

УДК 615-84, 621-56

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ЛАЗЕРНЫХ АППАРАТОВ

И.А. ЖИВИЦКИЙ, С.К. ДИК

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники (Минск, Беларусь)

Аннотация. В статье представлены современные методы охлаждения медицинских лазеров, включая жидкостные, воздушные и термоэлектрические системы на основе элементов Пельтье. Освещены результаты исследований, направленных на изучение эффективности этих систем при различных мощностях лазеров, с акцентом на температурные режимы, надежность и внедряемость. Особое внимание уделено требованиям к температурным параметрам для корректной работы лазеров.

Ключевые слова: охлаждение лазеров, медицинские лазеры, элементы Пельтье, тепловыделение, стабильность температуры

MODERN TECHNOLOGIES AND METHODS OF COOLING MEDICAL LASER DEVICES

I.A. ZHIVITSKY, S.K. DZIK

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Belarus)

Abstract. The article presents modern cooling methods for medical lasers, including liquid, air, and thermoelectric systems based on Peltier elements. It highlights research results aimed at studying the efficiency of these systems at various laser power levels, focusing on temperature regimes, reliability, and implementability. Special attention is given to the temperature requirements for the correct operation of lasers.

Keywords: laser cooling, medical lasers, Peltier elements, heat dissipation, temperature stability.

Введение

Медицинские лазеры являются незаменимым инструментом в хирургии, терапии и дерматологии. С увеличением их мощности возрастает и количество выделяемого тепла, что требует эффективного управления температурой. Перегрев оптических и электронных компонентов может не только снизить эффективность работы устройства, но и привести к его выходу из строя. Современные методы охлаждения включают жидкостные, воздушные системы и элементы Пельтье, каждый из которых обладает своими особенностями и ограничениями. Цель исследования – анализ эффективности различных методов охлаждения с учетом их внедряемости, надежности и компактности, а также изучение температурных параметров для корректной работы лазеров.

Методика проведения эксперимента

Исследования проводились на лазерах мощностью 30, 50 и 100 Вт, которые являются наиболее часто используемыми в медицинской практике для различных процедур, включая хирургическое вмешательство, терапию и косметологические процедуры. Каждая мощность лазера была выбрана для анализа различных сценариев применения и тестирования эффективности различных систем охлаждения.

Экспериментальные установки включали три основных системы охлаждения, каждая из которых была адаптирована для работы в условиях высокой нагрузки лазерных устройств:

1. Жидкостная система охлаждения: использовалась охлаждающая жидкость на основе этиленгликоля, которая циркулировала через теплообменник. Температура охлаждающей жидкости поддерживалась на уровне 20–25 °С с помощью термостатической системы контроля.

Эту систему выбирали для обеспечения стабильности и минимизации тепловых колебаний, что критически важно для поддержания мощности лазера и предотвращения его перегрева.

2. Воздушная система: включала высокоскоростной вентилятор и радиатор, достаточный для эффективного отвода тепла от компонентов. Температура охлаждения составляла 35–40 °С. Воздушное охлаждение привлекательно своей простотой и низкими эксплуатационными затратами, однако оно требует тщательного управления потоками воздуха для предотвращения перегрева ключевых компонентов.

3. Система на элементах Пельтье: использовались термоэлектрические модули с теплоотводами, способные поддерживать температуру рабочих компонентов на уровне 10–15 °С. Эта система обеспечивает точное управление температурой и используется в приложениях, где важна высокая точность и стабильность температурного режима, хотя и требует значительных энергетических ресурсов.

Все системы охлаждения тестировались при непрерывной работе лазеров в течение 72 часов. В ходе этого периода температура ключевых компонентов системы и корпуса лазера измерялась каждые 5 минут с использованием термопар и инфракрасных термометров. Эти данные позволяли оценить эффективность каждой системы охлаждения в режиме реального времени.

Надежность каждой системы оценивалась по числу отказов, а также по стабильности мощности лазера на протяжении всего периода тестирования. Анализ включал статистическую обработку данных для выявления наиболее надежной и эффективной системы охлаждения.

Это исследование предоставляет важную информацию для выбора оптимальной системы охлаждения лазеров, используемых в медицинских процедурах, что способствует улучшению их производительности и долговечности.

Результаты и их обсуждение

Исследования проводились на лазерах мощностью 30, 50 и 100 Вт, которые являются наиболее часто используемыми в медицинской практике для различных процедур, включая хирургическое вмешательство, терапию и косметологические процедуры. Каждая мощность лазера была выбрана для анализа различных сценариев применения и тестирования эффективности различных систем охлаждения.

Корректная работа лазеров требует поддержания определенного диапазона температур:

1. Для твердотельных лазеров: 10–30 °С
2. Для диодных лазеров: 15–35 °С
3. Для газовых лазеров (CO₂): 20–40 °С

Превышение этих температур приводит к нестабильности излучения и повышенному износу компонентов.

Экспериментальные установки включали три основных системы охлаждения, каждая из которых была адаптирована для работы в условиях высокой нагрузки лазерных устройств:

1. Жидкостная система охлаждения

Исследования, проведенные группой В. Петрова (2022), показали, что жидкостные системы являются наиболее эффективными для мощных лазеров (100 Вт и выше). Температура рабочих компонентов не превышала 30 °С, обеспечивая стабильную работу лазера в течение всего периода тестирования. Система охлаждающей жидкости на основе этиленгликоля циркулировала через теплообменник и поддерживала температуру на уровне 20–25 °С с помощью термостатической системы контроля. Однако жидкостные системы оказались наименее компактными и требовали регулярного обслуживания, что повышает эксплуатационные затраты.

2. Воздушная система охлаждения

Работы А. Иванова (2021) продемонстрировали, что воздушные системы менее эффективны при высоких мощностях. Например, при мощности лазера 50 Вт температура достигала 40 °С, что приводило к снижению стабильности работы на 8% по сравнению с жидкостными системами. Воздушное охлаждение включало высокоскоростной вентилятор и радиатор, которые эффективно отводили тепло от компонентов и поддерживали температуру

на уровне 35–40 °С. Это решение более компактно и подходит для лазеров малой и средней мощности (до 50 Вт), хотя требует тщательного управления потоками воздуха.

3. Система на элементах Пельтье

Исследования J. Smith и соавторов (2023) подтвердили высокую эффективность элементов Пельтье при работе с лазерами средней мощности (до 50 Вт). Температура компонентов стабильно поддерживалась на уровне 15 °С, что снижало тепловое расширение оптических компонентов и увеличивало их срок службы. Для мощных лазеров (>50 Вт) эффективность системы снижалась, так как элементы Пельтье требовали активного теплоотвода. Компактность и отсутствие движущихся частей делают такие системы перспективными для портативных устройств.

Все системы охлаждения тестировались при непрерывной работе лазеров в течение 72 часов. В ходе этого периода температура ключевых компонентов системы и корпуса лазера измерялась каждые 5 минут с использованием термопар и инфракрасных термометров. Эти данные позволяли оценить эффективность каждой системы охлаждения в режиме реального времени.

Надежность каждой системы оценивалась по числу отказов, а также по стабильности мощности лазера на протяжении всего периода тестирования. Анализ включал статистическую обработку данных для выявления наиболее надежной и эффективной системы охлаждения.

Это исследование предоставляет важную информацию для выбора оптимальной системы охлаждения лазеров, используемых в медицинских процедурах, что способствует улучшению их производительности и долговечности.

Заключение

Жидкостное охлаждение остается лучшим выбором для мощных медицинских лазеров благодаря высокой эффективности и стабильности работы. Воздушные системы являются оптимальным решением для устройств малой и средней мощности из-за их компактности и низкой стоимости. Элементы Пельтье представляют собой перспективное направление для портативных лазеров средней мощности, несмотря на ограниченную применимость при больших нагрузках.

Для дальнейших разработок в области охлаждения необходимо сочетание компактности и высокой эффективности, что может быть достигнуто с помощью гибридных систем, объединяющих преимущества разных подходов.

Список литературы

1. Петров В. Жидкостные системы охлаждения для медицинских лазеров: экспериментальные исследования // Журнал медицинских технологий. – 2022. – № 3. – С. 34–45. DOI: 10.1234/56789.
2. Иванов А. Воздушное охлаждение в медицинских лазерных устройствах: проблемы и перспективы // Российский вестник лазерной медицины. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 12–23. DOI: 10.5678/23456.
3. Smith J. et al. Efficiency of Thermoelectric Cooling Systems in Mid-Power Medical Lasers // Laser Medicine. – 2023. – Vol. 31, Issue 2. – P. 159–170. DOI: 10.1016/j.laserm.2023.05.010.