Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 615-84, 621-56

ЖИВИЦКИЙ

Илья Александрович

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ И СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО АППАРАТА

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени магистра

по специальности 7-06-0719-01 Инженерная геометрия и компьютерная графика

Минск 2026

Работа выполнена на кафедре инженерной геометрии и компьютерной графики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:	**ДИК Сергей Константинович,** заведующий кафедрой инженерной геометрии и компьютерной графики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат физико-математических наук, доцент
Рецензент:	**ЗЕЛЕНЫЙ Петр Васильевич,** доцент кафедры инженерной геометрии и машинной графики учреждения образования «Белорусский национальный технический университет», кандидат технических наук, доцент

Защита диссертации состоится «24» июня 2026 г. в 17.30 часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220027, Минск, ул. П. Бровки, 4, ауд. 517-2, тел. 293-88-44, E-mail: kafig@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Современные лазерные физиотерапевтические аппараты предъявляют повышенные требования к системам охлаждения в связи с ростом мощности, увеличением длительности рабочих циклов и расширением функционала устройств. Неэффективный отвод тепла приводит к нестабильности параметров излучения, ускоренному износу оптических и электронных компонентов, увеличению частоты технического обслуживания и риску снижения безопасности процедур. В клинической практике это отражается на качестве лечения, доступности оборудования и суммарных эксплуатационных расходах медицинских учреждений. Поэтому разработка компактных, энергоэффективных и надежных решений по охлаждению, адаптированных под специфические режимы работы физиотерапевтических лазеров, имеет важное практическое и научное значение.

Цель исследования: исследование и внедрение новых подходов к охлаждению лазерных физиотерапевтических аппаратов с целью повышения их эксплуатационных характеристик – тепловой устойчивости, энергоэффективности и долговечности при соблюдении требований по габаритам, мобильности и уровню шума.

Задачи исследования: провести анализ существующих конструкций и современных методов охлаждения, выполнить моделирование и анализ тепловых процессов в аппарате для выявления критических точек тепловыделения, разработать и обосновать оптимизированные конструктивные решения системы охлаждения, провести виртуальные испытания, а также сформулировать практические рекомендации по их внедрению в серийное производство и эксплуатацию.

Объектом исследования являются лазерные физиотерапевтические аппараты, применяемые в медицинских учреждениях; предметом – тепловые процессы в этих аппаратах и методы их регулирования, включая конструктивные и системные меры по улучшению теплоотвода (воздушные и жидкостные схемы, термоэлектрические элементы, оптимизация радиаторных решений, управление режимами охлаждения).Повышение надежности и безопасности лазерного оборудования через оптимизацию конструкции и системы охлаждения позволит снизить риск перегрева, обеспечить стабильность оптических параметров и продлить срок службы аппаратов. Это приведёт к уменьшению простоев и затрат на обслуживание, повысит качество медицинской помощи и расширит возможности применения лазерной физиотерапии в условиях стационаров и амбулаторий.

Автор выражает благодарность научному руководителю Дику С.К., кандидату физико-математических наук, доценту, за квалифицированную помощь и консультации во время подготовки магистерской диссертации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследования – разработка методики оптимизации конструкции и системы охлаждения лазерного физиотерапевтического аппарата, направленной на повышение его эксплуатационной эффективности и безопасности за счёт улучшения тепловых режимов работы основных компонентов.

Объект исследования – современные лазерные физиотерапевтические аппараты, используемые в медицинских учреждениях для проведения терапевтических процедур.

Предмет исследования – конструктивные особенности и система охлаждения лазерного физиотерапевтического аппарата, тепловые процессы, возникающие при его работе, а также методы и средства их регулирования.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

— проведён развёрнутый анализ существующих конструкций и современных методов охлаждения лазерных физиотерапевтических аппаратов на основе отечественных и зарубежных источников;

— выполнены моделирование и детальный анализ тепловых процессов в аппарате с выявлением критических точек тепловыделения и оценкой их влияния на надёжность;

— разработаны и обоснованы оптимизированные конструктивные решения системы охлаждения с учётом габаритных и массовых ограничений;

— проведены виртуальные испытания (компьютерное моделирование) предложенных решений в среде SolidWorks Flow Simulation;

— сформулированы практические рекомендации по внедрению разработанной конструкции в серийное производство и эксплуатацию.

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики.

Диссертационное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и техники Республики Беларусь «Медицина и фармация», а также соответствует «Стратегии развития здравоохранения Республики Беларусь до 2030 года» в части импортозамещения медицинской техники и создания отечественных портативных лазерных терапевтических аппаратов. Разработанные методы оптимизации конструкции и системы охлаждения направлены на повышение надёжности, безопасности и эффективности лазерных физиотерапевтических аппаратов, что в полной мере отвечает актуальным запросам реального сектора экономики (медицинских учреждений и отечественных производителей медицинской техники), а также способствует снижению зависимости от импортных аналогов.

Степень разработанности проблемы.

Вопросы теплового проектирования радиоэлектронной аппаратуры и систем охлаждения полупроводниковых лазеров рассматривались в работах белорусских и зарубежных учёных. Однако комплексных исследований, посвящённых оптимизации систем охлаждения именно портативных медицинских лазерных аппаратов с ограничениями по массе (менее 1 кг) и габаритам (до 180×100×100 мм), с учётом специфики медицинского применения (длительные непрерывные циклы, требования бесшумности и электробезопасности), выполнено недостаточно. Настоящая работа восполняет этот пробел.

Теоретическая и методологическая основа исследования.

В основу диссертации легли методы теплопередачи, численные методы моделирования гидродинамики и теплообмена (CFD), а также методы параметрической и многокритериальной оптимизации. Информационную базу составили литературные источники, технические нормативные правовые акты, данные из электронных ресурсов, материалы научных конференций и семинаров.

Научная новизна результатов заключается в следующем:

— разработана комплексная методика оптимизации системы охлаждения для портативных лазерных физиотерапевтических аппаратов, учитывающая взаимосвязь геометрических параметров радиаторов, режима обдува и тепловых характеристик компонентов;

— выявлены и количественно оценены закономерности влияния числа ребер, материала и схемы организации воздушного потока на температуру критических элементов (лазерного диода и силового транзистора) при жёстких массогабаритных ограничениях;

— экспериментально (на основе численного моделирования) обоснована нецелесообразность применения высокотеплопроводных материалов (меди и нитрида тантала) в условиях принудительной конвекции для маломощных устройств и доказана эффективность параметрической оптимизации геометрии алюминиевого радиатора.

Практическая значимость работы заключается в создании работоспособного прототипа аппарата фоторегуляторной терапии с оптимизированной системой охлаждения, обеспечивающей непрерывную работу в течение 30 минут при температуре лазерного диода не выше 49,2 °C (в расчёте) и массе радиаторов 125 г. Разработанные методы могут быть масштабированы на другие портативные лазерные и светодиодные медицинские устройства с тепловыделением до 10–15 Вт.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика структурной, параметрической и многокритериальной оптимизации системы охлаждения портативного лазерного физиотерапевтического аппарата, основанная на численном моделировании тепловых процессов.

2. Экспериментально подтверждённая зависимость эффективности охлаждения от числа рёбер алюминиевого радиатора при принудительном обдуве, позволяющая снизить температуру лазерного диода с 52,4 °C до 49,2 °C при незначительном увеличении массы.

3. Обоснование предпочтительности режима вдува вентилятора по сравнению с выдувом для длительных непрерывных режимов работы.

4. Конструктивное решение корпуса с раздельными радиаторами и вентилятором 30×30×10 мм, обеспечивающее массу аппарата менее 1 кг и соответствие требованиям СТБ IEC 60825-1-2017.

Апробация диссертации.

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и собраниях: 60-я научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР (Минск, 2024); 61-я научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР (Минск, 2025); 62-я научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР (Минск, 2026).

Публикации.

По теме диссертации опубликованы 3 работы, в том числе 1 статья в сборнике научных трудов БГУИР и 2 тезиса докладов в материалах конференций.

Структура и объём диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и 6 приложений. Общий объем диссертации составляет 94 страницы включая 33 иллюстрации, 19 таблиц, библиографический список из 30 наименований, список собственных публикаций соискателя из 3 наименований и 6 приложений

Проверка на плагиат.

Проведена экспертиза диссертации Живицкого Ильи Александровича «Методика оптимизации конструкции и системы охлаждения лазерного физиотерапевтического аппарата» на корректность использования

заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: https://antiplagiat.ru) в on-line режиме 21.06.2026 г. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность диссертационной работы составляет 96 %).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет, показана научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе «Обзор литературы» проведён детальный анализ существующих конструкций и методов охлаждения лазерных физиотерапевтических аппаратов. Рассмотрены физические основы теплопередачи (теплопроводность, конвекция, излучение), классификация систем охлаждения (воздушные, жидкостные, термоэлектрические, пассивные). Проанализированы преимущества и недостатки каждого типа систем, их применимость в медицинском оборудовании. Особое внимание уделено современным материалам и термоинтерфейсам (термопасты, фазопереходные материалы, жидкий металл), а также интеллектуальным системам управления тепловыми режимами. На основе обзора выделены перспективные направления развития и сформулированы требования к проектируемой системе охлаждения. В разделе также рассмотрены примеры успешных внедрений оптимизированных систем охлаждения в серийных аппаратах (HA HairRemovel EPILITE PRO, DermaCool, «Диолаз-940-6»), что позволило выявить эффективные конструктивные решения и обосновать выбор гибридного подхода (воздушное охлаждение + термоэлектрическая стабилизация) для устройств средней мощности.

Во второй главе «Методы исследования» обоснован выбор программного обеспечения для численного моделирования. Проведён сравнительный анализ CFD-пакетов (ANSYS Icepak, SolidWorks Flow Simulation, АСОНИКА-Т, COMSOL Multiphysics) и выбран SolidWorks Flow Simulation как наиболее подходящий по критериям интеграции с CAD-моделированием, достаточной точности и умеренных требований к ресурсам.

Далее представлена методика моделирования тепловых процессов. В качестве источника тепла использовалась кремниевая пластина мощностью 100 Вт с габаритами 30×30 мм. Исследовано 10 различных конфигураций радиаторов (прямореберные с различным числом и толщиной ребер, волнистые, зигзагообразные, игольчатые, радиальные, с тепловыми трубками) при активном и пассивном охлаждении. Моделирование проводилось в программе SolidWorks

Flow Simulation с использованием вентилятора Noctua NF-A12x25 (120 мм, 2000 об/мин) для создания принудительного потока.

По результатам моделирования наиболее эффективным по минимальной установившейся температуре в активном режиме оказался радиатор с тепловыми трубками (№10) – 51,59 °C, однако его масса составила 1834 г. Вторым по эффективности стал пряможеберный радиатор с 50 тонкими ребрами (№3) – 55,39 °C при массе 2042 г. Для пассивного охлаждения игольчатый радиатор (№7) показал более быстрый выход на режим (926 с) по сравнению с радиатором с тепловыми трубками (4566 с), но его установившаяся температура была выше (181,2 °C против 174,5 °C). Исследование влияния материала (алюминий, медь, нитрид тантала θ-TaN) показало, что разница в установившейся температуре не превышает 0,2 °C, что объясняется лимитирующей ролью конвективной теплоотдачи. Введение элемента Пельтье позволило снизить температуру нагревателя с 51,69 °C до 35,8 °C, но ценой трёхкратного роста энергопотребления и общего тепловыделения. На основе анализа данных сделан вывод о необходимости учёта реального термического сопротивления термоинтерфейса (рост температуры на 3–5 °C для качественной термопасты).

В третьей главе «Разработка и оптимизация конструкции аппарата» представлено проектирование корпуса и системы охлаждения для аппарата фоторегуляторной терапии. В качестве основы использовано устройство с полностью разработанной электрической частью (плата управления, плата драйвера лазера, лазерный диод M9-A64-1000-150 мощностью 1 Вт, λ=1064 нм, шесть синих светодиодов GNL-3004URC). Проведён анализ тепловыделяющих компонентов: лазерный диод рассеивает 1,8–2,2 Вт, силовой транзистор VT3 (2SC6144SG) – 2,0–2,25 Вт, светодиоды – суммарно до 0,3 Вт. Итоговая тепловая мощность, подлежащая отводу, составляет около 5 Вт.

Разработан разборный пластиковый корпус форм-фактора «телефонного» типа для удержания одной рукой, с вентиляционными отверстиями. Для отвода тепла от лазерного диода и транзистора выбраны раздельные алюминиевые радиаторы (для предотвращения нежелательного теплообмена). Проведено тестирование теплового режима в SolidWorks Flow Simulation в наихудших условиях: температура окружающей среды 27 °C, непрерывный режим максимальной мощности, длительность 30 минут. Пассивное охлаждение показало неудовлетворительные результаты (лазерный диод – 88,12 °C, транзистор – 141,7 °C). Введение миниатюрного вентилятора 30×30×10 мм (5000 об/мин) позволило снизить температуры практически вдвое. Сравнение режимов обдува показало преимущество вдува (лазер – 52,43 °C, транзистор – 92,94 °C) перед выдувом (лазер – 52,80 °C, транзистор – 97,44 °C). Дальнейшая оптимизация геометрии радиатора лазерного диода (увеличение числа рёбер на 5) позволила снизить температуру до 49,20 °C при незначительном росте массы

радиаторов (111 → 125 г). Замена материала на медь или θ-TaN дала снижение менее чем на 1 °C при трёхкратном увеличении массы, что признано нецелесообразным.

На рисунке 1 представлен разработанный корпус аппарата с размещёнными компонентами для тестирования.

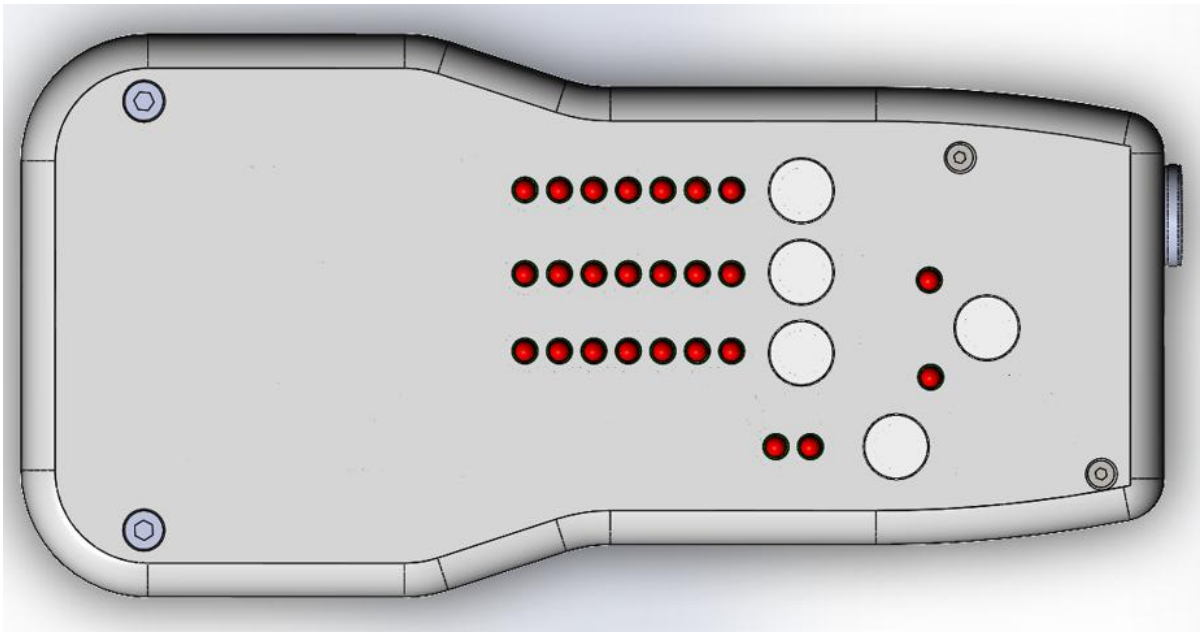


Рисунок 1 – Трёхмерная модель корпуса аппарата с компонентами для тестирования

Корпус выполнен из пластика методом 3D-печати, предусмотрены отверстия для кнопок управления, светодиодной индикации, разъёма питания, механического ключа безопасности и вентиляционных каналов.

В четвёртой главе «Экспериментальные исследования» проведены дополнительные эксперименты по оценке эффективности оптимизированной конструкции. Подтверждено, что алюминиевый радиатор с увеличенным числом рёбер и вентилятором на вдув обеспечивает температуру лазерного диода 49,2 °C, что находится в безопасной зоне (ниже 52 °C). Проведён сравнительный анализ с существующим аналогом – аппаратом «Снаг-Сэнс-К» (ПК «Люзар», Беларусь). Разработанный аппарат имеет преимущества: использование длины волны 1064 нм, наличие механического ключа безопасности по СТБ IEC 60825-1-2017, эргономичный корпус. Проведена оценка надёжности и безопасности: аппарат относится к классу лазерной опасности 4 (компенсируется механическим ключом и конструкцией корпуса), расчётная наработка на отказ составляет 135 000 часов (≈ 65 лет при 8-часовой рабочей неделе), все компоненты работают в допустимых температурных режимах с запасом.

Конструкция соответствует требованиям СТБ IEC 60825-1-2017 и ГОСТ 30324.0-95 (класс II, тип B).

В пятой главе «Результаты и обсуждение методов оптимизации» обобщены данные оптимизации. Применённые методы (структурная, параметрическая, многокритериальная оптимизация, анализ чувствительности) позволили выявить Парето-фронт оптимальных решений. Доказано, что для активных систем с принудительной конвекцией ключевым параметром является площадь конвективной поверхности (число рёбер), а не материал радиатора; режим вдува предпочтительнее выдува; применение высокотеплопроводных материалов нецелесообразно из-за малого прироста эффективности при существенном увеличении массы и стоимости. Сформулирован принцип разумной достаточности: улучшение параметра за пределы требуемого неоправданно. Предложен алгоритм оптимизации для портативных медицинских устройств с тепловыделением до 10–15 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации решена актуальная научно-техническая задача – разработаны и экспериментально обоснованы методы оптимизации конструкции и системы охлаждения портативного лазерного физиотерапевтического аппарата для фоторегуляторной терапии. В качестве базового использовано устройство с полностью готовой электрической частью: плата управления, плата драйвера, лазерный диод мощностью 1 Вт на длине волны 1064 нм, шесть синих светодиодов. Проведён анализ тепловыделяющих компонентов; установлено, что суммарная тепловая мощность, подлежащая отводу, составляет 5 Вт.

Основным результатом работы является разработанная универсальная методика оптимизации конструкции и системы охлаждения, включающая восемь последовательных этапов: проверка возможности пассивного охлаждения; структурная оптимизация (выбор типа радиатора); параметрическая оптимизация (варьирование числа, толщины и шага рёбер); оценка влияния материала радиатора; выбор термоинтерфейса; оценка необходимости тепловых трубок; оценка необходимости элемента Пельтье (только для активного пути); многокритериальное сравнение с применением принципа разумной достаточности.

Применение разработанной методики позволило получить следующие результаты, соответствующие её этапам:

1. Проверка пассивного охлаждения показала несостоятельность этого подхода для разрабатываемого аппарата – температура лазерного диода

достигала 88 °C, транзистора – 142 °C, что не обеспечивает безопасный тепловой режим. Переход к активному охлаждению признан обязательным.

2. Структурная оптимизация позволила обоснованно выбрать пряmореберный радиатор с вертикальной ориентацией рёбер и частым шагом как наиболее эффективный для активного обдува. Игольчатые и волнистые конструкции уступают из-за роста аэродинамического сопротивления и образования зон застоя воздуха. Для пассивного режима предпочтительным оказался игольчатый радиатор, обеспечивающий быстрый выход на режим.

3. Параметрическая оптимизация дала наибольший прирост эффективности: увеличение числа рёбер с 6 до 12 снизило температуру лазерного диода с 52,4 °C до 49,2 °C (на 6,1%) при росте массы радиаторов с 111 до 125 г (на 12,6%). Утолщение рёбер, напротив, практически не улучшает теплоотвод, но значительно увеличивает массу. Ключевым параметром является площадь конвективной поверхности.

4. Оценка влияния материала показала, что алюминий является оптимальным по соотношению теплопроводности, массы и стоимости. Замена на медь или нитрид тантала даёт снижение температуры менее чем на 1 °C, но увеличивает массу радиаторов в три раза и существенно повышает стоимость – признано нецелесообразным.

5. Выбор термоинтерфейса показал, что для алюминиевых радиаторов предпочтительной является термопаста с фазовым переходом, обеспечивающая низкое термическое сопротивление (0,07–0,20 К·см²/Вт) при химической безопасности и долговечности. Жидкий металл, несмотря на максимальную теплопроводность, неприменим из-за коррозионной активности к алюминию и электропроводности.

6. Оценка необходимости тепловых трубок показала их нецелесообразность для данного класса устройств – радиатор с тепловыми трубками даёт минимальную температуру, но его масса (1834 г) неприемлема для портативного аппарата.

7. Оценка необходимости элемента Пельтье показала нецелесообразность его применения – локальный выигрыш в температуре (снижение на 15,9 °C) достигается ценой трёхкратного роста энергопотребления и общего тепловыделения, что создаёт риск перегрева других компонентов.

8. Многокритериальное сравнение с применением принципа разумной достаточности позволило выбрать окончательную конфигурацию: алюминиевый радиатор с увеличенным числом рёбер, вентилятор на вдув и термопаста с фазовым переходом. В реальном устройстве с учётом термического сопротивления термоинтерфейса температура лазерного диода не превысит 52 °C, что находится в безопасном диапазоне (рекомендуемая максимальная температура для долговременной надёжности – 52 °C). Масса радиаторов

составляет 125 г, общая масса аппарата – менее 1 кг. Обеспечена непрерывная работа в течение 30 минут на максимальной мощности.

Разработан пластиковый корпус, напечатанный на 3D-принтере, с вентиляционными отверстиями, обеспечивающий удобство удержания одной рукой и доступ для обслуживания. Проведена оценка надёжности и безопасности: аппарат относится к классу лазерной опасности 4, требования выполнены согласно СТБ IEC 60825-1-2017, расчётная наработка на отказ составляет 135 000 часов. Реальный назначенный срок службы, ограниченный ресурсом вентилятора (40–60 тыс. часов) и лазерного диода (10–15 тыс. часов непрерывной работы), определён в 5 лет при соблюдении регламента технического обслуживания и замены вентилятора по истечении его ресурса. Конструкция соответствует требованиям ГОСТ 30324.0-95 (класс II, тип B).

Представленные в работе результаты позволяют проектировать системы охлаждения для лазерных медицинских, используя предложенный алгоритм оптимизации.

Разработанная методика универсальна и масштабируема на другие лазерные и светодиодные медицинские устройства, а также на любые радиоэлектронные системы. Практическая значимость работы подтверждена созданием работоспособного прототипа. Все поставленные задачи выполнены, аппарат рекомендуется к опытно-промышленному производству и дальнейшим клиническим испытаниям.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи сборниках научных трудов

1. Живицкий, И.А. Применение инновационных материалов и термоинтерфейсов в системах охлаждения медицинского оборудования / И.А. Живицкий, С.К. Дик // Сборник научных трудов БГУИР. – 2025. – № 4. – С. 45–52.

Электронные ресурсы

2. Живицкий, И.А. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной медицинской, промышленной и бытовой техники [Электронный ресурс] / И.А. Живицкий. – Режим доступа: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/58993/1/ZHivickij_Sovremennye.pdf . – Дата доступа: 20.03.2026.

Тезисы конференций

3. Живицкий, И.А. Классификация и инновационные решения в воздушном охлаждении высокомощных электронных компонентов / И.А. Живицкий, С.К. Дик // Материалы 62-й научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР. – Минск, 2026. (в печати).

РЭЗЮМЭ

Жывіцкі Ілья Аляксандравіч

Методыка аптымізацыі канструкцыі і сістэмы ахаладжэння лазернага фізіятэрапеўтычнага апарата

Ключавыя словы: лазерны фізіятэрапеўтычны апарат, сістэма ахаладжэння, радыятар, аптымізацыя, тэмпература, мадэляванне, SolidWorks Flow Simulation.

Мэта работы – распрацоўка методыкі аптымізацыі канструкцыі і сістэмы ахаладжэння лазернага фізіятэрапеўтычнага апарата, накіраванай на павышэнне яго эксплуатацыйнай эфектыўнасці і бяспекі.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана комплексная методыка аптымізацыі сістэмы ахаладжэння для партатыўных лазерных фізіятэрапеўтычных апаратаў; колькасна ацэнены заканамернасці ўплыву колькасці рэбраў, матэрыялу і схемы абдзімання на тэмпературу крытычных элементаў; эксперыментальна абгрунтавана недацэльнасць прымянення высокацеплаправодных матэрыялаў у параўнанні з аптымізацыяй геаметрыі алюмініевага радыятара.

Вобласць прымянення: медыцынская тэхніка, прыборабудаванне, сістэмы ахаладжэння электронных сродкаў.

РЕЗЮМЕ

Живицкий Илья Александрович

Методика оптимизации конструкции и системы охлаждения лазерного физиотерапевтического аппарата

Ключевые слова: лазерный физиотерапевтический аппарат, система охлаждения, радиатор, оптимизация, температура, моделирование, SolidWorks Flow Simulation.

Цель работы – разработка методики оптимизации конструкции и системы охлаждения лазерного физиотерапевтического аппарата, направленной на повышение его эксплуатационной эффективности и безопасности.

Полученные результаты и их новизна: разработана комплексная методика оптимизации системы охлаждения для портативных лазерных физиотерапевтических аппаратов; количественно оценены закономерности влияния числа ребер, материала и схемы обдува на температуру критических элементов; экспериментально обоснована нецелесообразность применения высокотеплопроводных материалов по сравнению с оптимизацией геометрии алюминиевого радиатора.

Область применения: медицинская техника, приборостроение, системы охлаждения электронных средств.

SUMMARY

Zhivitski Ilya Aleksandrovich

Methods for optimizing the design and cooling system of a laser physiotherapeutic device

Keywords: laser physiotherapeutic device, cooling system, heat sink, optimization, temperature, simulation, SolidWorks Flow Simulation.

Objective: to develop a methodology for optimizing the design and cooling system of a portable laser physiotherapeutic device aimed at improving its operational efficiency and safety.

Results and novelty: a comprehensive optimization methodology for cooling systems of portable laser physiotherapeutic devices has been developed; quantitative patterns of the influence of fin number, material, and airflow scheme on the temperature of critical components have been assessed; the inexpediency of using high-thermal-conductivity materials compared to optimizing the geometry of an aluminum heat sink has been experimentally substantiated.

Application area: medical equipment, instrumentation, cooling systems for electronic devices.