построения контура на двумерных изображениях апикальной проекции сердца является актуальной задачей.

### **Научная новизна полученных результатов**

Полученные автором в рамках работы результаты приносят свой вклад в развитие данного научного направления и являются новыми, в том числе:

- проведен комплексный анализ доступных наборов данных, содержащих УЗИ-изображения сердца и экспертные контуры ЛЖ, обоснована возможность их использования для разработки алгоритмов оконтуривания ЛЖ;
- разработаны научно-обоснованные полуавтоматические и автоматические алгоритмы оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца на основе адаптации и модернизации известных алгоритмов компьютерного зрения;
- разработана научно-обоснованная методика количественного сравнения разработанных полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца.

### **Обоснованность и достоверность научных положений сформулированных в диссертации**

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Зюзиным В.В. выполнен анализ существующих и предложенных в работе методов, показавший особенности и преимущества

разработанных алгоритмов, полученные им результаты согласованы с результатами, полученными другими авторами и с экспертными оценками врачей-кардиологов качества контуров ЛЖ на УЗИ-изображениях.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена сериями вычислительных экспериментов, а также впечатляющей апробацией на научных конференциях различного уровня и экспертизой опубликованных статей в ведущих научных журналах: по теме исследования опубликовано 17 печатных работ 16 из них - в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ. Присутствует свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

### **Практическая значимость результатов диссертации**

Практическая значимость заключается в разработке программных реализаций полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях апикальной проекции сердца человека, готовых к использованию врачами-кардиологами. Полученные результаты внедрены в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», (Екатеринбург, Россия); в ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, (Екатеринбург, Россия); в ООО «Институт информационных датчиков и технологий», (Екатеринбург, Россия).

### **Оценка содержания диссертации и её оформления**

Диссертационная работа содержит 114 страницы основного текста (всего 151 с.), 94 рисунка (без приложений) и 3 таблиц (без приложений). Она состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 84 наименований, 5 приложений.

В первой главе проведен анализ современного состояния предметной области, основанный на результатах исследований отечественных и зарубежных учёных. Автор рассматривает медицинскую проблему построения контура ЛЖ на ЭхоКГ изображениях апикальной проекции сердца, проводит анализ программных инструментов для построения контуров ЛЖ в УЗИ аппаратах и делает обоснованный вывод об отсутствии автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ. Здесь же на основе анализа состояния предметной области автор формулирует цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена анализу особенностей эхокардиографических наборов данных и контуров ЛЖ (CAMUS, USEKB, CETUS), размеченных экспертами. Его результаты позволили автору научно обосновать достаточность использования 9-ти базовых точек для восстановления экспертного контура. Для этого автор разработал автоматический алгоритм определения реперных точек экспертного контура (две точки - места крепления митрального клапана и верхушка контура ЛЖ), используя которые оказывается возможным выделять базовые точки контура.

В третьей главе диссертационного исследования автор разрабатывает автоматические и полуавтоматические алгоритмы нахождения контуров ЛЖ, в том числе:

1. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании морфологических операций;

2. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании уровневых множеств;

3. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании геодезических активных контуров;

4. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании метода оптического потока;

5. Автоматический алгоритм на сверточных нейронных сетях с архитектурой U-Net.

Четвертая глава посвящена исследованию разработанных алгоритмов оконтуривания ЛЖ. В том числе, предложена методика сравнения результатов применения разработанных алгоритмов. В соответствии с разработанной методикой определены оптимальные значения параметров разработанных алгоритмов, в том числе найдены оптимальные параметры для обучения сверточных нейронных сетей с архитектурой U-Net. Этот раздел следует особо отметить, поскольку решаемая автором задача относится к классу проблем искусственного интеллекта, а как доказано последними исследованиями, оптимальный путь решения этих проблем – использование нейронных сверточных сетей и глубокого обучения. Также автор провел анализ разработанных алгоритмов в соответствие с разработанной методикой и обосновал выбор наиболее перспективных алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях.

В то же время по диссертации можно сделать следующие **замечания**.

1. На стр. 46 говорится о трех классах изображений: хорошего качества, среднего и плохого. Во-первых, по какому критерию разделены изображения? Ссылки на ImageQuality недостаточно. И во-вторых, зачем они делятся на классы? Что дальше делают с этими изображениями в зависимости от класса?

В п.3.2.1. обсуждается модификация U –net сети для повышения точности сегментации. В частности, утверждается, что в прототипе [30] «УЗИ-изображение размером 388 × 388 пикселей дополнялось 92-мя нулевыми столбцами и строками пикселей. В результате входное изображение увеличивалось до размера 572 × 572 пикселей». Это вызвало удивление, поскольку в любой нейронной сети есть стремление к уменьшению входной размерности. Не удалось найти указанный сетевой ресурс, поскольку это доклад на конференции, но была найдена работа тех же авторов и с точно таким же названием в солидном издании и вот выдержки из этой публикации:

(сетевой ресурс [https://eprints.lincoln.ac.uk/id/eprint/40134/2/proceeding\\_MIUA\\_NA.pdf](https://eprints.lincoln.ac.uk/id/eprint/40134/2/proceeding_MIUA_NA.pdf)):

«Все записи были получены с постоянным разрешением изображения 480 × 640 пикселей» и далее «Все изображения были изменены до меньшего размера 320 × 240 пикселей для ввода в модели глубокого обучения». Никакого дополнения нулевыми пикселями. Так что использование автором изображения 512x512 пикселей– это просто увеличение размерности входного изображения, что можно, конечно, только приветствовать, но которое вряд ли можно назвать модификацией.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку выполненных В.В. Зюзиным исследований.

## Заключение по работе

Диссертация Зюзина Василия Викторовича является научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как существенный вклад в решение важнейшей проблемы - диагностики сердца с использованием УЗИ. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ и п.п.3,5,12,13 паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь). Автор диссертации Зюзин Василий Викторович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь).

### Официальный оппонент,

старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории информационной оптики  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
автоматики и электротехники  
Сибирского отделения РАН, д.т.н.



Нежевенко Евгений Семенович

Подпись д.т.н. Е.С. Нежевенко **з а в е р я ю:**

И.о. учёного секретаря  
ИАиЭ СО РАН, к.ф.-м.н.



С.Р. Абдуллина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения Российской академии наук» (ФГБУН Институт автоматизации и электротехники СО РАН)

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1

Тел.: (383) 330-79-69, (383) 339-93-58

Факс: (383) 330-88-78

E-mail: [iae@iae.nsk.su](mailto:iae@iae.nsk.su), [office@iae.nsk.su](mailto:office@iae.nsk.su)

«15» мая 2021 г.