

«УТВЕРЖДАЮ»:

Проректор по научной работе и
инновационной деятельности

ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный университет»
доктор экономических наук, профессор

С. М. Васин

2025 года



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет» на диссертационную работу Савиновой Кристины Сергеевны на тему «Разработка эффективных методов и средств создания для новорожденного подходящих условий окружающей среды в неонатальном инкубаторе», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Актуальность темы исследования

Проблема выхаживания недоношенных и маловесных новорожденных, которых помещают в неонатальный инкубатор, остается актуальной для системы здравоохранения как в мировом масштабе, так и в Российской Федерации, где ежегодно фиксируется порядка 6 – 10% случаев преждевременных родов.

Современные технологии, применяемые в неонатальных инкубаторах, преимущественно основаны на линейных системах управления, которые демонстрируют недостаточно высокий уровень качества регулирования и стабильности поддерживаемых параметров микроклимата, таких как температура, влажность, концентрация кислорода и уровень освещенности. Недостаточная адаптация этих параметров к индивидуальным особенностям каждого новорожденного существенно снижает эффективность лечебно-реабилитационных мероприятий и повышает риск осложнений. Поэтому актуальной задачей является разработка перспективной высокоточной адаптивной системы управления, которая позволит повысить качество и точность поддержания параметров микроклимата в неонатальном инкубаторе. Кроме этого, важной задачей при выхаживании недоношенных детей является соблюдение циркадных ритмов новорожденных, что, в свою очередь, также требует совершенствования.

Диссертационное исследование Савиновой К.С., направленное на повышение точности поддержания параметров микроклимата, включая автоматическое регулирование освещенности внутри инкубатора, а также температуры кожи новорожденного в неонатальном инкубаторе за счет разработки авторского алгоритма градиентного нейросетевого управления, обладает высокой практической значимостью и ориентацией на потребности

современной медицины. Актуальность исследования подчеркивается растущим числом преждевременных родов и необходимостью высокотехнологичного подхода к уходу за недоношенными детьми, что ставит перед специалистами здравоохранения новые задачи по обеспечению комфортного и безопасного пребывания ребенка в период ранней реабилитации.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа изложена грамотным научным языком, результаты работы, полученные в ходе имитационных и эксплуатационных исследований, в достаточной степени доказательны и подкреплены наглядными иллюстрациями.

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

Диссертационное исследование состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, библиографического списка и 2 приложений. Диссертационная работа изложена на 195 страницах, содержит 81 рисунок и 20 таблиц. Библиографический список включает 149 наименований публикаций отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, характеризуется степень ее разработанности, определены цель и задачи исследования, а также объект и предмет исследования. Сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведена структура диссертации. Представлены научные положения, выносимые на защиту автором.

В первой главе описаны конструкции и принцип функционирования неонатальных инкубаторов, выявлены ведущие компании-производители. Проведен подробный обзор существующих исследований, направленных на разработку математических моделей тепло- и массопереноса и терморегуляции новорожденного, усовершенствование систем управления микроклиматом в неонатальном инкубаторе в целях повышения качества поддержания заданных значений. Описаны физиологические характеристики недоношенных детей и методики их выхаживания. Подчеркнута актуальность разработки новых перспективных алгоритмов управления для эффективного поддержания требуемых параметров в неонатальном инкубаторе.

Во второй главе описан процесс разработки и монтажа экспериментальной установки с использованием гидродинамического фантома новорожденного для проверки адекватности и эффективности перспективных систем управления, а также приведена структура и взаимодействие ее компонентов. Блоки управления неонатальным инкубатором и управления гидродинамическим фантомом выполнены на основе одноплатного микрокомпьютера, который выдает воздействия на исполнительные устройства в виде ШИМ-сигналов с изменяющимся коэффициентом заполнения, обеспечивающие заданные параметры микроклимата неонатального инкубатора, а также обеспечивает имитацию

процессов терморегуляции, выделения влаги в результате дыхания и процессов испарения с тела ребенка соответственно. Для воспроизведения анатомических особенностей и процессов терморегуляции разработан метод создания полноростового гидродинамического неонатального фантома посредством технологии 3D-печати.

В третьей главе поставлена задача поиска оптимальной структуры и параметров системы управления микроклиматом в неонатальном инкубаторе.

Разработана математическая модель, описывающая взаимодействие между компонентами неонатального инкубатора и новорожденным, а также учитывающая направления тепловых и материальных потоков между ними. На основе математической модели предложен авторский адаптивный метод градиентного нейросетевого управления параметрами микроклимата, реализованный на базе глубокой нейронной сети типа многослойного перцептрона. Блок адаптации алгоритма градиентного нейросетевого управления на каждом шаге корректирует весовые коэффициенты многослойного перцептрона методом обратного распространения ошибки с использованием априорной информации на основе матрицы Якоби. Для управления параметрами гидродинамического фантома новорожденного предложен усовершенствованный метод двухпозиционно-статического регулирования с дополнительным звеном обратной связи.

В четвертой главе сформулирована и решена задача параметрической идентификации математической модели неонатального инкубатора и новорожденного и найден вектор корректируемых параметров модели с целью повышения её адекватности. Экспериментально установлены статические и динамические характеристики, определяющие характер поведения температуры воздушной среды и относительной влажности в инкубаторе. Решена задача структурно-параметрического синтеза нейросетевой системы управления и найден вектор, который определяет архитектуру нейронной сети и параметры алгоритма адаптации на основе разработанной математической модели. Выполнены имитационные исследования по стабилизации температуры воздушного пространства в инкубаторе и по стабилизации температуры кожи новорожденного при различных динамических режимах и возникновении возмущений. Проведены эксплуатационные исследования на экспериментальной установке с гидродинамическим фантомом новорожденного, подтверждающие эффективность и надежность разработанного алгоритма градиентного нейросетевого управления параметрами внутренней среды инкубатора как при стабилизации температуры воздушного пространства в инкубаторе, так и при стабилизации температуры кожи новорожденного.

В заключении приведено описание полученных результатов, свидетельствующие о том, что цель и задачи диссертационной работы выполнены в полном объеме.

В приложении приведены скан-копии: 4 тематических патентов, 4 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, 4 документа о практическом использовании результатов диссертационного исследования.

Научная новизна и практическая значимость диссертационной работы

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения» (п. 3. Приборы, системы и аппаратно-программные комплексы для терапии, реабилитации и восстановления утраченных функций; п. 14. Методы, модели и алгоритмы, включая распознавание образов, для медицинских информационных и интеллектуальных систем, обеспечивающих повышение эффективности медико-биологических исследований и врачебных решений; п. 15. Математическое моделирование медико-биологических процессов и врачебных решений с целью оптимизации лечебно-диагностических процессов). Приведённые автором исследования имеют следующие **новые результаты**:

1. Разработана комплексная математическая модель тепло- и массопереноса в неонатальном инкубаторе, описывающая взаимодействия между компонентами неонатального инкубатора и организмом новорожденного, в целях повышения качества лечебно-диагностических процессов, проведения клинических исследований и усовершенствования алгоритмов управления.
2. Разработана экспериментальная модель неонатального инкубатора нового поколения с изменяемой прозрачностью стенок рабочей камеры, включающая полноростовой гидродинамический неонатальный фантом, имитирующий процессы терморегуляции новорождённого, для исследования эффективности и надежности предложенного алгоритма градиентного нейросетевого управления, а также для прогнозирования и диагностики текущего состояния недоношенного ребенка.
3. Разработан и реализован с использованием одноплатного микрокомпьютера метод градиентного нейросетевого управления параметрами микроклимата в неонатальном инкубаторе на базе многослойного персептрона с корректировкой весовых коэффициентов нейронной сети на основе алгоритма обратного распространения ошибки, обеспечивающий высокую точность и стабильность поддержания основных параметров микроклимата и температуры кожи ребенка в неонатальном инкубаторе в условиях изменения внешних факторов окружающей среды.

Практическая значимость исследования заключается в том, что:

Результаты, полученные в диссертации, внедрены и используются ООО «Медтехника» (г. Тамбов) при оценке, контроле технического состояния и функционирования медицинских изделий, а также при разработке и внедрении оборудования и программного обеспечения для оценки эффективности управления микроклиматом в неонатальных инкубаторах.

ООО «Биомедтех» (г. Тамбов) использует результаты диссертационного исследования при разработке и модернизации узлов в реанимационном оборудовании для недоношенных новорожденных. Применение математической модели тепловых процессов и массопереноса позволило провести имитацию работы управляющих и управляемых элементов в неонатальных инкубаторах для оценки эффективности их внедрения.

ООО «Доступная диагностика» (г. Тамбов) использует на практике результаты диссертационного исследования для оценки состояния пациентов и модернизации диагностического оборудования, в частности математическая модель тепло процессов и массопереноса для оптимизации условий в чистых помещениях, где особенно важно поддержание стабильных температурных и влажностных условий.

Результаты диссертационной работы Савиновой К.С. также используются на кафедре «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «ТГТУ» в процессе обучения бакалавров и магистрантов направления подготовки 12.03.04 и 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» в рамках проведения лабораторных и практических занятий соответственно.

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 разработке экспериментальной установки неонатального инкубатора нового поколения с изменяемой прозрачностью стенок рабочей камеры и полноростового гидродинамического неонатального фантома для оценки эффективности предложенного алгоритма градиентного нейросетевого управления, что позволит повысить точность поддержания параметров микроклимата в неонатальном инкубаторе, и использовать результаты для модернизации его конструкции, улучшения качества медицинского ухода и повышения выживаемости недоношенных новорожденных.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Дальнейшее развитие темы исследования связано с проведением дополнительных экспериментов, направленных на уточнение параметров и структуры нейросетевой системы управления; совершенствованием конструкции и аппаратного обеспечения экспериментальной версии неонатального инкубатора нового поколения с изменяемой прозрачностью стенок рабочей камеры, а также с доработкой полноростового гидродинамического неонатального фантома на основе применения перспективных материалов.

Предложенный алгоритм градиентного нейросетевого управления благодаря своей универсальности и способности адаптироваться к изменяющимся условиям может быть эффективно использован для управления транспортными системами, сложными робототехническими и энергетическими комплексами, а также в областях, связанных с биомедицинской техникой.

Полученные результаты и выводы в диссертации могут быть использованы для расширения функций неонатальных инкубаторов, в том числе для включения в их программное обеспечение систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР), интеллектуальных систем

бесконтактного измерения температуры ребенка, пульса, частоты дыхания, распознавания движений и т.п.

В рамках импортозамещения перспективным вектором развития является организация отечественного производства неонатального инкубатора нового поколения, представленного в диссертационной работе. Примерами отечественных учреждений, потенциально заинтересованных в организации подобного производства и обладающих необходимыми для этого финансовыми и научно-производственными ресурсами, могут служить: АО «Тулиновский приборостроительный завод» (Тамбовская область), ТПК «Dixion» (г. Москва), АО «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова» (г. Екатеринбург), АО «НПЦ Автоматики и приборостроения им. акад. Н.А.Пилюгина» (г. Москва).

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В разделе 1.2 следовало привести сравнение рассмотренных математических моделей тепло- и массопереноса в неонатальных инкубаторах с указанием их ключевых особенностей, достоинств и недостатков.
2. В разделе 2.3 не приведена количественная оценка степени соответствия теплофизических свойств созданного фантома реальному организму новорожденного.
3. В главе 3 в уравнениях математической модели используется большое количество эмпирических коэффициентов, методика определения которых не раскрыта.
4. В главе 4 не приведено количественного сравнения точности предложенного алгоритма градиентного нейросетевого управления с традиционными системами управления на основе разработанной математической модели и на экспериментальной установке.
5. В главе 4 при представлении результатов эксплуатационных исследований не указано, на основании какого количества экспериментов получены значения.

Следует отметить, что приведенные замечания носят уточняющий характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Савиновой Кристины Сергеевны 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 16.10.2024 №1382), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические решения, связанные с разработкой неонатального инкубатора нового поколения с изменяемой прозрачностью стенок рабочей камеры, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертация написана Савиновой К.С. самостоятельно и представляет законченное исследование, содержащее значимые научные результаты и положения.

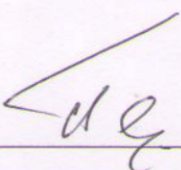
Автореферат в полной мере отражает основные научные и практические результаты диссертации.

По теме диссертации опубликовано 32 печатные работы, из которых 5 статей в научных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертации по специальности 2.2.12; 3 статьи в научных рецензируемых изданиях, входящих в базу данных RSCI; 4 статьи в изданиях, входящих в базы Scopus; 12 статей и тезисов докладов внутривузовских, всероссийских и международных конференций; 4 патента на изобретение; 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

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 ее автор, Савинова Кристина Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по данной специальности.

Отзыв на диссертационную работу Савиновой К.С. заслушан и одобрен на заседании кафедры «Медицинская кибернетика и информатика», протокол № 3 от 15 октября 2025 г.

Заведующий кафедрой
«Медицинская кибернетика
и информатика»,
доктор технических наук,
профессор

 Геращенко Сергей Иванович

Контакты ведущей организации:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный университет»,
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Контактный телефон: +7 (8412) 66-60-01
Адрес электронной почты: rector@pnzgu.ru
Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.pnzgu.ru>

Личную подпись	<i>Геращенко С.И.</i>
ЗАТЕБНО	
Специалист по кадрам	<i>А.Г. Геращенко</i>
« <i>dd</i> »	<i>10</i> 20 <i>25</i>



С отзывом ознакомлена 27.10.2025г.

