

УТВЕРЖДАЮ

ИО Проректора по научной работе
и международной деятельности

ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»

кандидат технических наук, доцент

~~А.Ю.~~ Алтухов

мая 2025 года



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Судакова Дмитрия Евгеньевича на тему «Система поддержки принятия врачебных решений для ранней оценки состояния сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным пороком сердца», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Актуальность темы диссертации, её связь с приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники РФ

Заболевания сердечно-сосудистой системы остаются ведущей причиной смертности населения. Для детей особую опасность представляют врожденные пороки сердца, требующие ранней диагностики и точного определения стратегии лечения. Современная медицина активно внедряет новейшие технологии: ультразвук (УЗИ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), компьютерную томографию (КТ) и другие методы диагностики. Они обеспечивают детальное изучение анатомии и функциональности сердца, необходимые для оценки состояния пациента с врожденным пороком сердца. Также важнейшую роль играет создание цифровых двойников сердечно-сосудистой системы, основанных на персональных характеристиках каждого больного. Эти виртуальные модели помогают спрогнозировать реакцию организма на разные виды лечения и подобрать наиболее эффективную тактику ведения пациента. Использование цифровой персонификации и систем поддержки принятия врачебных решений значительно улучшает качество диагностики и терапии, снижая риск неблагоприятного исхода у пациентов с врожденными пороками сердца.

Таким образом, диссертационное исследование соответствует приоритетным направлениям науки, технологий и техники (Из указа Президента РФ от 01.12.2016 №642 «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: п. 20: в) переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровье

сбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных);». Диссертационное исследование направлено на реализацию оригинального отечественного решения в этой области.

Оценка состава и содержания диссертации

Диссертационная работа написана грамотным литературным языком, результаты работы в достаточной степени доказательны и проиллюстрированы.

Выносимые на защиту положения своевременно отражены в рецензируемых научных журналах и прошли апробацию на Международных и Всероссийских научно-технических конференциях и семинарах.

Диссертационная работа включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы и приложение. Диссертация изложена на 191 страницах, содержит 113 рисунков. Список литературы включает 136 наименований публикаций отечественных и зарубежных авторов.

Во введении отражена актуальность, подробно изложены существующие подходы и уровень проработанности данной проблемы в научной литературе. Четко определены объект и предмет исследования, поставлена цель и детально описаны исследовательские задачи, включая отдельные этапы решения общей проблемы. Кроме того, выделены элементы научной новизны проведенного исследования, раскрыта его теоретическая ценность и прикладная польза, охарактеризованы применённые методики и конкретные инструменты анализа. Предложены тезисы, подлежащие защите, а также представлена общая структура самой диссертации.

В первой главе проведён анализ текущего уровня исследований по заявленной проблематике. Основное внимание уделяется методикам индивидуализации моделей сердечно-сосудистой системы, ориентированным на диагностику и терапию сердечно-сосудистых патологий. Подробно рассмотрены 0D-мерные модели, применяемые для анализа многообразия физиологических состояний и оценки влияния регуляторных механизмов на кровообращение. Отдельно проанализировано использование математических инструментов в системах поддержки клинических решений врачей, а также отмечена степень адаптации этих методик в современной российской практике здравоохранения.

Во второй главе рассматриваются базовые физиологические закономерности, лежащие в основе функционирования сердечно-сосудистой системы, необходимые для ее математического моделирования. К ним относятся закон Франка-Старлинга, гомеометрические зависимости и гетерометрические соотношения, а также модель мышечной ткани Хилла. Далее строится 0D-мерная математическая модель нормальной сердечно-сосудистой системы, основанная на применении вышеперечисленных физиологических законов (например, закона Франка-Старлинга), физических принципов механики (закона Лапласа, модели Хилла) и методов

вычислительной гидродинамики. В модель включен отдельный компонент, описывающий ситуацию с дефектом межжелудочковой перегородки. Предлагается гипотеза о соответствии динамики изменения параметров организма экспоненциальному закону в процессе его роста и развития. Для проверки этой гипотезы разработаны специальные математические средства моделирования, проведены соответствующие исследования. Наконец, разработан метод объединения модели изменения параметров сердечно-сосудистой системы с ранее построенной 0D-мерной моделью сердечно-сосудистой системы. Метод основывается на свойствах квазистационарных моделей и включает в себя технику замораживания коэффициентов.

В третьей главе осуществлено глубокое исследование изменений ключевых параметров сердечно-сосудистой системы, играющих важную роль в формировании математической модели гемодинамики. Было установлено, что изменение большинства этих параметров подчиняется выраженному экспоненциальному закону, демонстрируя заметную корреляцию с процессом роста и развития ребенка. Детально изучены возрастные модификации всех основных параметров сердечно-сосудистой системы, имеющих первостепенную значимость для построения адекватной математической модели гемодинамики. Для каждого параметра установлена характерная экспоненциальная зависимость.

Модель подверглась верификации в четырех различных ситуациях: сердечно-сосудистая система здорового ребенка, сердечно-сосудистая система ребенка с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки, сердечно-сосудистая система здорового взрослого человека, сердечно-сосудистая система взрослого с врожденным пороком сердца. Эти сценарии позволили оценить поведение модели в широком диапазоне условий и убедиться в ее универсальности и надежности.

В четвертой главе представлено описание системы поддержки принятия врачебных решений, специально разработанной для практического применения ранее созданной математической модели гемодинамики ребенка с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки. Здесь освещены методы дополнительного сбора диагностических данных о состоянии сердца, доступные через неинвазивные процедуры функциональной диагностики, такие как электроэнцефалография и реоэнцефалография. Разработка системы основана на материалах, собранных в третьей главе, и направлена на обеспечение возможности предсказательного моделирования изменений параметров сердечно-сосудистой системы в процессе роста и развития ребенка. Чтобы обеспечить высокую точность моделирования возрастных изменений, введена тестовая система классификации рисков, позволяющая грамотно выбирать контрольные точки аппроксимации, сопоставляя их с показателями взрослых пациентов той же категории риска. Предложен эффективный алгоритм персонализации математической модели сердечно-сосудистой системы, позволяющий настраивать ее индивидуально для каждого пациента. Установлены критерии, служащие индикаторами потенциального ухудшения состояния здоровья ребенка и помогающие

своевременно идентифицировать критические ситуации. Помимо прочего, описан разработанный визуальный интерфейс, предназначенный для удобства работы врача с системой поддержки принятия решений, направленный на эффективное управление состоянием детей с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки.

В заключении обобщаются основные теоретические и практические итоги проведенных исследований, представлены экспериментальные данные и их трактовка.

В приложении содержатся официальные подтверждения реализации результатов, достигнутых в рамках диссертационного проекта, свидетельствующие об использовании результатов исследований в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Биотехнические системы и технологии», а также о внедрении результатов работы в медицинском центре ООО «Доступная Диагностика», ООО «Биомедтех», ООО «Медтехника».

Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения (п. 2. Приборы, системы и аппаратно-программные комплексы для оценки текущего состояния, скринингового обследования, мониторинга, прогнозирования и диагностики состояния здоровья человека, п. 15. Математическое моделирование медико-биологических процессов и врачебных решений с целью оптимизации лечебно-диагностических процессов, п. 20. Системы поддержки принятия врачебных решений и медико-технологических процессов, экспертные, информационные и управляющие системы медицинского назначения, обеспечивающие повышение качества медицинского обслуживания населения). Приведённые автором исследования имеют следующие новые результаты:

1. Разработана 0D-мерная математическая модель сердечно-сосудистой системы ребенка с врожденным дефектом межжелудочковой перегородки, учитывающая взаимодействие четырнадцати упругих камер.
2. Разработан алгоритм расчета динамики изменения параметров организма ребенка в процессе его роста и развития, охватывающий период от рождения до двадцатилетнего возраста (240 месяцев), основанный на экспоненциальном законе.
3. Решена задача точного определения времени возникновения критической ситуации, угрожающей здоровью и жизни ребенка.
4. Создана специализированная система поддержки принятия клинических решений, предназначенная для своевременного выявления критических состояний, возникающих в процессе взросления ребенка с указанным заболеванием.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Значимость полученных результатов для развития отрасли науки, связанной с разработкой приборов, систем и изделий медицинского назначения, заключается в постановке и решении задачи создания специализированной системы поддержки принятия врачебных решений для прогнозирования состояния пациента с врожденным пороком сердца, точного определения момента возникновения критического состояния сердечно-сосудистой системы, позволяющего рекомендовать протоколы лечения для больных с врожденными пороками сердца.

Дальнейшее развитие темы исследования связано проведением дополнительных экспериментов, нацеленных на включение в систему поддержки принятия врачебных решений большего числа разновидностей врожденных пороков сердца, в том числе сложных, комбинированных пороков.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

Результаты диссертационной работы используются в процессе обучения бакалавров направления подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» и магистров направления подготовки 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии», в частности при проведении: практических занятий по дисциплинам «Цифровые двойники» (бакалавриат), и лабораторных работ по дисциплинам «Моделирование биотехнических систем» (бакалавриат), «Программирование и основы алгоритмизации в биотехнических системах» (бакалавриат), и «Моделирование биологических и медицинских систем» (магистратура).

Результаты диссертационной работы внедрены и используются в ООО «Биомедтех» при разработке диагностического оборудования для кардиологических больных в палатах интенсивной терапии. Использование предложенного метода моделирования параметров сердечно-сосудистой системы позволило провести имитацию влияния врожденного порока сердца на гемодинамику организма ребенка в диагностических исследованиях состояния кардиологических больных.

Результаты, полученные в диссертации, внедрены и используются ООО «Медтехника» при разработке и внедрении программного обеспечения систем поддержки принятия врачебных решений при диагностике и терапии кардиологических больных, в частности, созданная математическая модель сердечно-сосудистой системы ребёнка с врождённым дефектом межжелудочковой перегородки, способная рассчитывать изменения гемодинамических параметров в процессе роста и развития ребёнка, а также определять моменты возникновения критических состояний, обеспечила

возможность оптимизации лечебно-диагностического процесса и планирования хирургических операций.

Результаты диссертации внедрены и используются ООО «Доступная диагностика» при оценке состояния кардиологических больных, в частности, выявленные особенности изменения параметров сердечно-сосудистой системы ребенка происходящие в процессе его роста и развития: объём крови, давления и кровотоки, диаметр аорты, диаметр митрального клапана учитываются при применении лечебных воздействий для нормализации функций сердечно-сосудистой системы ребенка.

Полученные результаты и выводы в диссертации могут быть использованы при создании отечественных программно-аппаратных комплексов для диагностики и терапии кардиологических больных с врожденными пороками сердца, в научных организациях и предприятиях фармацевтической отрасли для расчета влияния воздействия лекарственных препаратов на параметры сердечно-сосудистой системы в процессе роста и развития организма, в лечебно-диагностическом процессе ведущих федеральных медицинских центрах: Национальном медицинском исследовательском центре сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева, Национальном медицинском исследовательском центре имени В. А. Алмазова, Национальном медицинском исследовательском центре имени академика Е. Н. Мешалкина и др.

Замечания по работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В главе 1 следовало бы на основе численного сравнения показать недостатки известных моделей сердечно-сосудистой системы с врожденными пороками сердца.
2. В главе 4 недостаточно подробно описан алгоритм персонализации математической модели гемодинамики с врожденным пороком сердца для конкретного пациента.
3. В главе 3 при описании графиков изменения параметров сердечно-сосудистой системы от возраста следовало бы более точно показать их значимость для моделирования гемодинамики.
4. В главе 4 отмечено, что цифровой двойник реализуется в программной среде MATLAB. Однако для реализации подобных биотехнических систем целесообразно было бы обосновать практическое применение более эффективного программного обеспечения

Следует отметить, что сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Судакова Дмитрия Евгеньевича является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 в ред. Постановления Правительства РФ от 20.03.2020 №426), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

В диссертационной работе решена важная для развития отрасли задача, заключающаяся в разработке системы оценки сердечно-сосудистой системы с врожденным пороком сердца и прогнозирования изменения ее параметров от возраста, а реализации на ее основе задачи определения точного момента возникновения критического состояния больного и имеющей существенное значение для создания медицинских программно-аппаратных комплексов.

Диссертация написана Судаковым Д.Е. самостоятельно и представляет законченное исследование, содержащее значимые научные результаты и положения.

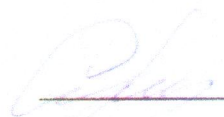
Автореферат в полной мере отражает основные научные и практические результаты диссертации.

По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, из которых 4 статей – в журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ, 2

Таким образом, представленная диссертационная работа полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», и паспорту специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения, а её автор, Судаков Дмитрий Евгеньевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по данной специальности.

Отзыв на диссертационную работу Судакова Д.Е. заслушан и одобрен на заседании кафедры биомедицинской инженерии, протокол №9 от 25 апреля 2025 г.

Заведующий кафедрой
биомедицинской инженерии,
доктор медицинских наук,
профессор

 Серегин Станислав Петрович

Контакты ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»,
305040, г. Курск, 50 лет Октября ул., д. 94.

Контактный телефон: (4712) 50-48-00

Адрес электронной почты: rector@swsu.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.swsu.ru/>

С отзывом ознакомлен 26 мая 2025

