

ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет"

На правах рукописи



Абдулхакимов Умар Ильманович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ
КОСМЕТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР

Специальность 2.4.8

Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., доцент Евдулов О.В.

Махачкала 2023

Содержание

Введение	4
1. Методики и технические средства для проведения тепловых косметологических процедур.....	12
1.1 Разновидности терапевтических косметологических процедур	12
1.2 Методики и средства теплового воздействия в косметологии.....	17
1.3 Перспективы использования термоэлектрических преобразователей энергии в медицине и косметологии	35
1.4 Постановка задач исследования	50
2. Математическая модель охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур	52
2.1 Постановка математической задачи исследования охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур	52
2.2 Методика численного расчета температурного поля поверхности тела человека при контрастном тепловом воздействии термоэлектрической системой для тепловых косметологических процедур	56
2.3 Результаты численного эксперимента по расчету температурного поля поверхности тела человека при контрастном тепловом воздействии охлаждающей термоэлектрической системой для тепловых косметологических процедур.....	64
2.4 Методика расчета термоэлектрического модуля в охлаждающей термоэлектрической системой для тепловых косметологических процедур	77
3. Экспериментальные исследования охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур	89

3.1 Описание экспериментального стенда и методики проведения натуральных испытаний	89
3.2 Результаты экспериментальных исследований.....	93
3.3 Оценка погрешности измерений.....	104
4. Разработка термоэлектрических устройств для тепловых косметологических процедур.....	106
4.1 Термоэлектрические устройства для местного контрастного теплового воздействия	106
4.2 Термоэлектрические устройства для проведения тепловых косметологических процедур на лице.....	112
Заключение.....	116
Список литературы	118
Приложение.....	130

Введение

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день в медицинской и косметологической практике все большее распространение получают методы, связанные с локальным нагревом и охлаждением отдельных областей человеческого организма (термо- и криотерапия) [2-4, 15, 28, 43, 74, 103]. Их активное использование напрямую связано с возможностью влияния на состояние энергетического баланса организма. При тепловом воздействии происходит расширение кровеносных и лимфатических сосудов, что улучшает кровообращение и движение лимфы во многих внутренних органах человека. Это способствует активизации обмена веществ и качественному насыщению организма кислородом и питательными веществами. Локальный нагрев стимулирует окисление жира, очищает организм, выводя через пот вредные токсины и другие продукты жизнедеятельности [24, 61]. Локальное охлаждение обладает омолаживающим эффектом, разглаживает морщины, устраняет распространение угревой сыпи и акне, целлюлитные отложения, сглаживает рубцы, удаляет кожистые образования, папилломы и доброкачественные опухоли [4, 5, 17, 73]. Охлаждающие маски снимают отечность лица, моделируют его форму, разглаживают морщины и улучшают цвет. Умеренная гипотермия дает положительный эффект при лечении алопеции. Контрастный тепловой массаж применяется для укрепления корней волос, эффективно лечит себорею.

Применение теплового воздействия на тело в целом или его частей постоянно совершенствуется, дифференцируется и в настоящее время представляет собой ряд апробированных методик, каждая из которых имеет свои показания. Использование теплового воздействия в медицине и терапевтической косметологии в настоящее время осуществляется в двух основных направлениях. Первое состоит в нагреве и охлаждении всего организма в целом, второе - локальном тепловом воздействии на его

отдельные зоны, в том числе имеющие паталогические отклонения. При этом для первого варианта применяются мощные тепловые и холодильные машины, работающие на парокompрессионном и абсорбционном принципе, криосауны и криобассейны, а для второго - тепловые агрегаты с меньшей тепло- и холодопроизводительностью, в основу которых, в том числе, положены альтернативные методы преобразования энергии [77, 110].

В данных условиях выявлено, что для проведения охлаждающих косметологических процедур на отдельные области человеческого организма перспективным является применение термоэлектрических систем (ТЭС), позволяющих с высокой эффективностью осуществлять тепловое воздействие, отличающихся высокой надежностью работы, малыми габаритными размерами и высокой экологичностью, практически неограниченным ресурсом эксплуатации. При этом следует отметить, что в данном направлении в настоящее время имеется существенный недостаток исследований, связанных с аппаратной частью охлаждающих средств, оптимизации их характеристик в соответствии со специфическими условиями использования. Это обстоятельство определяет актуальность проведения диссертационного исследования, связанного с разработкой и исследованием охлаждающей ТЭС, предназначенной для проведения терапевтических косметологических процедур.

Степень разработанности проблемы. Начиная с момента развития А.Ф. Иоффе теории применения полупроводников при создании термоэлементов и устройств на их основе вопросы прикладного использования охлаждающих ТЭС в медицине нашли отражение во многих научных работах. К ним следует отнести научных труды таких ученых, как Л.С. Сильбанса, А.Е. Коленко, Е.К. Иорданишвили, Л.И. Анатычука, Т.А. Исмаилова, И.В. Зорина, А.Л. Вайнера, В.А. Семенюка, Ю.Н. Цветкова, Г. Голдсмида, Т. Кадзикава, М. Дрессельхаус, Ю. Гуревича, Л. Чена и др. [4, 7, 16, 22, 37, 66, 79, 80]. В их исследованиях рассмотрены вопросы приложения термоэлектрических устройств (ТЭУ) и систем в физиотерапии,

невропатологии, офтальмологии, хирургии, гематологии, анестезиологии, реаниматологии, отоларингологии, стоматологии. Описаны конструкции ТЭС, разработаны их модели, оптимизированы параметры приборов, проведены экспериментальные исследования опытных образцов. Анализируя данные работы и отмечая их несомненную значимость, необходимо указать на ограниченность исследований по разработке технических средств для реализации охлаждающих процедур в косметологии, отличающихся высокими эксплуатационными возможностями, а также возможностью реализации большого спектра тепловых косметологических процедур. Данное обстоятельство определяет цель, задачи и направление настоящего исследования.

Цель и задачи диссертационной работы. Целью диссертационной работы является создание охлаждающей ТЭС для проведения тепловых косметологических процедур, разработка математической модели системы и исследование протекающих в ней электро- и теплофизических процессов, внедрение результатов в медицинскую и косметологическую практику.

Задачами диссертационной работы являются:

1. Критический анализ существующих методов теплового воздействия на отдельные области поверхности тела человека с определением рациональных режимов работы ТЭС в косметологической практике для различных условий эксплуатации.

2. Разработка тепловой модели охлаждающей ТЭС для терапевтической косметологии.

3. Создание математической модели охлаждающей ТЭС для терапевтической косметологии.

4. Проведение численного эксперимента по разработанной математической модели с соответствующим анализом полученных результатов.

5. Проведение комплекса экспериментальных исследований опытного образца охлаждающей ТЭС для подтверждения адекватности полученных теоретических данных.

6. Разработка новых конструкций охлаждающих ТЭУ для реализации различного рода тепловых косметологических процедур на основе проведенных исследований.

7. Практическая реализация результатов работы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

1. Методе локального теплового воздействия, реализованном на основе ТЭС специальной конструкции, отличающемся тем, что он дает возможность обеспечить как равномерное охлаждение, так и контрастное тепловое воздействие на отдельные зоны поверхности тела человека с высокой точностью регулировки, требуемой объектом воздействия и частотой переключения режимов.

2. Математической модели для исследования теплофизических процессов, происходящих в системе ТЭС - объект воздействия, отличающейся тем, что она основана на решении трехмерной нестационарной задачи теплопроводности для поверхности сложной конфигурации с локальными источниками и стоками теплоты, учитывающей наличие как равномерного охлаждения, так и контрастного теплового воздействия на биологический объект, теплопритоки из окружающей среды, параметры объекта.

3. ТЭУ для проведения тепловых косметологических процедур, отличающихся возможностью реализации различных режимов охлаждающего и контрастного теплового воздействия на поверхность тела человека, в том числе учитывающих его морфологию.

Теоретическая значимость исследования состоит в:

- разработке положений, расширяющих границы применимости тепловых процедур в терапевтической косметологии, возможности создания новых систем для реализации локального охлаждения участков поверхности тела человека с улучшенными функциональными характеристиками;

- изложении гипотезы, подтвержденной как результатами расчетов, так и эксперимента, о возможности эффективного проведения как равномерных охлаждающих, так и контрастных тепловых косметологических процедур с учетом морфологии объекта воздействия за счет применения разработанной системы;

- полученных соотношениях, описывающих теплофизические процессы в ТЭС и объекте воздействия при реализации тепловых косметологических процедур;

- результатах численного эксперимента, дающих новые знания о теплофизических процессах, происходящих как в системе воздействия, так и в биологическом объекте;

- модернизации методики проектирования технических средств для проведения охлаждающих и контрастных тепловых косметологических процедур за счет использования при расчетах разработанной математической модели, учитывающей теплофизические характеристики объекта воздействия, а также его сложную геометрическую форму.

Практическая значимость работы определяется:

- разработанными ТЭУ для охлаждающего и контрастного теплового воздействия на поверхность тела человека в косметологических целях, позволяющими повысить комфортность, надежность и эффективность процедур, учитывающими морфологию объекта воздействия;

- внедрениями результатов исследований в производственный и учебный процесс;

- перспективами использования результатов работы на практике, в первую очередь, в организациях и учреждениях, занимающихся разработкой аппаратуры для косметологии;

- рекомендациями по эксплуатации разработанной системы на практике.

Методология и методы исследования. В диссертации использован комплексный подход к изучению тепловых процессов в косметологии, включающий в себя применение различных методов и подходов из области

математики, физики и компьютерных наук, теория теплопроводности твердых тел и конвективного теплообмена, методы численного решения систем дифференциальных уравнений, проектирования охлаждающих ТЭС, экспериментальных исследований и обработки результатов измерений на ЭВМ.

Положения, выносимые на защиту.

1. Установлено, что эффективным методом проведения тепловых косметологических процедур является метод, основанный на использовании ТЭС специальной конструкции, дающий возможность осуществлять как равномерное локальное охлаждение, так и контрастное тепловое воздействие на участок поверхности тела человека с высокой точностью регулировки и частотой переключения режимов.

2. Определено, что при составлении математической модели охлаждающей ТЭС для проведения косметологических процедур необходимо решение трехмерной нестационарной задачи теплопроводности для системы сложной конфигурации, особенностью которой является учет наличия локальных источников и стоков теплоты, сложных условий теплообмена, энергетических и геометрических параметров термоэлектрических модулей (ТЭМ), входящих в состав системы.

3. При разработке систем для проведения охлаждающих и контрастных тепловых косметологических процедур установлено, что эффективным является использование в качестве источника теплоты в них стандартных ТЭМ, осуществляющих различные режимы теплового воздействия, а также учет морфологии поверхности тела человека.

Степень достоверности результатов исследования. Корректное использование математического аппарата, методов экспериментальных исследований, а также достижение хорошей сходимости результатов натуральных испытаний опытного образца ТЭС и численного эксперимента доказывают достоверность полученных результатов. Полученные данные не расходятся с результатами исследований современных российских и

зарубежных ученых, посвященных применению теплового фактора в медицине и косметологии.

Апробация результатов работы. Работа в целом и ее отдельные результаты докладывались и обсуждались на III Всероссийской НПК "Молодежь, наука, инновации" (Грозный, ГГНТУ, 2014), XVI Международной НТК "Измерение, контроль, информатизация" (Барнаул, АлтГТУ, 2015 г.), VII Международной НТК "Низкотемпературные и пищевые технологии в 21 веке" (Санкт-Петербург, НИУ ИТМО, 2015 г.), XV Межгосударственной конференции "Термоэлектрики и их применение" (Санкт-Петербург, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 2017 г.), XVIII Международной НТК "Измерение, контроль, информатизация" (Барнаул, АлтГТУ, 2017 г.), VII Всероссийской НТК "Состояние и перспективы развития термоэлектрического приборостроения" (Махачкала, ДГТУ, 2020 г.), XXXVIII Итоговой НТК преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов Дагестанского государственного технического университета "Неделя науки - 2017", научно-технических семинарах кафедры теоретической и общей электротехники ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет" с 2012 по 2018 гг. Разработка "Термоэлектрическое устройство для проведения тепловых косметологических процедур на лицо человека" удостоена золотой медали XX Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий "Архимед - 2017", разработка "Термоэлектрическое устройство для проведения тепловых косметологических процедур на лицо человека с возможностью программирования температурного режима воздействия" серебряной медали 5 Международной выставки "Измерения, мир, человек - 2015" (Барнаул, АлтГТУ).

Результаты исследований внедрены в практику производства ООО "Эрфольг" (г. Грозный), клиническую практику ГБУ "Республиканский кожно-венерологический диспансер" (г. Грозный), учебный процесс ФГБОУ ВО "Грозненский государственный нефтяной технический университет".

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в базу данных Scopus, 3 статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 7 докладов и тезисов докладов на научных конференциях, 3 патента на изобретение Российской Федерации.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 114 наименований и приложения. Основная часть работы изложена на 117 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок.

1. Методики и технические средства для проведения тепловых косметологических процедур

1.1 Разновидности терапевтических косметологических процедур

В настоящее время весь спектр косметологических процедур, используемых в оздоровительных, лечебных и эстетических целях, может быть поделен на ряд групп, отличающихся характером действия и соответствующим результатом [14].

1. Лазерная косметология [41, 48, 55, 76].

К данной группе относят процедуры, выполняемые с применением лазера, связанные с его действием на требуемые участки тела, вызывающие определенные изменения в кожном покрове и близлежащей ткани. Различные длины волн влияют на конкретную структуру кожи (пигменты, сосуды, волосяные фолликулы) и несут соответствующий оздоровительный и эстетический эффект.

Лазерная косметология включает в себя следующие процедуры:

- удаление растяжек, рубцов, шрамов и пигментных пятен;
- лазерная блефаропластика;
- фракционный фототермолиз (омоложение кожи и придание ей красивого вида, путем уменьшения пор и морщин, избавления от растяжек и рубцов);
- лазерная шлифовка лица - пиллинг.

В практике косметологии используются низкоинтенсивные лазеры, действие которых вызывает следующие биологические и физиологические реакции.

- активация метаболизма клеток и повышение их функциональной активности;
- стимуляция репаративных процессов;

- противовоспалительное действие;
- активизация микроциркуляции крови и повышение уровня трофического обеспечения тканей;
- анальгезирующее действие;
- иммуностимулирующее действие;
- рефлексогенное действие на функциональную активность различных органов и систем

Главными достоинствами использования лазерного действия являются:

- бескровность - отсутствие травмирования тканей;
- безопасность - проведение бесконтактных лазерных процедур устраняет риск передачи инфекций;
- эффективность - при лазерных процедурах имеет место точная локализация оздоровительного действия в отличие от электро- и радиопроцедур, предполагающих действия врача практически "вслепую" и связанной с этим невозможностью визуально контролировать глубину воздействия и достижение уровня стволовых клеток.

При этом следует отметить, что абсолютных противопоказаний для использования лазера нет. К относительным противопоказаниям относятся беременность, период лактации; лихорадочное состояние; заболевания нервной системы с резко повышенной возбудимостью; новообразования невыясненной этиологии; склонность к гипертрофической регенерации и дисхромиям кожи; острая проявления на коже пациента вирусной или бактериальная инфекция; аллергические заболевания кожи, наличие декомпенсированной формы сахарного диабета.

2. Медицинская косметология [14, 39, 45, 53, 54, 62, 100].

Медицинская косметология - это перечень процедур, связанных с определенным физическим и химическим вмешательством в организм человека, направленных на омоложение и оздоровления. Медицинская

косметология реализуется в следующих направлениях: безоперационная подтяжка, нитевой лифтинг, химическая липосакция, контурная пластика, применение ботокса, химические пилинги и т.д.

Медицинская косметология применяется для:

- устранения отдельных дефектов кожи: рубцов и пятен после акне-постакне, ликвидация очагов кожной пигментации;
- улучшения состояния кожи при ее индивидуальных особенностях (сухая, чувствительная или жирная кожа);
- реабилитации кожи после агрессивных воздействий и процедур, ошибок ухода (фотоповреждение, действие лазера, химических веществ, косметики);
- восстановления здорового вида волос;
- восстановления состояния ногтей при неправильном уходе;
- коррекции возрастных изменений кожи (морщины, потеря тонуса кожи, пигментация, сосудистые элементы);
- профилактики старения кожи.

3. Аппаратная косметология [19, 20, 27, 46, 49, 101].

Аппаратная косметология - общее название для всех процедур, которые выполняются с использованием специализированного оборудования. В связи с развитием науки, разнообразие приборов растет, появляются все новые технические средства и методики проведения процедур с их использованием.

Аппаратная косметология включает в себя следующие процедуры:

- аппаратная липосакция (ультразвуковая, лазерная) - устранение избыточного веса;
- аппаратный пилинг (вакуумный, ультразвуковой) - процедура очистки кожи с помощью специальных технических средств;
- аппаратный лимфодренаж - проведение ряда косметологических процедур при помощи специальной

- аппаратуры, использующей ультразвук, импульсный ток, вакуум или перепады давления и т.п.;
- аппаратный лифтинг (фотолифтинг, eIos-омоложение кожи, термаж) - подтяжка кожи и ее омоложение.
 - аппаратный массаж - массаж при помощи различных технических аппаратов, включающий гидромассаж, пневмомассаж и вибромассаж, а также другие виды массажа.
 - гальванотерапия - проведение ряда косметологических процедур с использованием постоянного гальванического тока, имеющего небольшое значение силы тока и невысокое напряжение;
 - дарсонвализация - использование при проведении косметологических процедур импульсов переменного тока;
 - термотерапия - совокупность косметологических и физиотерапевтических методов, которые используют тепло искусственных и естественных источников.
 - криотерапия - проведение косметологических процедур с использованием низких температур, в том числе применение криобассейнов и криосаун.

Аппаратная косметология применяется при устранении различных новообразований на коже (папиллом, родинок, бородавок и т.п.), а также при удалении шрамов и рубцов после хирургических операций и травм.

Основные достоинства аппаратной косметологии заключаются в возможности решения различные косметологические проблемы без операционного вмешательства и в кратчайшие сроки, а также сводит к минимуму дискомфорт при проведении косметологических процедур. Также аппаратная косметология дает возможность подобрать параметры проведения процедуры с учетом возраста пациента. К числу преимуществ

аппаратной косметологии можно также отнести ее универсальность и сочетаемость со многими другими косметологическими процедурами.

Показания к аппаратной косметологии:

- борьба с целлюлитом и избыточным весом;
- борьба со всеми признаками старения кожи;
- коррекция рубцовых изменений кожи;
- лечение волосяного покрова головы;
- коррекция гиперпигментации;
- удаление нежелательных волос с тела и лица пациента;
- лечение угревых высыпаний и постугревых рубцов;
- устранение сосудистых образований любой локализации;
- удаление новообразований кожи, а также татуажа и татуировок.

Противопоказания аппаратной косметологии:

- заболевания онкологического разряда;
- наследственная предрасположенность к кровотечениям.
- индивидуальная непереносимость одного из физических факторов воздействия.

4. Эстетическая косметология [14, 25, 56, 75, 112, 114].

Эстетическая косметология - это отрасль в косметологии, которая включает такие услуги, как массаж лица, чистка кожи лица, разные экспресс-процедуры, а также восковую депиляцию. Существует несколько видов чистки лица: комбинированная, механическая и т.п. Определенная процедура подбирается с учетом требований пациента. К данным процедурам также относят наращивание ногтей, волос, ресниц и уход за ними. Кроме того, эстетическая косметология предлагает перманентный макияж (татуаж), депиляцию.

К процедурам эстетической косметологии относятся:

- ультразвуковой пилинг;
- ультрафонофорез;

- ультразвубромассаж;
- комплексная чистка лица;
- лечебная чистка при угревой сыпи;
- элементная чистка с разогревающим гелем;
- anti-stress терапия с витамином "С";
- лифтинг;
- age-control процедура и т.д.

Как следует из приведенного краткого обзора типов существующих на сегодняшний день косметологических процедур, в большинство из них заложены процедуры с использованием повышенных (пониженных) температур. Данное обстоятельство, как было отмечено ранее, подтверждает актуальность и практическую значимость разработки соответствующих технических средств.

1.2 Методики и средства теплового воздействия в косметологии

Среди практикующихся на сегодняшний день типов косметологических процедур, связанных с нагревом и охлаждением отдельных участков тела человека, следует выделить термо- и криотерапию.

Под термотерапией в данном контексте понимают любые тепловые процедуры - лечебные грязи, согревающие компрессы, нагретую соль, бани и сауны. Также в косметологической практике термотерапией (воздействием "глубоким теплом"), как правило, называют процедуру глубокого инфракрасного прогревания. Наиболее широко она применяется против излишнего отложения жиров в "проблемных зонах" тела, а также как способ устранения целлюлита. Тепло способно проникать на глубину до 4 см, что позволяет уже после первых сеансов косметологических процедур заметно снизить количество отложенного подкожного жира. Термотерапию можно отнести к релаксирующим процедурам, она дает прилив бодрости,

ощущение легкости и улучшает настроение. Сеанс термотерапии, проводимой в косметологических целях, продолжается не более 40-45 минут, включая время на ее подготовку.

К альтернативным методам термотерапии относятся методы, сочетающие прессотерапию с инфракрасной сауной и LPG с липосакцией. Для усиления эффекта теплового воздействия достаточно часто прогревание используется совместно со специальными кремами (например, термоактивный гель для коррекции фигуры фирмы "Algothem", сыворотка дренажная анти-вода, сыворотка липолитическая анти-жир фирмы "Esthederm").

Термотерапия применяется для:

- проведения коррекции фигуры;
- проведения предоперационной подготовки и послеоперационной реабилитации;
- послеродового восстановления;
- нормализации мышечного тонуса и снижения мышечного напряжения;
- улучшения и восстановления лимфодренажной функции организма;
- борьбы с целлюлитом и лишним весом;
- улучшения кровообращения;
- восстановления иммунитета организма, релаксации и снижения эмоционального напряжения.

В косметологической практике можно различить термотерапию на всю или большую часть тела человека, а также на отдельные участки кожного покрова. В первом случае для термотерапии используется специальный одноразовый, в большинстве случаев, полиэтиленовый костюм, снабженный необходимыми для контроля датчиками [69]. Поверх него надевается костюм для прессотерапии, дающий возможность путем нагнетания воздуха

осуществлять волнообразное давление снизу вверх. Таким образом, осуществляется сочетанное тепловое и механическое воздействие, обеспечивающее расширение сосудов, что приводит к усилению кровотока и ускорению метаболических процессов в коже, а также оказывающее лимфодренажное действие, которое улучшает тонус тканей и способствует ликвидации целлюлита.

Во втором случае к средствам термотерапии относятся процедуры, при которых используются различные способы нагрева локального участка тела человека: согревающие компрессы, припарки, грелки, грязелечение, светолечение и др. [13, 21, 71].

Термотерапия может быть реализована на основе использования специальных подогретых пелоидоподобных веществ - нафталанской нефти, озокерита, парафина и др. [2, 26, 38, 47], прикладываемых к участкам поверхности тела человека, подвергаемым процедурам. Здесь необходимо отметить, что при нафталанолечении может использоваться как нативная нафталанская нефть (непосредственно добываемая из скважин на курорте Нафталан, Республика Азербайджан), так и подвергнутые дополнительной обработке обессмоленная нафталанская нефть, нафталанская лечебная мастика и другие ее производные. Рабочая температура веществ составляет 38-40°C. Лечебное действие нафталанской нефти связано с наличием в ней нафтеннов, преобладающих над остальными углеводородами. С лечебной точки зрения нафталанолечение реализуется путем использования специальных аппликаций в сочетании с другими, в том числе медикаментозными, методами воздействия.

Другим методом реализации тепловых косметологических процедур является использование нагретого озокерита - минерала из группы нефтяных битумов. Его достоинством является высокое тепловое сопротивление и высокая теплоемкость, позволяющие реализовать локальный нагрев участка тела человека достаточно продолжительное время, соответствующее медицинским назначениям. Также положительными факторами при

использовании озокерита является его компрессионное действие на прилежащие ткани за счет значительного уменьшения в размерах при застывании, а также химическое, связанное с парасимпатикотоническим эффектом. Процедура озокеритолечения реализуется в виде ванночек, аппликаций, смазывания поверхности тела человека.

Применение парафинолечения также как и в случае использования озокерита связано с его тепловым и механическим действием. Парафин, так же, как и озокерит, оказывает компрессионное воздействие за счет изменения своего объема при остывании, имеет высокую теплоемкость. Технически применение парафина в косметологических целях осуществляется путем аппликаций и специальных ванночек.

Эффект от термотерапии состоит в:

- уменьшении жировой ткани в проблемных зонах, что приводит к уменьшению объема;
- устранении отеков и целлюлита;
- восстановлении эластичности и упругости кожи;
- повышении мышечного тонуса;
- улучшении пищеварения и снижении аппетита;
- активизации обмена веществ, выведении шлаков и токсинов;
- устранении растяжек после беременности или похудения;
- формировании гармоничного контура тела.
- улучшении сна и общего самочувствия;
- уменьшении боли при радикулите, артрозе, переутомлении;
- укреплении мышц;

По сравнению с другими косметологическими процедурами термотерапия имеет ряд преимуществ, среди которых следует выделить:

- безвредность применения (при отсутствии клинических противопоказаний);
- комфортность процедуры;

- целенаправленность воздействия на проблемные зоны тела;
- возможность комбинированного применения с кремами и масками для тела.

Криотерапия представляет собой воздействие на организм холодом в медицинских и косметических целях. В настоящее время используются следующие процедуры с использованием низких температур в косметологических целях [10, 15, 44, 63, 102].

1. Криомассаж относится к простейшим криопроцедурам. Действие его дает отшелушивание ороговевших частичек кожного покрова, одновременно освежая кожу и омолаживая ее. При криомассаже осуществляется кратковременное воздействие на кожу холодом длительностью в несколько секунд. Это вызывает сначала резкое сужение кровеносных сосудов, затем их расширение, что совместно с механическим массажем вызывает хороший стимулирующий эффект. Показаниями к криомассажу служат тусклая уставшая кожа, повышенное салоотделение, неровный тургор.
2. Криодеструкция позволяет быстро и эффективно удалять доброкачественные новообразования. Например, выпуклая родинка или другой вид новообразования "выжигается" данным методом с поверхности кожи, а на ее месте остается едва заметное розовое пятнышко. Происходит это из-за глубокого спазма стенок сосудов, после чего идет отторжение здоровой тканью замороженной мертвой.
3. Криоэлектрофорез (криоэлектротерапия) представляет собой комбинированную процедуру с преимущественно омолаживающим эффектом. Данный эффект сравним с криомассажем, однако имеет более усиленный косметологический результат. При криоэлектрофорезе осуществляется воздействие на кожу не только холодом, но также и лекарственными препаратами, которые под воздействием электрических импульсов проникают в кожу. Для этой процедуры применяются два электрода: один накладывается на кожу

пациента, а другой представляет собой сосуд, содержащий лекарственные препараты, которые предварительно замораживаются. Кριοэлектрофорез производится на лице и теле, с его помощью происходит не только омоложение и обновление кожи, устранение акне и постакне, но и коррекция фигуры, лифтинг и др. эффекты.

4. Криодермабразия (шлифовка) используется для устранения целлюлита и омоложения кожи, а также для сглаживания различного рода рубцов. Обычно она проводится осенью или зимой, когда солнце менее активно, и нет риска появления пигментных пятен на месте шлифовки.
5. Пилинг холодным воздухом (аэрокриопилинг) дает возможность устранить бородавки, кожистые родинки, веснушки, папилломы, мелкие шрамы, акне, комедоны, жировики и т.п. При этом аэрокриопилинг более эффективен, чем лазерная шлифовка, а также пилинг фруктовыми кислотами.
6. Криолиполиз - процедура, дающая возможность уменьшить количество подкожного жира. При криолипозе проблемная зона сжимается в специальном аппарате, сосуды получают меньше крови, жировые клетки - меньше питания, далее происходит охлаждение указанного участка. В итоге жировые клетки погибают и выводятся организмом в течение нескольких дней. При планомерном охлаждении аппарат нарушает целостность клеточных мембран, а их лишний жир постепенно выводится из организма естественным образом вместе с другими продуктами метаболизма.

Показания к применению криотерапии в косметологии следующие:

- целлюлит, проблемы избыточного веса;
- старение кожных покровов, появление морщин, анемия кожи;
- предварительная подготовка к массажу, пилингу и другим косметологическим процедурам.
- акне;
- повышенное жиरोотделение;

- бородавки;
- себорея;
- алопеция;
- устранение рубцов или шрамов;

В косметологической практике криотерапия практически не имеет никаких противопоказаний.

Также криотерапия достаточно интенсивно используется в медицине для лечения кожных болезней (псориаз, экзема и т. д.); бронхиальной астмы; аллергии; лечении различного рода травм; бронхита; тонзиллита, фарингита, ангины; артрита, остеохондроза; синдрома хронической усталости; проблем со сном; ослабления иммунной системы [59]. В данных случаях процедуру нельзя проводить при наличии у пациента повышенной температуры и острых инфекционных заболеваний.

К разновидности криотерапии также следует отнести воздействие на человеческий организм или отдельные его части умеренно низкими температурами (в пределах -10 - $+10$ °С). К таким процедурам относятся аппликации льда или специальных криогелей, ванны с холодной водой при температуре последней на уровне от 0 до 5°С, применение аэрозолей при криогенной температуре, холодные обертывания и др. Отдельно следует отметить криолифтинг - неинвазивную (бескровная), безинъекционную, не травматическую процедуру локального воздействия искусственным источником холода (примерно -1 - 2 °С) на поверхностные ткани с помощью специального технического средства и активных косметических агентов.

Процедура проста, безболезненна, занимает незначительное количество времени, не требует специальной подготовки и послепроцедурного режима. Применяется для лифтинга кожи лица, а также шеи и декольте. Криолифтинг применяется для реабилитации после пластической операции или лазерной шлифовки; расширения пор; "стрессовой", обезвоженной кожи; неровной поверхности и рельефа кожи;

кожи, склонной к отекам; при темных кругах и "мешках" под глазами; тусклом цвете лица; лечении жирной кожи.

Грязевые охлаждающие процедуры обуславливают более медленное и равномерное уменьшение температуры кожи пациента. Последующее согревание кожи после процедуры наступает одинаково при всех видах аппликаций, однако сильно зависит от вида используемой грязи. Способствующий снижению температуры кожи эффект охлаждающего воздействия сохраняется примерно в течение 3-4 часов. Криотерапия грязевым пакетом проводится в два этапа для смягчения реакций от охлаждения кожи. На первом этапе используется пакет с лечебной грязью при температуре 15-20 °С. Экспозиция процедуры составляет 5-7 мин. После этого используется второй пакет при температуре 5-10°С с экспозицией 20-25 мин. Процедуры могут проводиться каждый день или через день, в зависимости от индивидуальных рекомендаций и потребностей пациента. Обычно рекомендуется проводить от 8 до 10 сеансов, чтобы достичь оптимального результата. Важно отметить, что указанные параметры (температура, время экспозиции и продолжительность процедуры) могут различаться в зависимости от конкретных методик и протоколов, используемых в косметологии. Поэтому рекомендуется обратиться к специалисту-косметологу, который сможет предоставить более точные рекомендации и настроить процедуру под индивидуальные особенности организма. Использование грязевых охлаждающих процедур снижает воспалительный процесс, способствует повышению общему тону кожи.

Что же касается технической реализации описанных методов теплового воздействия в косметологии, то среди множества аппаратов следует выделить комбинированные косметологические комплексы и комбайны, включающие в себя помимо прочего и возможности теплового воздействия на отдельные участки человеческого тела, косметологические стойки, косметологические аппараты, электросушки, криосушки, криокамеры, различного рода маски, термоодеяла [11, 63, 105, 107] и т.п.

Косметологический комбайн (стойка, система) представляет собой совокупность многофункционального оборудования, обеспечивающего возможность проведения аппаратными средствами целого комплекса косметологических процедур, направленных на достижение оздоровительного и эстетического эффекта. На практике используются косметологические комбайны с фиксированным набором опций, а также системы, набор функций которых может быть расширен с помощью подключения специальных дополнительных модулей (модульные стойки блочной системы). Преимущества применения комбайнов следующие: многофункциональность, воздействие на все типы кожи, компактность, сочетаемость и взаимодополняемость функций.

Среди изготовителей косметологических многофункциональных комплексов, в которых заложено использование высоких и низких температур, следует выделить компании Cosmogamma (Италия), General Project (Италия), Blue-Moon (Италия), Chattanooga Group (США), Dectro Inc. (Канада), Tecnology (Италия), Ionto Comed (Германия), SORISA (Испания), Gezanne ITC (Франция), Vivax (Франция), Weco (Китай), Silver Fox Beauty Instrument Co., Ltd. (Китай), Nova (Китай) и др.

В качестве примера рассмотрим некоторые разновидности аппаратных средств указанных фирм. На рисунке 1.1. представлен внешний вид косметологического комплекса NV-1606 производства фирмы Nova (Китай).

В функции системы входит проведение таких процедур, как озонотерапия, вакуум, дермабразия, термотерапия, гальваника, ультразвуковая терапия, брашинг, Д'Арсонваль. Комплекс отличается большой функциональностью, эффективностью действия, удобством проведения процедур.



Рисунок 1.1 - Косметологический комплекс NV-1606
производства фирмы Nova (Китай)

На рисунке 1.2 рассмотрен косметологический комплекс Face Unit производства фирмы Blue-Moon (Италия), в функции которого заложено помимо перечисленных выше также вакуум-спрей, микротоковая терапия, ионофорез, дезинкрустация, хромотерапия, вакуумный пульсирующий массаж.



Рисунок 1.2 - Косметологический комплекс Face Unit производства фирмы Blue-Moon (Италия)

Система Ionto-Profi System производства германской компании Ionto Comed, представленная на рисунке 1.3, позволяет осуществлять такие процедуры как брашинг, вакуумная чистка и массаж, ионофорез, дезинкрустация, лимфодренаж, термотерапия, vaporизатор с ароматерапией.



Рисунок 1.3 - Косметологический комплекс Ionto-Profi System производства фирмы Ionto Comed (Германия)

В отличие от рассмотренных выше комплекс Skinlight испанской компании SORISA, внешний вид которого показан на рисунке 1.4, дает возможность осуществлять также и криопроцедуры, включая криомассаж, криодеструкцию и аэрокриопилинг.



Рисунок 1.4 - Косметологический комплекс Skinlight производства фирмы SORISA (Испания)

Отдельно следует отметить аппарат для криолиполиза NV-Q8 производства китайской фирмы Foshan Nanhai Newface Beauty Instrument Technology Co., Ltd. Внешний вид прибора показан на рисунке 1.5. Аппарат позволяет проводить полный курс криолиполиза, включающий в себя 3-4 процедуры, проводимые с интервалом в 2 месяца. За один сеанс возможна обработка несколько зон (до 3). При этом эффективность процедур такова, что объем жировой ткани в области воздействия уменьшается на 25-35 % в течение 1,5-3 месяцев после процедуры. Технические характеристики, комплектация: количество манипул (каналов) криолиполиза 1, температура охлаждения $5\div-15^{\circ}\text{C}$, время процедуры 20-60 минут, ширина зоны обработки - 10-15 см.



Рисунок 1.5 - Аппарат для криолиполиза NV-Q8 производства фирмы Foshan Nanhai Newface Beauty Instrument Technology Co., Ltd (Китай)

Среди косметологических аппаратов, осуществляющих термо- и криотерапию можно выделить продукцию фирм Cerri (Италия), Silver Fox Beauty Instrument Co., Ltd. (Китай) , Foshan Nanhai Newface Beauty Instrument Technology Co., Ltd. (Китай) соответственно внешний вид продукции которых приведен на рисунках 1.6-1.8. Системы позволяют осуществлять такие процедуры, как брашинг, вакуумная чистка, спрей-процедуры, дарсонвализация, микродермабразия и процедуры "тепло-холод".



Рисунок 1.6 - Аппарат Beauty System Activ Line производства компании Cerri (Италия)



Рисунок 1.7 - Аппарат Silver Fox F331 производства компании Silver Fox Beauty Instrument Co., Ltd. (Китай)



Рисунок 1.8 - Аппарат NV-Е6 производства компании Foshan Nanhai Newface Beauty Instrument Technology Co., Ltd. (Китай)

Другой группой выпускаемого косметологического оборудования с функцией теплового воздействия являются электросауны, предназначенные для повышения эффективности сеансов по коррекции фигуры, лечения целлюлита и снижения избыточного веса. Одновременно с использованием электросауны, также может проводиться обертывания с морскими водорослями, парафинотерапия, другие SPA-процедуры. На рисунке 1.9 представлен внешний вид электросауны ТЭО-3ст, производимой заводом "ЭДС" (г. Тверь). Электросауна комплектуется цифровым пультом управления, который автоматически поддерживает температуру в каждой из трёх зон - грудь, поясница, ноги с точностью до 1°С. На дисплей выводится текущая температура каждой зоны и время до конца процедуры. Прибор позволяет выставлять необходимые температурных режимы в нагревательных секциях.



Рисунок 1.9- Электросауна ТЭО-3ст (завод "ЭДС", г. Тверь)

В отличие от электросауны в криосаунах осуществляется воздействие на организм человека сверхнизкими температурами в пределах $-140\div - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ посредством использования жидкого азота. За счет воздействия низких температур происходит резкое сужение, а потом расширение сосудов. Таким образом, налаживается обмен веществ, усиливается циркуляция крови, восстанавливаются нормальные функции тканей и органов. С помощью воздействия криосауны получается естественное стимулирование иммунной системы, приходит в норму гормональный фон, активизируется работа органов. Среди производителей криосаун в России следует выделить ООО "НПП "Крион" (г. Санкт-Петербург), ТД "КриоЛагуна" (г. Санкт-Петербург), ООО "Центр Криотерапии" (г. Казань), ООО "КриоЛайт" (г. Москва), ООО "Криотек" (г. Москва), ООО "Центр восстановительного лечения" (г. Ярославль) и др. Зарубежными производителями криосаун являются компании "CRIO Medizintechnik GmbH" (Германия), "ZIMMER" (Германия),

"Nichon Sanso" (Япония) "Messer Griesheim" (Германия), SARAYA Co. (Япония), "VRV" (Италия), "Cryo Diffusion" (Франция), "Airsonett" (Швеция), "H&O Equipments" (Бельгия), "GrandCryo" (Швейцария) и др.

На рисунке 1.10 представлен внешний вид криосауны КАЭКТ-01-"КРИОН" производства ООО "НПП "Крион", отличающейся высокими оздоровительными, надежностьными характеристиками, а также высокой пропускной способностью.



Рисунок 1.10 - Криосауна КАЭКТ-01-"КРИОН" производства ООО "НПП "Крион"

Анализируя литературные источники, посвященные тепловому воздействию в косметологической практике, необходимо отметить достаточное количество методик и технических средств, реализующих эффективное тепловое воздействие на организм человека. Однако также следует признать их относительную дороговизну, значительные

массогабаритные характеристики и сложность в реализации контрастного теплового воздействия с быстрым чередованием режимов нагрева и охлаждения отдельных областей тела человека. Таким образом, на основе проведенных исследований, следует отметить отсутствие в современной косметологии эффективных систем для проведения контрастных тепловых процедур в оздоровительных и эстетических целях.

1.3 Перспективы использования термоэлектрических преобразователей энергии в медицине и косметологии

С начала своего практического использования термоэлектрическая техника активно использовалась в приложении к медицинскому приборостроению. Данное обстоятельство связано с малыми габаритными размерами ТЭУ, высокими реализуемыми тепловыми потоками, надежностью и безотказностью работы, экологической безопасностью и бесшумностью. Прикладному применению ТЭУ в медицине посвящено достаточно большое количество научных работ [3-7, 12, 16, 18, 57, 65, 78, 99, 111,113]. Исследования по прикладному использованию термоэлектрических преобразователей энергии в медицине ведутся в различных отечественных и зарубежных фирмах и научных объединениях, таких как СКТБ НОРД (г. Москва), ООО "Криотерм" (г. Санкт-Петербург), НПО "Кристалл" (г. Королев, Московская область), ООО "Термиона" (г. Зеленоград), корпорация НПО РИФ (г. Воронеж), ООО "Остерм" (г. Санкт-Петербург), институт термоэлектричества Национальной академии наук Украины, институт физики академии наук Азербайджана, фирмах Marlow (США), Melcor (США), Kamatsu Electronics (Япония), Fandis (Италия), Hebei Yuxiang Electronic Co., Ltd. (Китай), Sunyon Industry Co., Ltd. Dong Guan (Китай), Beijing Huimao Cooling Equipment Co., Ltd (Китай), European Thermodynamics Lim. (Великобритания) и др. [81-87].

На рисунке 1.11 перечислены основные области применения ТЭС в медицине.

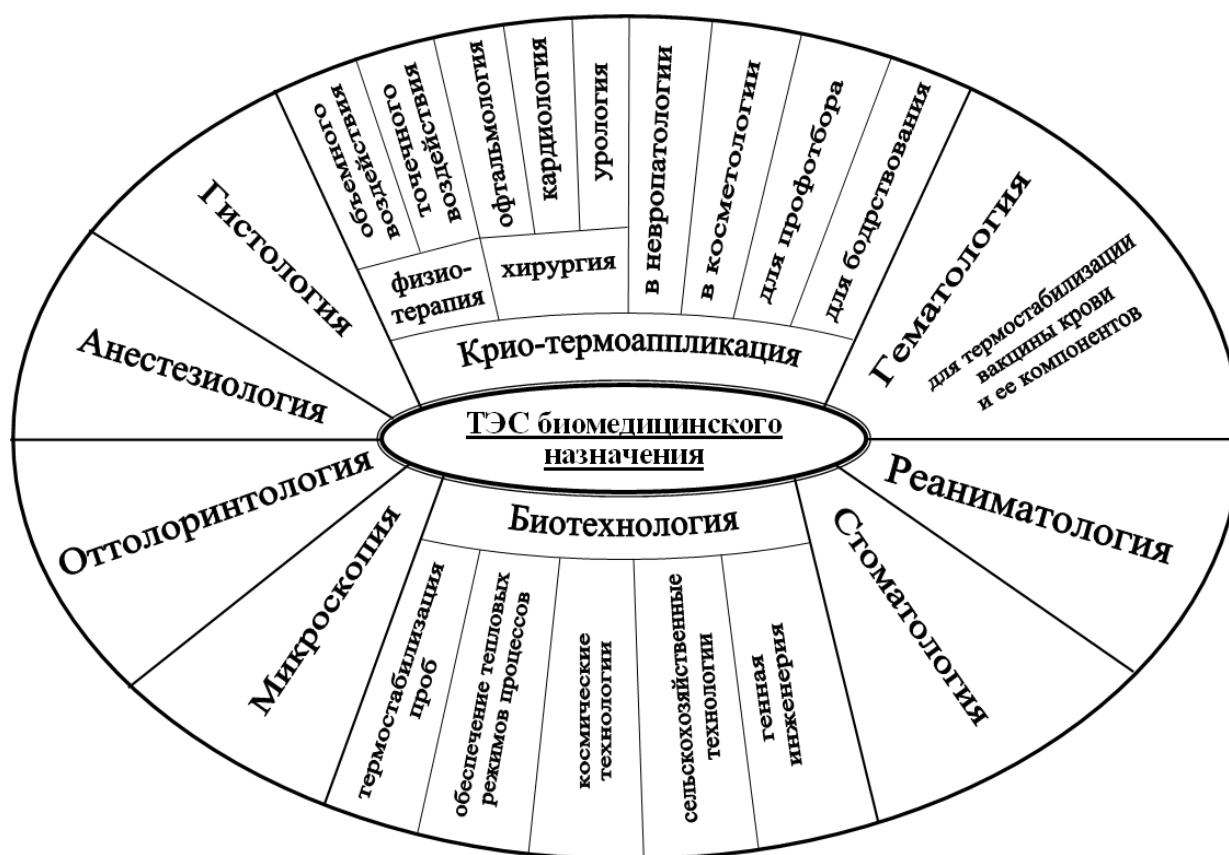


Рис.1.11. Области применения ТЭУ в медицине

Прежде всего из многообразия конструкций ТЭУ для медицины необходимо выделить приборы для криотермоаппликации, то есть устройства, осуществляющие локально охлаждение или нагрев отдельных точек и зон человеческого организма [80, 106, 109]. Данное приложение ТЭУ наиболее эффективно реализует их достоинства, связанные с незначительными габаритными размерами последних и возможностью работы при различной ориентации в пространстве, наличие в едином устройстве источника холода (теплоты) и теплообменной системы. В качестве подобных технических средств ТЭС применяются в таких сферах

медицины, как физиотерапия, хирургия, невропатология, офтальмология, профотбор.

В физиотерапии выделяются термоэлектрические приборы для теплового воздействия на отдельные участки поверхности тела, в том числе различные повязки, аппликаторы, шлемы [5, 7, 30, 31] и устройства для точечного воздействия, реализующие в основном функции термпунктуры на различные скопления нервных узлов и окончаний. Одновременно с тепловым воздействием в таких системах также используется ультразвук, воздействие СВЧ и КВЧ излучением, магнитным полем, механической компрессией, озоном [24, 43].

Использование ТЭС в хирургической практике, прежде всего, связано с применением их в офтальмологии для криовоздействия на хрусталик и сетчатку глаза при криоэкстракции, криопепсии, термотренировки глаза [16]. Для данных целей используются как однокаскадные ТЭМ, так и многокаскадные, для отвода теплоты от горячих спаев которых применяются как системы воздушного, так и жидкостного теплоотвода.

Следующей областью применения ТЭУ в хирургии является кардиология, где посредством охлаждающих ТЭМ обеспечиваются тепловые режимы при операциях на открытом сердце. Существенный интерес представляет локальное охлаждение сердца, рассмотренное в [79]. Данный метод реализуется путем заполнения физиологическим раствором полости между перикардом и эпикардом и установкой в данной полости охлаждающего ТЭУ на фоне наружного общего охлаждения сердца.

Использование ТЭС в урологии рассмотрено в [77].

Применение ТЭУ для реабилитации после операционного вмешательства и заживления ран рассмотрено в [24]. В данном конструктивном решении предлагается на закрытые швами раны накладывать металлические шины, на которые устанавливаются термоэлементы, отвод теплоты от которых осуществляется посредством жидкостного теплообменного аппарата. Термоэлементы реализуют режим

тепловой пульсации, способствующий скорейшему заживлению раны.

Другой областью применения охлаждающих ТЭС является невропатология, где реализуются такие преимущества термоэлектрических преобразователей энергии, как их малая инерционность и возможность быстрой смены режима охлаждения на режим нагрева и наоборот. Подобный прибор рассмотрен в [6].

Возможность быстрой смены режима охлаждения и нагрева используется для оценки реакции организма на раздражающее воздействие для проведения профотбора операторов, выполняющих монотонные технологические процессы. С помощью ТЭУ данный способ реализован в [99], где предлагается способ профотбора рабочих на линиях бесперебойного производства. В [80] указанный метод попеременного охлаждающего и нагревающего воздействия применен для обеспечения уровня бодрствования человека-оператора с помощью обруча одеваемого на голову человека таким образом, чтобы холодные спаи соприкасались с поверхностью лба. При реализации метода обеспечивается аperiодическое тепловое воздействие для исключения привыкания человека к процессу.

При рассмотрении ТЭС для рефлексодиагностики необходимо отметить обязательное условие наличия в них помимо системы теплового воздействия аппаратуры для регистрации ответной реакции организма. В устройствах, описанных в [6] в качестве таковой используются системы автоматического отсчета времени реакции, системы регистрации импульсной активности, датчики плетизмографии.

Обеспечение температурных режимов при транспортировке трансфузионных средств эффективно реализуется в ТЭУ, рассмотренных в [16, 58]. В [24] описана конструкция термоэлектрического портативного холодильника, в котором реализованы возможности многокаскадных ТЭМ, обеспечивающих различный уровень охлаждения на каскадах. В данном приборе обеспечивается более глубокое охлаждение стволовых клеток, располагаемых в контейнере, сопряженном с первым каскадом

многокаскадного ТЭМ, а образцы крови размещаются на втором каскаде ТЭМ, обеспечивающем менее глубокое охлаждение. За счет такого исполнения система для перевозки биологических объектов имеет улучшенные энергетические характеристики.

В приложении ТЭУ для биотехнологий относятся устройства, обеспечивающие термостабилизацию проб биообъектов, тепловые режимы биотехнологий, например при электрофорезе [29]. Особо следует отметить ТЭУ космического назначения, обеспечивающие протекание биотехнологических процессов в невесомости [18].

В изученной литературе также рассмотрены и другие области медицины, в которых используются ТЭУ. К указанным областям относится стоматология, а также анестезиология и отоларингология.

В косметологии ТЭУ используются в основном в двух направлениях: в качестве источника тепла и холода при проведении косметологических процедур, а также для обеспечения тепловых режимов работы электронных компонентов систем.

Приложение термоэлектрических приборов для косметологии в качестве средств теплового воздействия описано в [3, 33, 104, 108]. Здесь следует рассмотреть ТЭУ для теплового воздействия на ногтевые пластины. Устройство содержит элементы теплового воздействия - включающие ТЭМ, расположенные на основании, имеющем пазы трапециевидной формы и продольные ребристые углубления, выполненные с возможностью перемещения по направляющим пазов основания посредством выступов такой же трапециевидной формы, входящих плотно в паз основания. Каждый подвижный элемент выполнен в виде прямоугольного короба с откидной крышкой, содержащей гелевую прослойку, внутри которой установлен датчик температуры, подключенный к блоку управления. Вторые спаи модуля сопряжены с воздушным радиатором. Откидная крышка содержит фиксатор в виде заостренного шипа, выполненного с возможностью входа в ребристые углубления основания. Использование прибора дает возможность

обеспечить плотный контакт с воздействующим участком и смену режимов охлаждения и нагрева для контрастного теплового массажа. В [24] приведено описание модификации рассмотренного устройства, отличие которой состоит в том, что короб каждого подвижного элемента имеет выходное отверстие и утолщение стенки дна по направлению к нему, а откидная крышка короба снабжена высокотеплопроводным губчатым сегментом, выполненным с возможностью прилегания к ногтевым пластинам и повторяющим их форму.

В [5] описано устройство для лечения заболеваний кожи головы, предназначенное для чередующегося воздействия тепло-холод при лечении плешивости, фолликулита, приводящего к облысению, псориаза. ТЭУ содержит корпус из алюминия, в котором имеются аппликаторы, включающие основания из алюминия, одна сторона которых находится в тепловом контакте с опорными спаями ТЭМ. Рабочие спаи ТЭМ сопрягаются с воздействующей головкой аппликатора, а цепи питания ТЭМ подключаются к блоку электрической энергии независимо. Аппликаторы выполнены цилиндрическими и установлены с возможностью перемещения в глухих отверстиях корпуса. На второй стороне основания аппликатора имеются стопорное кольцо и пружина, упирающаяся в стенку глухого отверстия. Прибор позволяет комфортно осуществлять проведение контрастных тепловых косметологических процедур.

В [88] описан косметологический аппарат Vivax CryoPro (компания Vivax, Франция) (рисунок 1.12), реализующий механизм локального криовоздействия на поверхностные ткани организма. Локальный криотерапевтический эффект достигается при температуре от $+5^{\circ}$ до -20° за счет использования в качестве генератора холода ТЭМ, горячие спаи которого охлаждаются за счет принудительной вентиляции. Аппарат несет в себе анальгирующий эффект, вазоактивное воздействие, криодермофорез, криостимулирующее, лимфодренажное и противоотечное действие на отдельные участки тела человека.



Рисунок 1.12 - Косметологический аппарат Vivax CryoPro
(компания Vivax, Франция)

Аналогичен по действию косметологический прибор отечественного производства ОхОтА-5М [89], внешний вид которого приведен на рисунке 1.13. Прибор выполняет функции:

- естественного разглаживания морщин и омолаживание кожи (термолифтинг).
- местного обезболивания при вывихах, ушибах, зубной боли, кровоостанавливающее, гематомоудаляющее, удаление "мешков" под глазами.
- прогрева для лечения отита, гайморита, простуды и ускорения впитывания кремов.

Для проведения комплексных косметологических процедур итальянской компанией General Project разработана и промышленно выпускается система [90], представленная на рисунке 1.14. В аппарат интегрирована термоэлектрическая система охлаждения кожи Ice Touch с широким диапазоном температур, обеспечивающая максимальный комфорт и безопасность пациента при охлаждающем косметологическом воздействии.



Рисунок 1.13 - Косметологический аппарат OхOтA-5M ООО "OхOтa" (г. Москва)



Рисунок 1.14 - Косметологический аппарат Flash 1 Jumbo компании General Project (Италия)

Помимо непосредственно источника холода и тепла ТЭП также используется для обеспечения требуемых тепловых режимов работы

электронных компонентов косметологического оборудования. Наиболее часто в функции ТЭМ входит эффективный отвод теплоты от низкоинтенсивных лазеров при проведении лазерных косметологических процедур. В качестве примера здесь можно рассмотреть комплекс Form Corrector WS-04 производства фирмы WIZ Beauty Equipment (Гонконг) [91], в котором для охлаждения красного низкоинтенсивного диодного лазера используется ТЭБ (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 - Косметологический комплекс Form Corrector WS-04 компании WIZ Beauty Equipment (Гонконг)

В качестве другого примера может быть рассмотрен косметологический комбайн FormaTK компании Formatek (Израиль) (рисунок 1.16) [92].



Рисунок 1.16 - Косметологический комбайн FormaTK компании Formatek (Израиль)

Аппарат Cryolift 3 компании Filorga Professional (Италия) [93], изображенный на рисунке 1.17, используется в косметологических салонах для проведения криотерапии и люминотерапии. В устройстве предусмотрено использование термоэлектрического прибора для локального охлаждения поверхности кожи человека в целях снижения болевых ощущений при проведении процедур. Система применяется в антицеллюлитных программах, для коррекции возрастных изменений кожи, лечения воспалительных процессов.



Рисунок 1.17 - Аппарат Cryolift 3 компании Filorga Professional (Италия)

Прибор Formaxplus (рисунок 1.18) фирмы Sharp Light Technologies (Израиль) [94] используется для удаления волос, уменьшения морщин, шрамов, угревой сыпи, пигментных пятен. За счет применения термоэлектрического охлаждения с блоком управления устройство позволяет поддерживать постоянную температуру эпидермиса при воздействии на уровне 5 °С. Проведение подобного рода косметологических процедур гарантирует максимальную безопасность, контроль охлаждения, комфорт пациента и отсутствие в необходимости анестезии.



Рисунок 1.18 - Прибор Formaxplus фирмы SharpLight Technologies (Израиль)

Изображенная на рисунке 1.19 система Broadband Light (производитель - компания Sciton, США) [95] предназначена для проведения широкополосного светового излучения для удаления волос, сосудистой патологии, доброкачественных пигментных образований, лечения акне, проведения фотоомоложения. В приборе используется термоэлектрическая система мониторинга температуры рабочего инструмента, которая контролирует его температуру в пределах от 0 до 30 °С. Диапазон излучения позволяет выполнять широкий спектр процедур без использования дополнительных насадок.



Рисунок 1.19 - Система Broadband Light компании Sciton США)

Установка HS 810 diode laser [96] (рисунок 1.20), производитель Shanghai Apolo medical technology Co., Ltd. (Китай) применяется для лазерной эпиляции и омоложения кожи пациента. В системе применяется термоэлектрическое охлаждение системы с резервуарами для воды, а также наконечника рабочего инструмента до 0 °С.



Рисунок 1.20 - Установка HS 810 diode laser компании Shanghai Apolo medical technology Co., Ltd. (Китай)

На рисунке 1.21 представлен аппарат Skinplus 500 (Германия) [97], предназначенный для удаления волос с тела и лечения с помощью технологии импульсов света. Он предназначен для лечения сосудистых поражений кожи, удаления угревой сыпи, пигментации, покраснения. Контактное охлаждение локального участка кожи человека осуществляется с помощью ТЭБ и колеблется в диапазоне от -4 до 10 °С.



Рисунок 1.21 - Аппарат Skinplus 500 (Германия)



Рисунок 1.22 - Прибор Proshockice компании PromoItalia Group S.P.A. (Италия)

Прибор Proshockice компании PromoItalia Group S.p.A. (Италия) (рисунок 1.22) [98] уменьшает локальные жировые отложения и проявления

целлюлита с помощью технологии Ice-shock-lipolysis. Данная методика состоит в уменьшении подкожного жира и фиброзного целлюлита в тех зонах, для которых до сегодняшнего времени применялась только липосакция. В данной методике используется криолиполиз и ударно-волновое влияние акустических волн. Во время локального замораживания проблемного участка с помощью охлаждаемой ТЭБ насадки происходит затверждение и разрушение подкожной жировой ткани.

В [88-98] помимо рассмотренных перечислены другие термоэлектрические устройства, предназначенные к использованию в области косметологии.

Анализируя рассмотренные области применения термоэлектрической техники в медицине и косметологии, следует отметить, что основной целью использования ТЭБ является создание универсального теплового источника относительно небольшой мощности с функцией быстрой смены режимов охлаждения и нагрева. В соответствии с этим, стандартная конфигурация ТЭС косметологического назначения, должна включать в себя источник теплоты - набор ТЭМ, систему сопряжения с объектом воздействия, желательно повторяющую рельеф участка воздействия, а также соответствующее теплоотводящее устройство. В зависимости от методики процедур ТЭУ может также иметь схему автоматического регулирования температуры.

Исходя из анализа литературных источников следует, что в практике косметологических процедур применение ТЭБ в качестве источника тепла и холода достаточно ограничено. При этом сведений об использовании последних для термовоздействия на относительно большой участок поверхности тела человека (лицо, конечности, торс и т.п.) в литературе в литературных источниках обнаружено не было. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод об актуальности проведения настоящего диссертационного исследования и новизне предлагаемой методики локального теплового воздействия на основе ТЭС для проведения

косметологических процедур, позволяющий обеспечить единовременное контрастное тепловое воздействие на отдельные зоны кожного покрова человека.

1.4 Постановка задач исследования

При реализации существующих методик терапевтической косметологии, связанных с локальным тепловым воздействием, важным фактором является наличие соответствующего оборудования, обладающего необходимыми параметрами для их реализации.

Осуществленный анализ литературных источников показал, что на сегодняшний день в практике проведения косметологических процедур, связанных с локальным охлаждением поверхности тела человека, есть определенный недостаток в технических средствах, позволяющих его эффективно реализовывать. В основном данное обстоятельство связано с отсутствием эффективных, малогабаритных, надежных систем и приборов, имеющих возможность проведения как локального охлаждения поверхности тела человека до уровня температур 285-288 К с высокой точностью и экспозицией, а также осуществлять контрастное тепловое воздействие как в пространстве, так и во времени с высокой частотой смены режимов.

В данных условиях установлено, что применение ТЭУ, в силу указанных ранее преимуществ термоэлектрического метода преобразования энергии, позволяет реализовать разнообразные оздоровительные и эстетические методики, используемые в косметологической практике. При этом могут быть применены различные схемы теплового воздействия с соответствующим чередованием нагрева и охлаждения областей человеческого организма, а также локализацией холодных и горячих зон с формированием температурного поля объекта воздействия любой конфигурации.

Выявлено, что оптимизировать характеристики ТЭС, реализующей

локальное охлаждение, а также контрастное тепловое воздействие на поверхность тела человека в части энергетических, экономических и массогабаритных показателей можно только путем учета специфики косметологических процедур и условий эксплуатации прибора. Отсутствие исследований по ТЭУ, выполняющих данные функции, является препятствием для более широкого внедрения термоэлектрического охлаждения в практику терапевтической косметологии.

На основе проведенного анализа современной литературы по термоэлектрическому охлаждению, методам и средствам теплового воздействия в косметологии определено, что в качестве базового варианта ТЭС для проведения косметологических процедур может использоваться структура, выполненная из высокотеплопроводного основания малой толщины, на которое устанавливаются ТЭМ. Основание приводится в тепловой контакт через специальную антисептическую пленку (например, силиконовую) с поверхностью тела человека, где проводятся процедуры, а съем теплоты с горячих спаев термомодулей производится за счет воздушного, либо жидкостного теплоотвода. Путем питания ТЭМ электрическим током одинаковой, либо различной полярности, осуществляется равномерное охлаждение поверхности тела человека или контрастное в пространстве и времени тепловое воздействие.

Настоящая диссертационная работа и посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию подобной системы.

2. Математическая модель охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур

Литературный обзор, посвященный методам и техническим средствам, используемым для локального охлаждения человеческого организма, выявил отсутствие развитого аппарата для эффективного математического моделирования в данной области. Данное обстоятельство не позволяет корректно описать происходящие в структуре прибор - объект воздействия тепло- и электрофизические процессы.

Математическое моделирование также позволит выявить закономерности распределения температуры в ТЭС и биологическом объекте в зависимости от энергетических и электрических параметров прибора, а также условий его эксплуатации.

В данной главе рассмотрена математическая модель исследуемой охлаждающей ТЭС для тепловых (в том числе контрастных) процедур в терапевтической косметологии.

2.1 Постановка математической задачи исследования охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур

В соответствие с решаемыми задачами, связанными с реализацией как равномерного охлаждения, так и контрастного теплового воздействия на отдельные участки поверхности тела человека в косметологических целях, необходим анализ модели ТЭС, изображенной на рисунке 2.1. Здесь 1 - основание, имеющее тепловой контакт с ТЭМ; 2 - ТЭМ, выполняющие функции источников холода (теплоты), 3 - объект воздействия (участок поверхности тела человека, обладающий специфической морфологией).

Предполагается, что в зависимости от схемы подключения ТЭМ к источнику питания могут быть реализованы: равномерное охлаждение поверхности, охлаждение и нагрев отдельных участков по площади поверхности с формированием температурных полей различной конфигурации, контрастное во времени тепловое воздействие либо на всю поверхность, либо на ее отдельные участки с требуемой экспозицией [9].

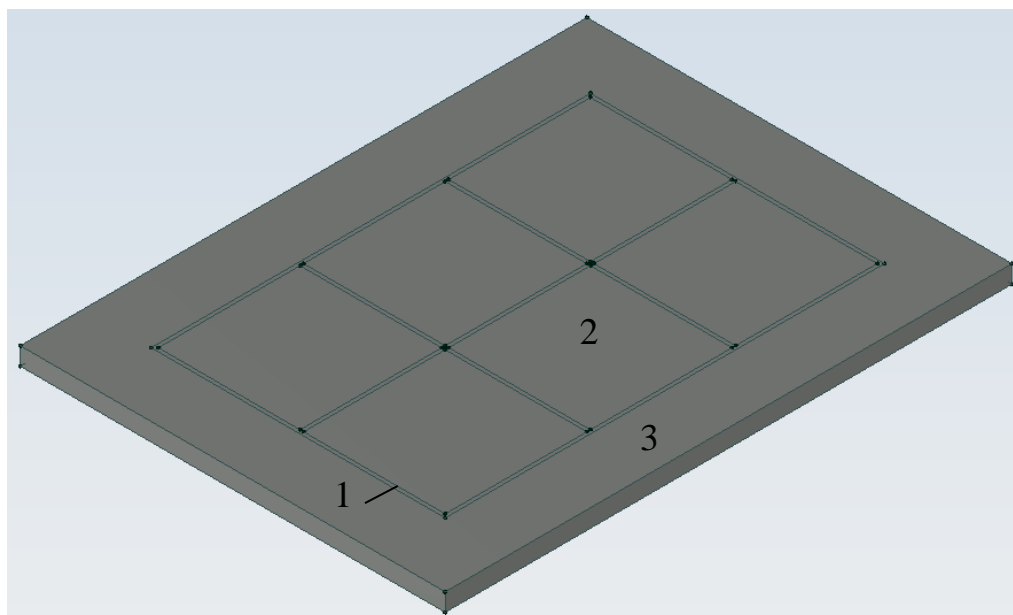


Рисунок 2.1 - Модель ТЭС для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма

Математическое моделирование теплофизических процессов в данной структуре (ТЭС - биологический объект воздействия) целесообразно проводить путем анализа температурного поля объемной пластины произвольной конфигурации с дискретными стоками и истоками теплоты также произвольной формы [1, 40, 67].

Описание дискретных стоков и истоков теплоты рассмотрено в [24], где применен метод представления последних в виде ступенчатых функций. Данный метод состоит в следующем.

Предполагается, что в некоторой области расположен дискретный источник энергии, имеющий вид ступени "V", внутри которого действует

тепловой поток, плотностью q_v . Координаты центра данной области x , ее толщина 2Δ , координаты краев области "V" $x_1 = \xi - \Delta$ и $x_2 = \xi + \Delta$.

Вводится функция $F(x)$, подчиняющаяся условию [23]:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{вне области V} \\ q_v & \text{в области V} \end{cases} \quad (2.1)$$

Функция $F(x)$ описывается аналитически путем применения ступенчатой переменной $I(x - x_i)$, имеющей следующие свойства:

$$I(x - x_i) = \begin{cases} 0 & \text{при } (x - x_i) \leq 0 \\ 1 & \text{при } (x - x_i) > 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Тогда при $x < x_1$ на основании функции $I(x - x_1) = I(x - x_2) = 0$ и $\Delta(x) = 0$; при $x_1 \leq x \leq x_2$ функции $I(x - x_1) = 1, I(x - x_2) = 0$ и $\Delta(x) = 1$; при $x > x_2$ функции $I(x - x_1) = I(x - x_2) = 1$ и $\Delta(x) = 0$ функция F может быть представлена в виде:

$$F(x) = q_v \Delta(x) = q_v \{I(x - x_1) - I(x - x_2)\}. \quad (2.3)$$

При подстановке величин x_1 и x_2 , окончательно

$$F(x) = q_v \{I(x - \xi + \Delta) - I(x - \xi - \Delta)\}. \quad (2.4)$$

Аналогично описываются двух- и трехмерные дискретные области.

С учетом рассмотренной методики представления локальных стоков и истоков теплоты в виде ступенчатых функций задача расчета температурного

поля поверхности тела человека при воздействии на него рассматриваемой ТЭС для трехмерного нестационарного случая имеет вид [24, 34]:

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \lambda + q_{TЭМ}(x, y, z) + q_{cp} + q_{\text{бo}} = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (2.5)$$

$$q_{TЭМ}(x, y, z) = \sum_{i=1}^I q_{TЭМ_i}(x, y, z), \quad (2.6)$$

$$q_{TЭМ_i}(x, y, z) = \begin{cases} \frac{Q_{TЭМ_i}}{V_{TЭМ_i}} & \text{в области стока} \\ 0 & \text{вне области стока} \end{cases}, \quad (2.7)$$

$$V_{TЭМ_i} = \iiint_{V_{TЭМ_i}(x,y,z)} V_{TЭМ_i}(x, y, z) dx dy dz, \quad (2.8)$$

$$q_{cp} = \alpha(T - T_{cp}), \quad (2.9)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T - T_{cp}) \text{ при } x, y \in S,$$

$$T = 309,6\text{K при } \tau = 0. \quad (2.10)$$

где T - температура в любой точке биологического объекта воздействия; T_{cp} - температура окружающей среды; τ - время; λ - эффективный коэффициент теплопроводности биологического объекта воздействия; α - коэффициент теплоотдачи в окружающую среду ($\alpha = \text{const}$); c - теплоемкость биологического объекта воздействия; ρ - плотность биологического объекта воздействия; $q_{TЭМ}(x, y, z)$ - суммарное количество теплоты, выделяемое в единице объема в единицу времени всеми

локальными истоками или стоками теплоты, $q_{TЭМ_i}(x, y, z)$ - количество теплоты, выделяемое в единице объема в единицу времени i -м истоком или стоком теплоты (ТЭМ); $Q_{TЭМ_i}$ - мощность i -го локального истока или стока теплоты; $V_{TЭМ_i}$ - объем, занимаемый i -м стоком или истоком теплоты; q_{cp} - мощность теплопритоков на единицу объема из окружающей среды; q_{60} - количество теплоты, выделяемое в единице объема в единицу времени биологическим объектом; n - нормаль к поверхности контакта ТЭС и биологического объекта воздействия; $n = (xh + yg + zk)$, h, g, k - единичные вектора.

Решение уравнений (2.5)-(2.10) позволяет рассчитать температурное поле участка поверхности тела человека при тепловом воздействии посредством ТЭС, а также определить изменение его температуры во времени при различных мощностях ТЭМ, а также условий теплообмена с окружающей средой.

2.2 Методика численного расчета температурного поля поверхности тела человека при контрастном тепловом воздействии термоэлектрической системой для тепловых косметологических процедур

Для решения задачи, описываемой уравнениями (2.5)-(2.10), применен численный метод конечных элементов. Общая методика расчета трехмерного нестационарного температурного поля данным методом следующая [64].

Преобразуем уравнение (2.5) к виду:

$$\lambda_{xx} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_{yy} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + q - \eta \frac{\partial T}{\partial \tau} = 0, \quad x, y, z \in V, \quad (2.11)$$

с граничным условием

$$\lambda_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} l_x + \lambda_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} l_y + l_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \alpha T + V_s = 0, \quad x, y \in V. \quad (2.12)$$

где $\eta = \text{ср}$ - удельный объемный коэффициент теплопроводности, описывающий теплообмен в объеме V_s , ограниченном кривыми l_x , l_y и l_z .

Решение уравнений (2.11)-(2.12) с вариационной точки зрения соответствует нахождению минимума функционала

$$\begin{aligned} \chi = & \frac{1}{2} \int_V \left[\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - 2T \text{с} q_1 + \eta \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right) \right] dV + \\ & + \int_V \left[\frac{1}{2} \alpha (T - T_{\text{ср}})^2 + (q_1 + q_R^{e,i,j}) T \right] dV, \end{aligned} \quad (2.13)$$

где R - вектор-столбец, q_1 - внешний источник теплоты, i, e, j - соответственно i -й, e -й и j -й элемент.

Минимизация функционала осуществляется на множестве узловых значений температуры.

Вводятся матрицы:

$$g_1 = \left[\frac{\partial T}{\partial x} \quad \frac{\partial T}{\partial y} \quad \frac{\partial T}{\partial z} \right]^T \quad (2.14)$$

и

$$D = \begin{bmatrix} \lambda_{xx} & & \\ & \lambda_{yy} & \\ & & \lambda_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Выражение (2.13) может быть представлено в виде:

$$\chi = \frac{1}{2} \int_V \left[\mathbf{g}_1^T \mathbf{D} \mathbf{g}_1 - 2T_c q - \eta \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right) \right] dV + \frac{1}{2} \int_V \alpha (T^2 - 2T_{cp} T + T_{cp}^2) dV + \int_{V_2} T (q_1 + q_R^{e,i,j}) dV. \quad (2.16)$$

С учетом того, что $T^e = N^e T$ (здесь T - вектор узловых значений) разобьем выражение (2.16) на составляющие:

$$\chi = \sum_{e=1}^E \left\{ \int_{V^e} \frac{1}{2} (\mathbf{g}^T)^e \mathbf{D}^e \mathbf{g}^e dV + \int_{V^e} \eta^e E^e \left(\frac{\partial T^e}{\partial \tau} \right) dV + \int_{V^e} T^e w^e dV + \frac{1}{2} \int_{V_1} \alpha^e [T^2 - 2T_{cp} T + T_{cp}^2]^e dV + \int_{V_2} T^e (q_1 + q_R^{e,i,j})^e dV \right\}, \quad (2.17)$$

где w - внутренний источник теплоты.

Соотношение (2.17) может быть выражено через сумму элементарных вкладов

$$\chi = \sum_{e=1}^E \chi^e$$

где χ^e - интеграл под знаком суммы.

Условие минимизации функционала (2.17) определяется выражением:

$$\frac{\partial \chi}{\partial T} + \frac{\partial}{\partial T} \sum_{e=1}^E \chi^e + \sum_{e=1}^E \frac{\partial \chi^e}{\partial T} = 0 \quad (2.18)$$

С применением метода конечных элементов матрица \mathbf{g}^e запишется в виде:

$$\mathbf{g}^e = \mathbf{B}^e \mathbf{T}^e \quad (2.19)$$

С учетом этого выражение (2.17) переписывается в виде:

$$\begin{aligned} \chi^e = & \frac{1}{2} \int_{V_2} \frac{1}{2} \mathbf{T}^T \mathbf{B}^T \mathbf{S} \mathbf{B} \mathbf{T} dV + \int_{V^e} \left[\eta \mathbf{N} \mathbf{T} \mathbf{N}^T \left(\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \tau} \right) - w \mathbf{N} \mathbf{T} \right] dV + \int_{V_1} \frac{\alpha}{2} \mathbf{T}^T \mathbf{N}^T \mathbf{N} \mathbf{T} dV + \\ & + \int_{V_1} \alpha \mathbf{T}_{cp} \mathbf{N} \mathbf{T} dV + \int_{V_1} \frac{\alpha}{2} \mathbf{T}_{cp}^2 dV + \int_{V_2} (\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_R^{e,i,j}) \mathbf{N} \mathbf{T} dV. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Процедура минимизации сводится к нахождению дифференциала произведений матриц типа $\mathbf{N} \mathbf{T}$ и $\mathbf{T}^T \mathbf{A} \mathbf{T}$ по \mathbf{T} , где \mathbf{N} - вектор-строка, \mathbf{T} - вектор-столбец и \mathbf{A} - квадратная матрица. Согласно [64] можно записать:

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{T}} (\mathbf{N} \mathbf{T}) = \mathbf{N}^T, \quad \frac{\partial}{\partial \mathbf{T}} (\mathbf{T}^T \mathbf{N}^T) = \mathbf{N}^T, \quad \frac{\partial}{\partial \mathbf{T}} (\mathbf{T}^T \mathbf{A} \mathbf{T}) = 2 \mathbf{A} \mathbf{T} \quad (2.21)$$

На основе данных соотношений, продифференцировав (2.20) получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \chi^e}{\partial \mathbf{T}} = & \int_{V^e} (\mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B}) \mathbf{T} dV + \int_{V^e} \eta \mathbf{N}^T \mathbf{N} \left(\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \tau} \right) dV + \int_{V_1} \alpha \mathbf{N}^T \mathbf{N} \mathbf{T} dV + \int_{V^e} w \mathbf{N}^T dV + \\ & + \int_{V_1} \alpha \mathbf{T}_{cp} \mathbf{N}^T dV + \int_{V_2} (\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_R^{e,i,j}) \mathbf{N}^T dV \end{aligned} \quad (2.22)$$

Или в свернутом виде:

$$\frac{\partial \chi^e}{\partial \mathbf{T}} = \mathbf{c}^e \left(\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \tau} \right) + \mathbf{k}^e \mathbf{T} + \mathbf{f}^e \quad (2.23)$$

При поэлементном объединении выражений (2.19) получим:

$$\frac{\partial \chi}{\partial T} = \sum_{e=1}^E \left[c^e \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right) + k^e T + f^e \right] = 0, \quad (2.24)$$

что равнозначно выражению

$$C \frac{\partial T}{\partial \tau} + KT + F = 0, \quad (2.25)$$

где C , K - глобальные матрицы теплоемкости и теплопроводности, соответственно, F - глобальный вектор тепловой нагрузки.

Для уменьшения погрешности вычислительного процесса методом конечных элементов могут быть использованы следующие возможные варианты: увеличение симплекс-элементов за счет уменьшения их размеров; переход к элементам более высокого порядка с уменьшением их количества.

Рассмотрим двумерный мультиплекс-элемент, изображенный на рисунке

2.2 применительно к поверхности $S_e = \frac{V_e}{l_z}$.

Для него получим:

$$N_r = \frac{1}{4} (1 + \xi \xi_r) (1 + \eta \eta_r) \quad (2.26)$$

где $r = i, j, \lambda, l$, а остальные функции приравниваются нулю.

Так как элемент изопараметрический, то функции формы и функции связи между переменными в данных системах координат равны базисным. В этом случае

$$x = N(\xi, \eta)X, \quad y = N(\xi, \eta)Y, \quad (2.27)$$

где X , Y – вектор-столбцы глобальных координат узлов.

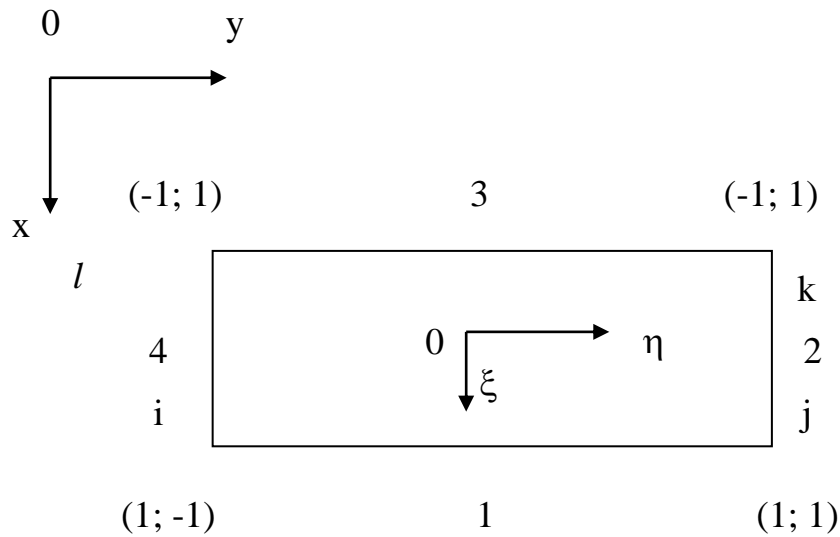


Рисунок 2.2 - Двумерный мультиплекс-элемент

Якобиан преобразования координат выглядит следующим образом:

$$J_s = \begin{bmatrix} \frac{l_x}{2} & \\ & \frac{l_y}{2} \end{bmatrix}, \det J_s = \frac{A^e}{4}, J_s^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{2}{l_x} & \\ & \frac{2}{l_y} \end{bmatrix}, \quad (2.28)$$

где $A^e = l_x l_y$ - площадь элемента.

Из формулы следует, что элементы обратного якобиана имеют вид:

$$b_{11} = \frac{2}{l_x}, \quad b_{22} = \frac{2}{l_y}. \quad (2.29)$$

Объемная часть матрицы теплопроводности представлена в виде формулы:

$$\lambda_s^e = \int_{S_e} B^T D B |\det J_s| d\xi d\eta. \quad (2.30)$$

Произведение $B^T D B$ описывается выражением:

$$\mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \lambda_{xx} \mathbf{b}_{11} \mathbf{a}_{12} & \lambda_{yy} \mathbf{b}_{22} \mathbf{a}_{21} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \lambda_{xx} \mathbf{b}_{11} \mathbf{a}_{14} & \lambda_{yy} \mathbf{b}_{22} \mathbf{a}_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{b}_{11} \mathbf{a}_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & \mathbf{b}_{11} \mathbf{a}_{14} \\ \mathbf{b}_{22} \mathbf{a}_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & \mathbf{b}_{22} \mathbf{a}_{24} \end{bmatrix}. \quad (2.31)$$

При этом

$$\mathbf{a}_{11} = \frac{1}{2}(1 - \eta) = -\mathbf{a}_{14}; \quad \mathbf{a}_{12} = \frac{1}{2}(1 + \eta) = -\mathbf{a}_{13}. \quad (2.32)$$

При единичной толщине элемента:

$$dS = |\det \mathbf{J}_s| \delta d\xi d\eta = \frac{\delta A^e}{4} d\xi d\eta. \quad (2.33)$$

Для матрицы теплопроводности справедлива запись:

$$\lambda_s^e = \frac{A^e}{4} \frac{\delta}{6} \sum_{i=1}^2 \mathbf{b}_{i=1}^2 = \mathbf{D}(\overline{\mathbf{A}}_1)_{ij\lambda}, \quad (2.34)$$

При определении поверхностных компонентов матрицы теплопроводности учитывается:

$$\det \mathbf{J}_{s_{1,3}} = \frac{\ell_x}{2}, \quad \det \mathbf{J}_{s_{2,4}} = \frac{\ell_y}{2}, \quad (2.35)$$

$$dS_{1,3} = \delta d\xi \quad dS_{2,4} = \delta d\eta.$$

Базисные функции на сторонах 1,3 ($\xi = \pm 1$) и 2,4 ($\eta = \pm 1$) определяются по формулам

$$\begin{aligned} N_{i1} = N_{i3} &= \frac{1}{2}(1-\eta), \quad N_{j1} = N_{k3} = \frac{1}{2}(1+\eta), \\ N_{j4} = N_{k2} &= \frac{1}{2}(1+\xi), \quad N_{k2} = N_{i4} = \frac{1}{2}(1-\xi). \end{aligned} \quad (2.36)$$

С учетом выражений (2.34)-(2.35) общая расчетная формула имеет вид:

$$\lambda_s^e = \frac{\delta}{6} \sum_{i=1}^4 a_i \ell_i \mathbf{u}_i, \quad (2.37)$$

где \mathbf{u}_i - симметричная числовая матрица размером 4x4 при $i=1$ имеющая вид:

$$\mathbf{u}_1 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ & 2 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 \\ & & & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.38)$$

Вид остальных матриц находится циклической перестановкой индексов узлов элемента.

Базисные функции квадратичного двумерного элемента прямоугольной формы для узлов в его вершинах:

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi\xi_i)(1 + \eta\eta_i)(\xi\xi_i + \eta\eta_i - 1).$$

Для узлов, расположенных в центре сторон:

$$\xi_i = 0 \quad N_i = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 + \eta \eta_i)$$

$$\eta_i = 0 \quad N_i = \frac{1}{2} (1 + \xi \xi_i) (1 - \eta^2).$$

По данной методике осуществлен численный расчет температурного поля поверхности тела человека при проведении тепловых косметологических процедур. Результаты вычислительного эксперимента с соответствующими выводами рассмотрены в следующем параграфе.

2.3 Результаты численного эксперимента по расчету температурного поля поверхности тела человека при контрастном тепловом воздействии охлаждающей термоэлектрической системой для тепловых косметологических процедур

Численный эксперимент осуществлялся с учетом существующих режимов проведения тепловых терапевтических процедур на человеческий организм. При этом в качестве исходных принимались следующие показатели: уровень теплового воздействия - 280-313 К, экспозиция теплового воздействия - 300-600 с, обеспечение как равномерного охлаждения поверхности тела, так и контрастного теплового воздействия со сменой режимов как во времени, так и в пространстве. В ТЭС применяются 6 стандартных ТЭМ, расположенных в два ряда. Параметры биологического объекта теплового воздействия следующие [60, 70]: $\lambda = 0,6$ Вт/(м·К), $C = 3458$ Дж/(кг·К), $\rho = 1041$ кг/м³, мощность тепловыделений 15 Вт (в общем случае зависит от части тела, подвергающейся процедурам [42]), температура всех точек ТЭС в начальный момент времени равняется температуре окружающей среды, составляющей 295 К, температура биологического объекта - 309,6 К. Рассматривается поверхность воздействия (биологического объекта), имеющая прямоугольную форму для упрощения

представления и интерпретации результатов расчета. Трехмерная модель структуры ТЭС - биологический объект с конечно-элементной сеткой изображена на рисунке 2.3. На рисунке 2.4 показана поверхность теплового воздействия с размерами составляющих элементов, данными в миллиметрах.

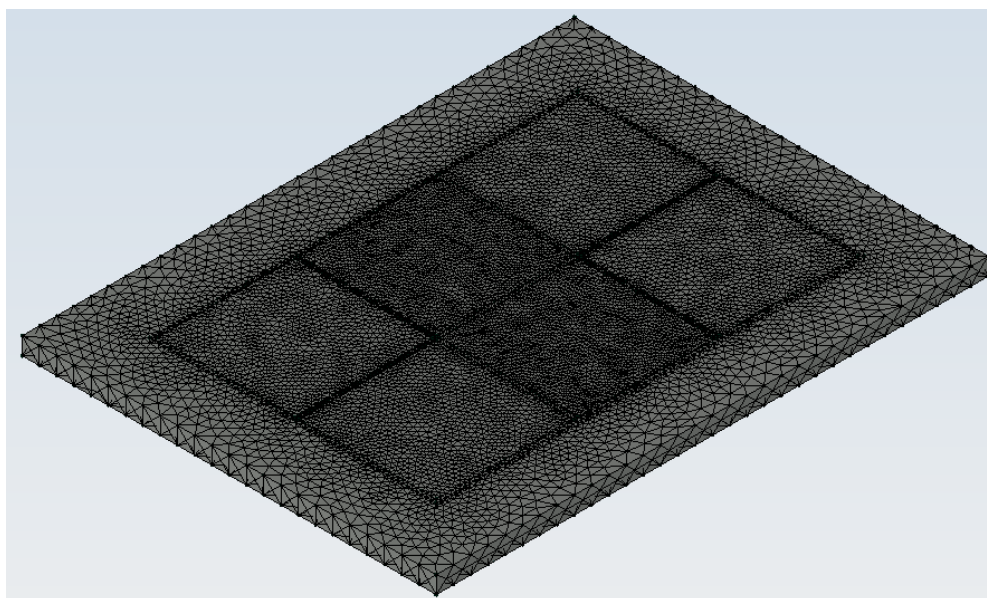


Рисунок 2.3 - Трехмерная модель структуры ТЭС - биологический объект с конечно-элементной сеткой

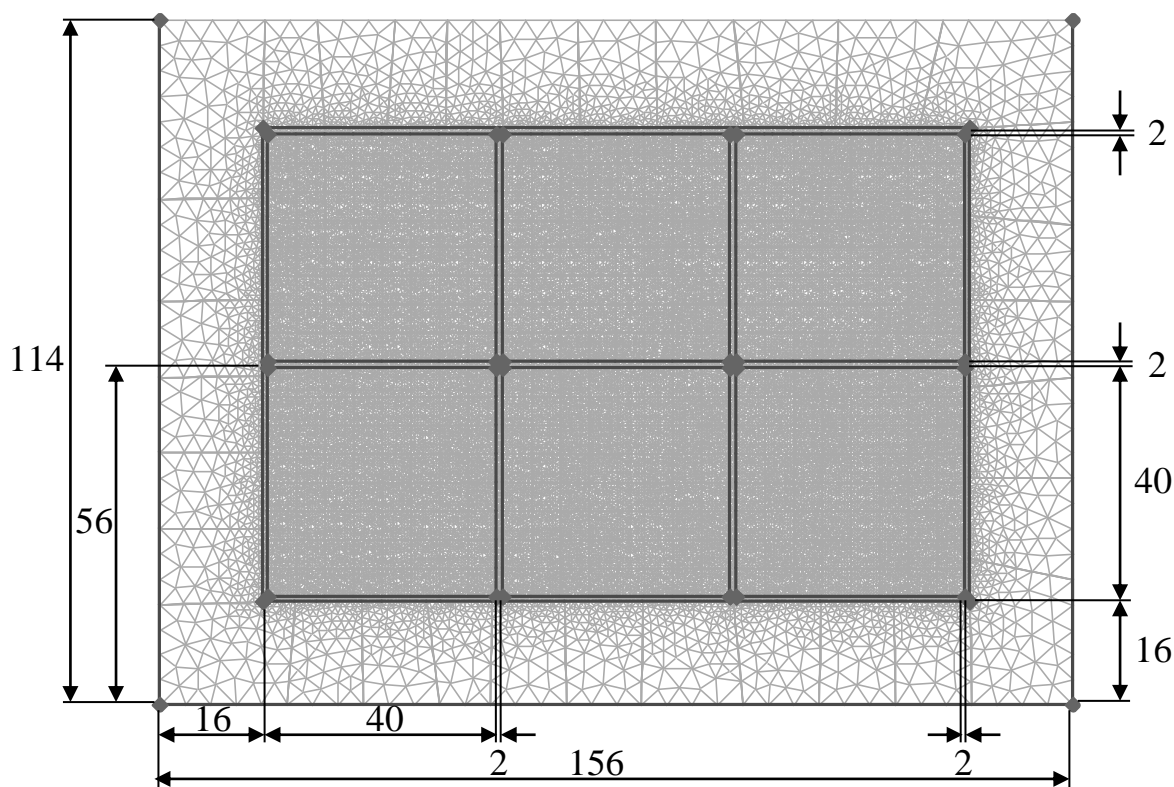


Рисунок 2.4 - Поверхность теплового воздействия с размерами

Результаты произведенных расчетов представлены на рисунках 2.5-2.13. На рисунке 2.5 показано трехмерное температурное поле биологического объекта при его равномерном охлаждении термоэлектрическим прибором при мощности одного ТЭМ 12 Вт. Соответствующая двумерная картина изображена на рисунке 2.6.

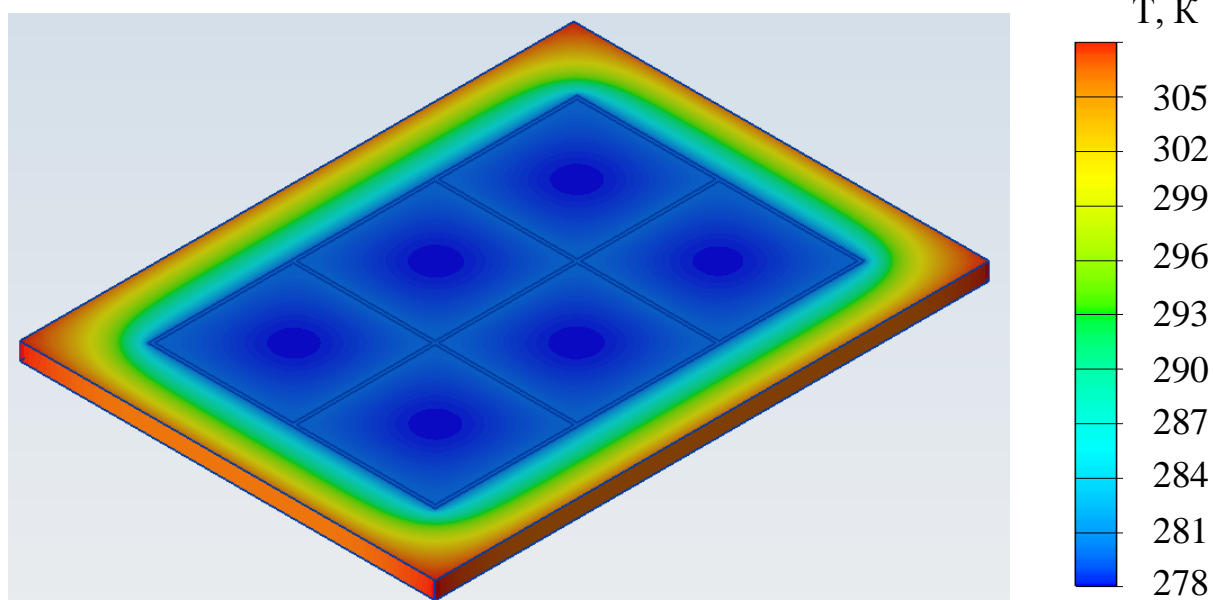


Рисунок 2.5 - Трехмерное температурное поле биологического объекта при его равномерном охлаждении

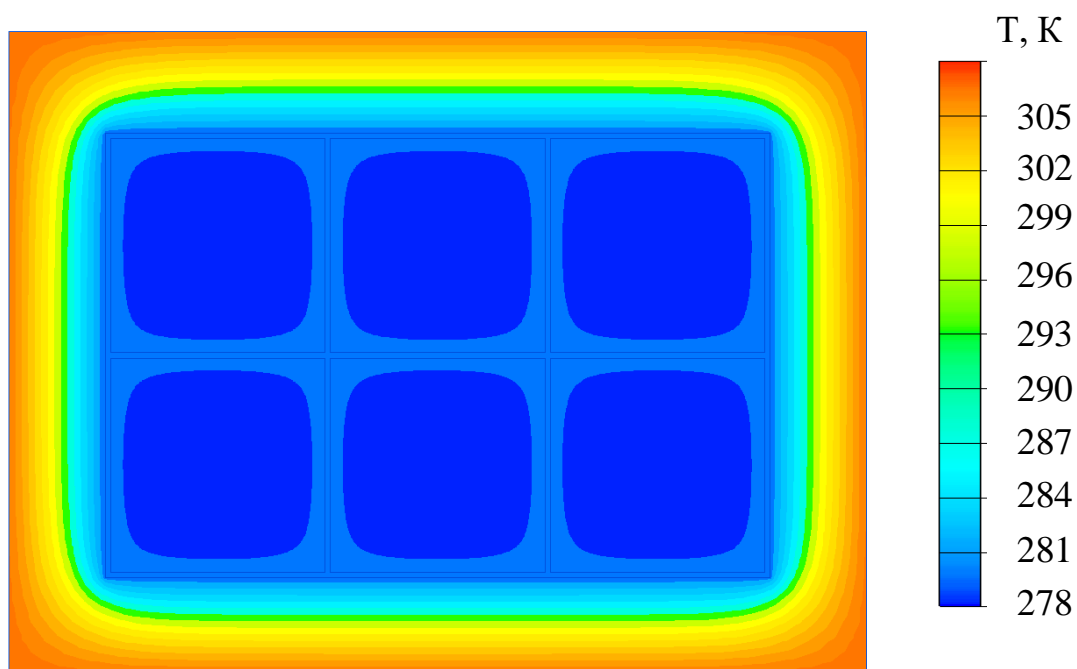


Рисунок 2.6 - Двумерное температурное поле биологического объекта при его равномерном охлаждении

Графики представлены для случая выхода структуры ТЭС - биологический объект воздействия на стационарный режим. Согласно ним температура поверхности тела человека снижается в области, непосредственно сопряженной с ТЭС до температуры 280-281 К. При этом наблюдается некоторый градиент температуры (приблизительно до 1 К) по поверхности воздействия, что связано с конечным значением коэффициента теплопроводности основания и ТЭМ. Температура поверхности тела человека от границы ее контакта с ТЭС быстро увеличивается и на расстоянии приблизительно 16 мм становится практически равной 309,6 К. Данное обстоятельство очевидно и связано с малой величиной коэффициента теплопроводности биологического объекта, равной 0,6 Вт/(м·К).

Для численного анализа теплофизических процессов при работе термоэлектрического прибора в режиме равномерного охлаждения поверхности воздействия более информативными являются одномерные графики изменения температуры вдоль определенной линии. На рисунке 2.7 представлены графики изменения температуры в горизонтальном направлении через центр верхних ТЭМ для их различных мощностей $Q_{ТЭМ}$ ($Q_{ТЭМ}=q_{ТЭМ}/V_{ТЭМ}$).

В соответствие с графиками при увеличении мощности ТЭМ, входящих в ТЭС, понижается температура биологического объекта. Так при увеличении мощности ТЭМ с 8 до 12 Вт наблюдается снижение температуры поверхности тела человека с 284 до 280 К. При этом температура в центральном ТЭМ несколько ниже температуры остальных термомодулей (примерно на 0,5 К). Данное обстоятельство определяется взаимным влиянием ТЭМ, которое максимально для ТЭМ, расположенного в центре. Однако ввиду того, что такое незначительное расхождение температур по площади воздействия (0,5 К для центрального ТЭМ и 1 К по всей поверхности теплового воздействия) не сказывается на лечебном аспекте процедур [14], им можно пренебречь.

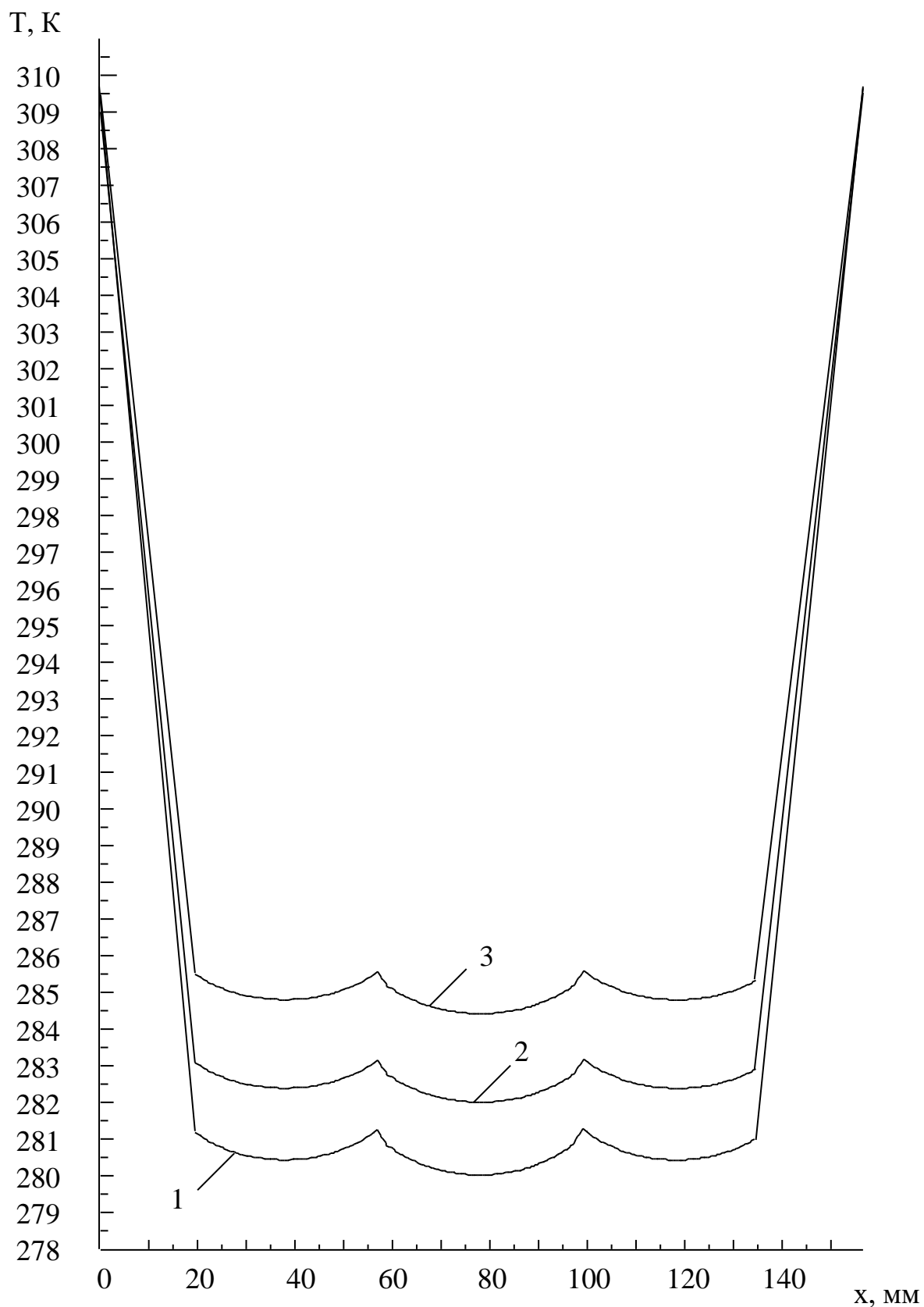


Рисунок 2.7 - Изменение температуры биологического объекта в горизонтальном направлении через центр ТЭМ для их различных мощностей

1 - $Q_{\text{ТЭМ}}=12$ Вт, 2 - $Q_{\text{ТЭМ}}=10$ Вт, 3 - $Q_{\text{ТЭМ}}=8$ Вт

Помимо равномерного охлаждения поверхности тела человека часто практикуются тепловые косметологические процедуры, связанные с контрастным воздействием на биологический объект. Представляет интерес исследование подобных режимов работы ТЭС. Двумерные температурные поля биологического объекта для этих случаев приведены на рисунках 2.8-2.10.

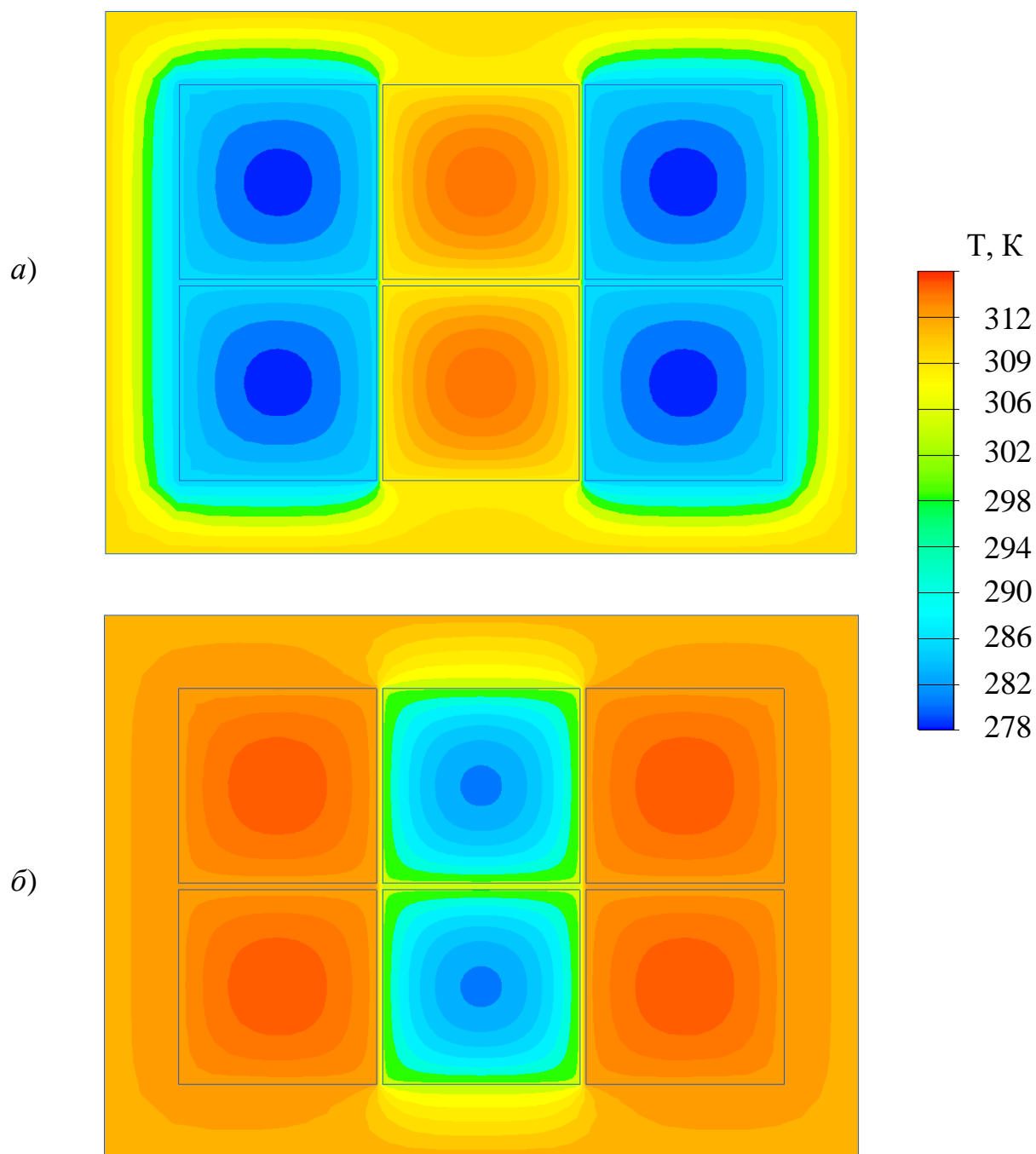


Рисунок 2.8 - Двумерное температурное поле биологического объекта при контрастном воздействии

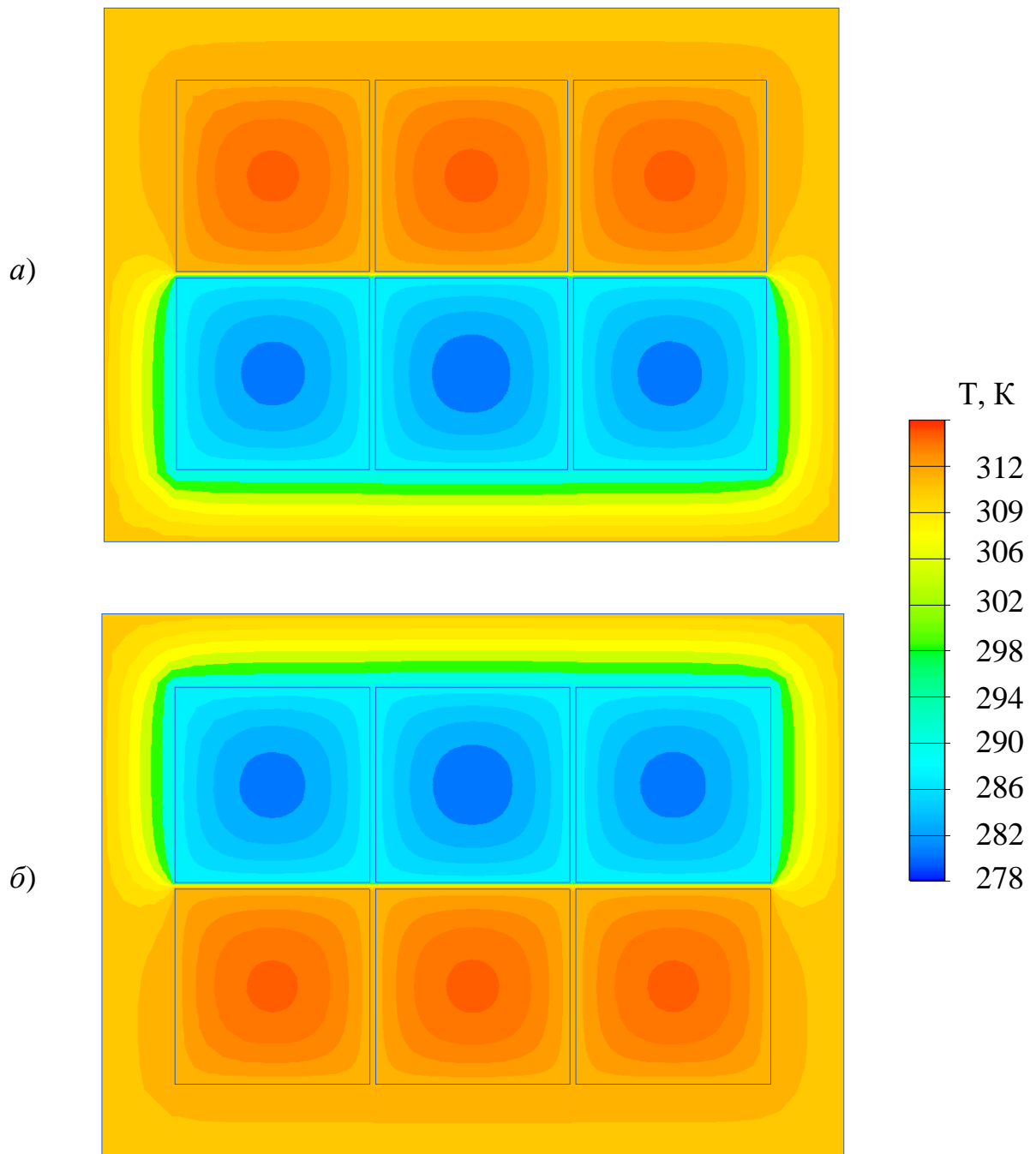


Рисунок 2.9 - Двумерное температурное поле биологического объекта при контрастном воздействии

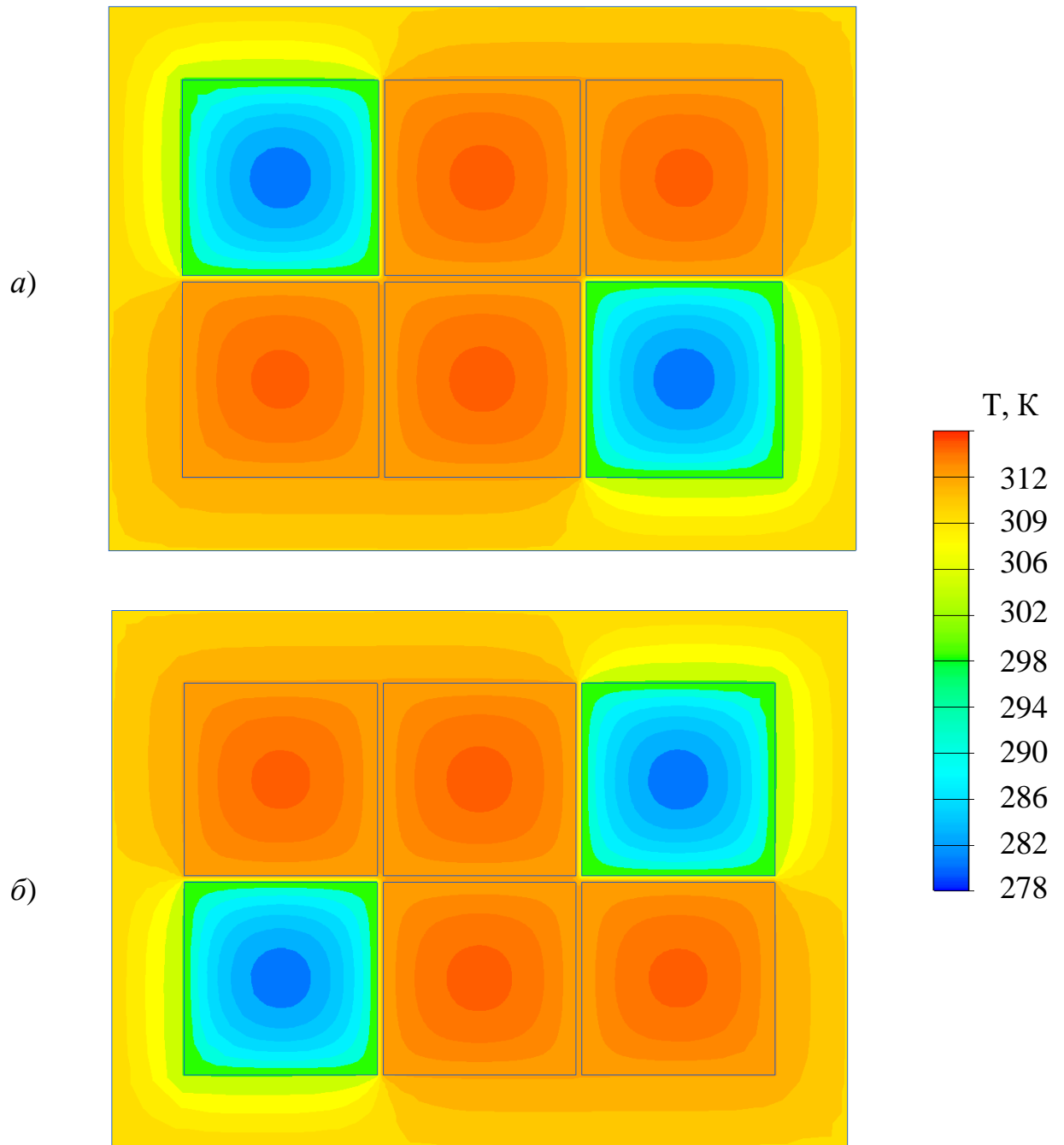


Рисунок 2.10 - Двумерное температурное поле биологического объекта при контрастном воздействии

На рисунке 2.8-2.9 рассмотрен вариант коридорного расположения холодных и горячих зон, причем в первом случае зоны высокой и низкой температуры расположены вертикально, а во втором горизонтально. На рисунке 2.10 рассмотрен вариант, когда холодные зоны располагаются по углам ТЭС, а в ее центральной части находятся области высокой температуры. Также, как и в предыдущем случае более информативными являются полученные одномерные графики. На рисунке 2.11 в качестве примера представлены зависимости изменения температуры в горизонтальном направлении через центр верхних ТЭМ для случая, соответствующего рисунку 2.8, при $Q_{\text{ТЭМ}}$, равном 10 и 12 Вт.

В соответствие с результатами численного эксперимента следует, что обеспечить требуемый уровень контрастного теплового воздействия с понижением и повышением температуры зон возможно путем использования ТЭМ тех же мощностей, что и для равномерного охлаждения участка человеческого тела. Так для обеспечения коридорного расположения горячих и холодных зон по вертикали при температурах последних 280, 282 К и 310,5, 308,5 К достаточно применение ТЭМ мощностью 12 Вт и 10 Вт соответственно. Также, как и для случая равномерного охлаждения поверхности тела человека, при контрастном воздействии имеет место взаимное влияние соседних ТЭМ, работающих в режиме охлаждения и нагрева. При расчетах установлено, что такое взаимное влияние повышает (понижает) температуру участков с различной температурой примерно на 3-4 К.

В данной ситуации для оптимизации энергетических характеристик ТЭС имеет смысл использование различных режимов ТЭМ. Так, например, работа ТЭМ, расположенных в центре ТЭС может быть реализована путем эксплуатации в режиме максимального холодильного коэффициента, а функционирование термомодулей, находящихся по бокам - в режиме максимальной холодопроизводительности.

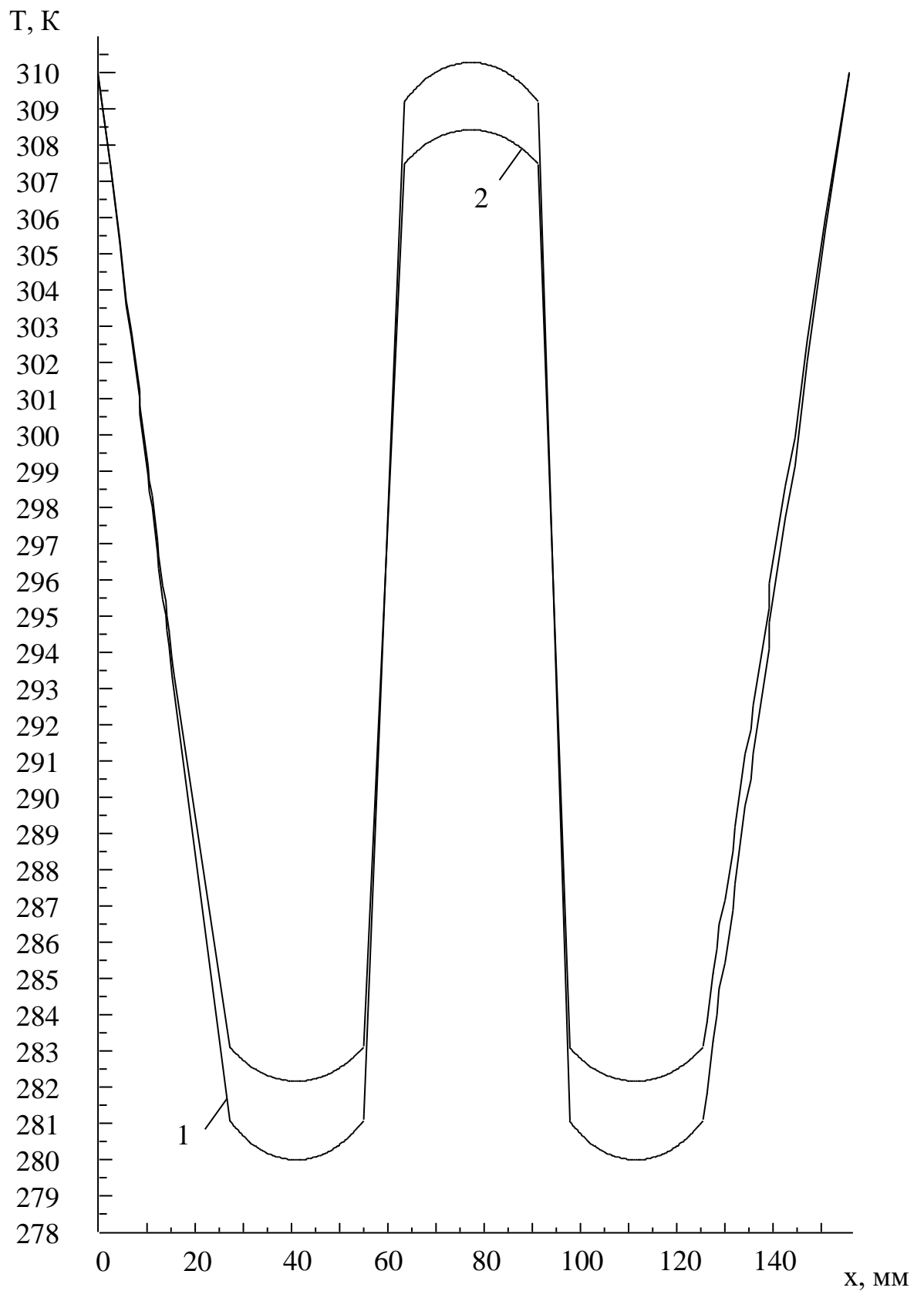


Рисунок 2.11 - Изменение температуры биологического объекта в горизонтальном направлении через центр ТЭМ для их различных мощностей

1 - $Q_{TЭМ} = 12$ Вт, 2 - $Q_{TЭМ} = 10$ Вт

Для анализа инерционности исследуемой ТЭС на рисунках 2.12-2.13 представлены графики изменения температуры под центром ТЭС, работающей в режиме охлаждения для различных $Q_{ТЭМ}$ и контрастного теплового воздействия во времени (нагрев - охлаждение и охлаждение - нагрев) при $Q_{ТЭМ}=12$ Вт. Согласно полученным данным длительность выхода системы на стационарный режим работы лежит в относительно небольших пределах. Для случая, соответствующего приведенным зависимостям, время, необходимое для стабилизации температуры биологического объекта, находится в пределах 400 с. Данное обстоятельство необходимо учитывать при проведении косметологических процедур, то есть целесообразным является включение системы до проведения процедур для вывода ее на рабочий режим и уже затем воздействие на пациента.

Другим вариантом является применение форсированных режимов работы ТЭМ в термоэлектрическом приборе в начале его функционирования. В этом случае на первоначальном этапе для питания ТЭМ используются максимальные токи, соответствующие режиму максимальной холодопроизводительности термоэлементов. После этого сила питающего тока термомодулей уменьшается и все они выводятся, например, на режим максимального холодильного коэффициента. В этом случае продолжительность выхода на требуемый уровень охлаждения ТЭС значительно уменьшается. В соответствии с результатами работы [72] она может быть уменьшена в 1,3-1,5 раза. Однако для данного варианта работы ТЭС необходимо использование программируемого источника постоянного электрического тока, обеспечивающего различные режимы работы прибора. Так как на данный момент использование такого элемента не представляет существенных сложностей, то применение исследуемой ТЭС совместно с таким блоком является наиболее предпочтительным вариантом.

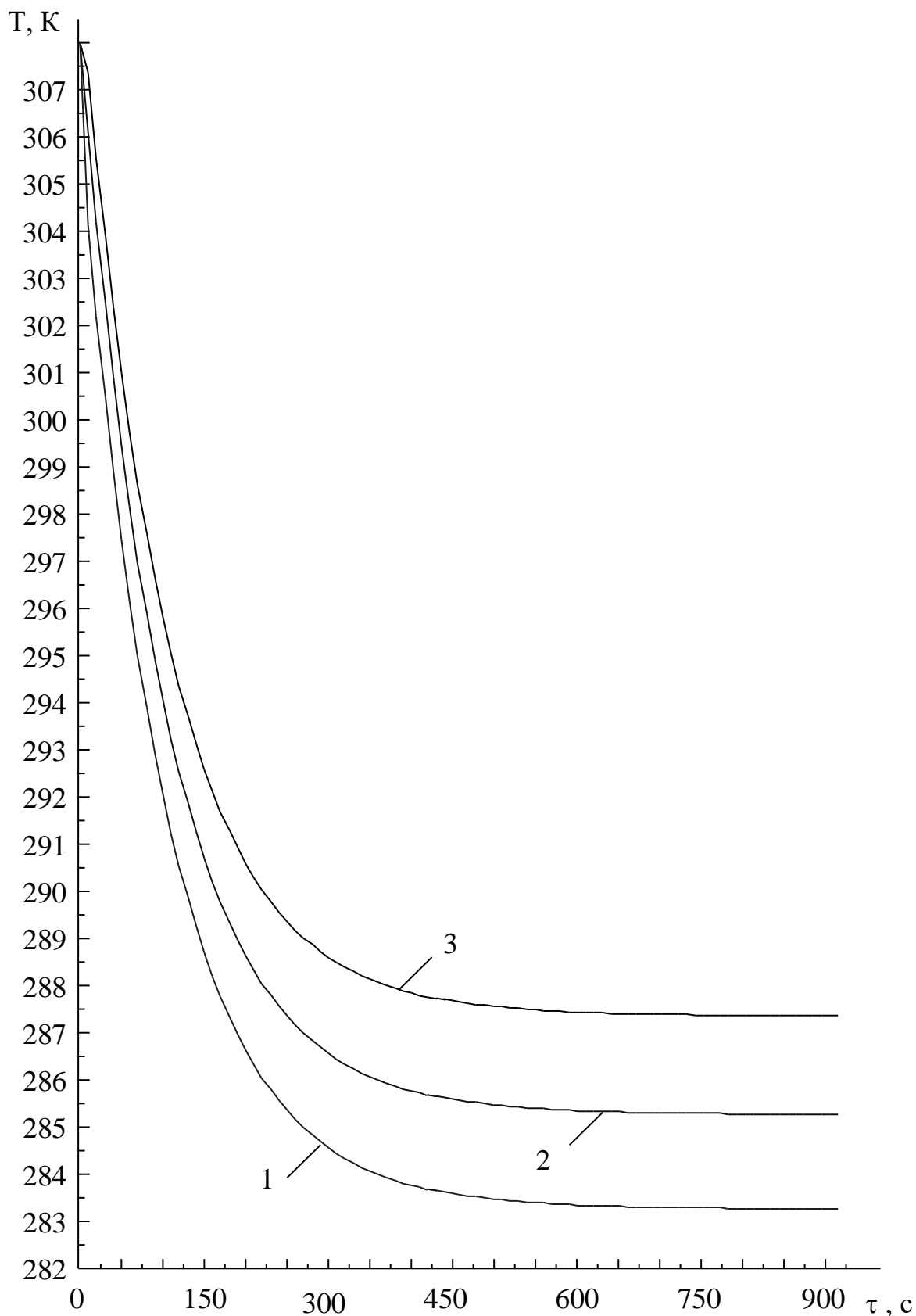


Рисунок 2.12 - Изменение температуры биологического объекта во времени под центром ТЭС, работающей в режиме охлаждения для различных $Q_{TЭМ}$
 1 - $Q_{TЭМ}=11$ Вт, 2 - $Q_{TЭМ}=9$ Вт, 3 - $Q_{TЭМ}=7$ Вт

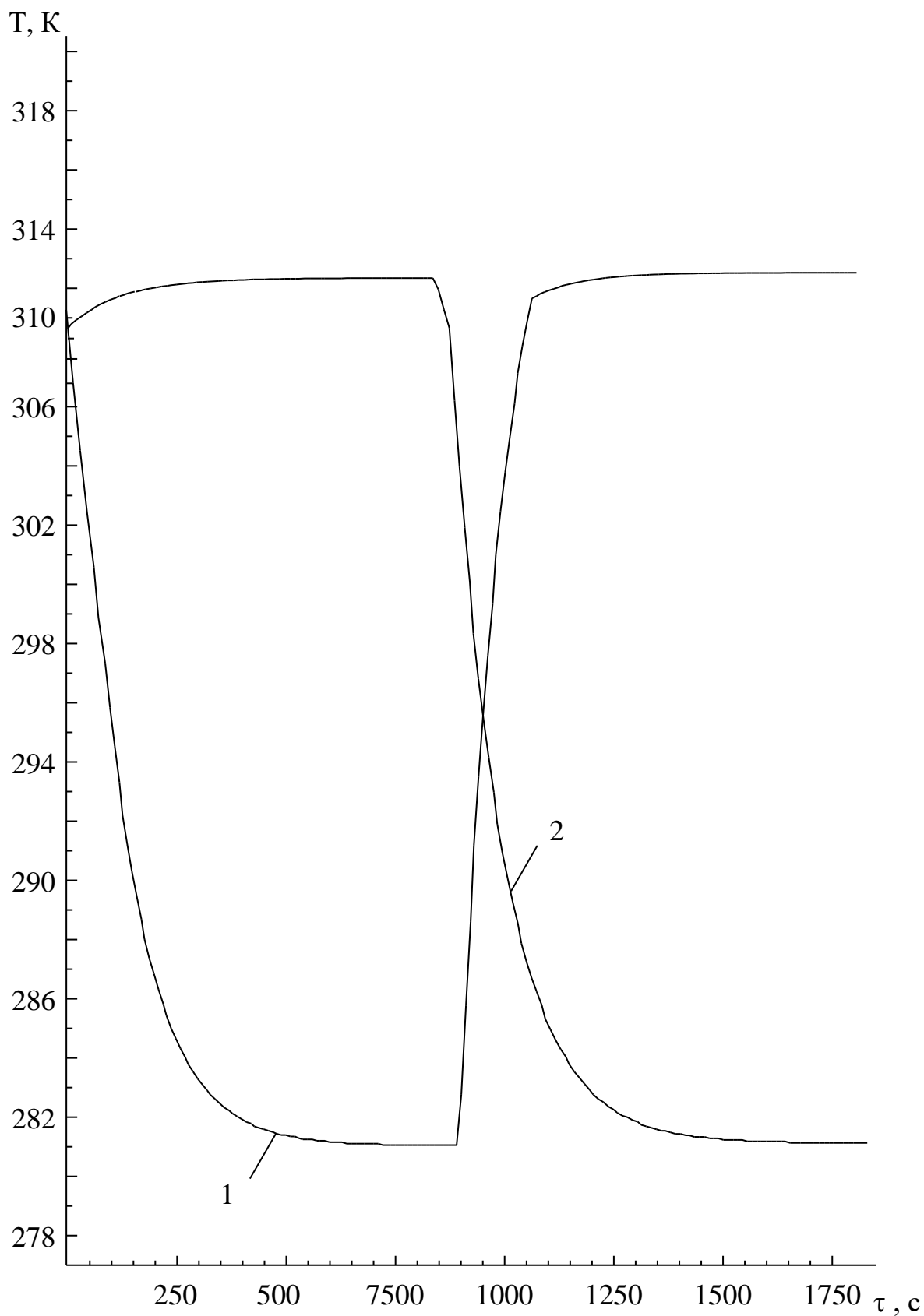


Рисунок 2.13 - Изменение температуры биологического объекта во времени под центром ТЭС, работающей в режиме нагрева и последующего охлаждения при $Q_{ТЭМ}=12$ Вт
 1 - режим нагрева - охлаждения, 2 - режим охлаждения - нагрева

2.4 Методика расчета термоэлектрического модуля в охлаждающей термоэлектрической системой для тепловых косметологических процедур

Исходными данными для расчета ТЭМ являются величина его мощности, найденная на этапе расчета температурного поля биологического объекта воздействия, а также характеристики термоэлектрического вещества и условия окружающей среды. При этом искомыми являются геометрические размеры термоэлементов, величина питающего их электрического тока, потребляемая электроэнергия.

Рассмотрим методику определения этих характеристик, используя результаты [43].

Пусть имеется ТЭМ, состоящий из m термоэлементов. Тогда его мощность, приходящаяся на холодные спаи, будет определяться из соотношения:

$$Q_{\text{ТЭМ}} = mG T_{\text{ТЭМх}} \frac{s}{\ell} \frac{t-1}{t+1} (M-t) \quad (2.39),$$

где $M = \sqrt{1 + 0,5Z(T_{\text{ТЭМх}} + T_{\text{ТЭМг}})}$, $T_{\text{ТЭМх}}$ - температура холодного спая термоэлемента, $T_{\text{ТЭМг}}$ - температура горячего спая термоэлемента,

$t = \frac{T_{\text{ТЭМг}}}{T_{\text{ТЭМх}}}$, $Z = \frac{e^2}{(\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n})^2}$ - добротность термоэлемента, e -

коэффициент термо-э.д.с. термоэлемента, $G = \frac{2M}{M-1} \frac{\sqrt{\lambda_p \rho_p} + \sqrt{\lambda_n \rho_n}}{\sqrt{\lambda_p \rho_n} + \sqrt{\lambda_n \rho_p}} \sqrt{\lambda_n \lambda_p}$,

$\lambda_p, \rho_p, \lambda_n, \rho_n$ - удельные теплопроводности и сопротивления ветвей термопары р- и n-типа соответственно, s, ℓ - площадь поперечного сечения и длина ветвей термоэлемента.

Аналогичным образом определяется мощность ТЭМ, приходящаяся на его горячие спаи:

$$Q_{TЭМГ} = mGT_{TЭМХ} \frac{s}{\ell} \frac{t-1}{t+1} (tM-1) \quad (2.40)$$

Величина электрического тока, питающего ТЭМ, рассчитывается по формуле:

$$I_{TЭМ} = \frac{(M^2 - 1)Q_{TЭМ}}{eM(MT_{TЭМГ} - T_{TЭМХ})} \quad (2.41)$$

Геометрические размеры термоэлементов, входящих в состав ТЭМ (высота и площадь поперечного сечения) рассчитываются из ранее заданного отношения $\frac{s}{\ell}$, а также по известной величине питающего электрического тока:

$$\frac{\ell}{s} = \frac{e(T_{TЭМГ} - T_{TЭМХ})\sigma_p}{I_{TЭМ}(M-1)\left(1 + \frac{\sigma_p s_p}{\sigma_n s_n}\right)}, \quad (2.42)$$

$$\frac{\ell/s_p}{\ell/s_n} = \sqrt{\frac{\lambda_p \sigma_p}{\lambda_n \sigma_n}}, \quad (2.43)$$

где σ_p, σ_n - удельные электрические проводимости ветвей термоэлементов р-типа и n-типа соответственно.

Потребляемая электроэнергия определяется из соотношения

$$W_{\text{ТЭМ}} = I_{\text{ТЭМ}}^2 R_{\text{ТЭМ}}, \quad (2.44)$$

где $R_{\text{ТЭМ}} = n(\rho_n \frac{\ell}{S_n} + \rho_p \frac{\ell}{S_p})$ - электрическое сопротивление ТЭМ.

По соотношениям (2.39)-(2.44) может быть произведен расчет ТЭМ с определением его основных параметров, определяющих его режимы функционирования.

Однако во многих случаях в качестве ТЭМ в ТЭС могут быть использованы модули стандартного типа, количественный и качественный характер которых определяется исходя из существующих пакетов прикладных программ [81, 83].

Для настоящего случая предполагается использование стандартного ТЭМ, выпускаемого ООО "Криотерм" (г. Санкт-Петербург). Расчет его параметров произведен по программе Thermoelectric system calculation той же фирмы [81]. Выбран ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 имеющий следующие предельные характеристики: $I_{\text{ТЭМ.max}}=3,7$ А, $Q_{\text{ТЭМ.max}}=37,4$ Вт, $U_{\text{ТЭМ.max}}=16,3$ В, $\Delta T_{\text{ТЭМ.max}}=72$ К, $R_{\text{ТЭМ}}=3,2$ Ом.

На ниже приведенных рисунках 2.14-2.22 изображены внешний вид термомодуля с его размерами, зависимости величины вырабатываемого холода в единицу времени (холодопроизводительности), холодильного коэффициента, напряжения на ТЭМ от разности температур между спаями для набора величин тока питания, а также вольт-амперная характеристика ТЭМ при различных разностях температур между спаями, изменение температуры на холодном спае от тока питания, мощности ТЭМ от тока питания и потребляемой энергии, холодильного коэффициента от тока питания. Графики представлены при температуре горячего спая 320 К. Обеспечение отвода теплоты от горячих спаев ТЭМ предполагается осуществлять посредством воздушной теплообменной системы, работающей как в режиме естественного, так и принудительного отвода теплоты.

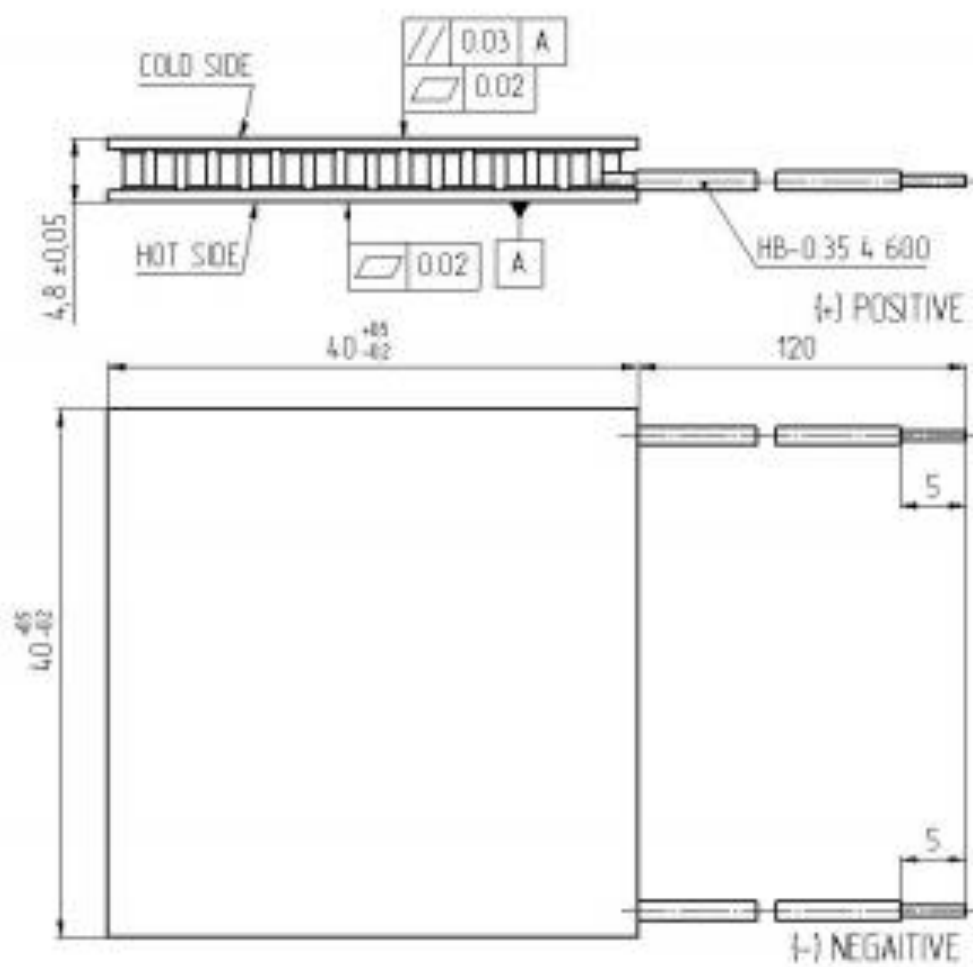
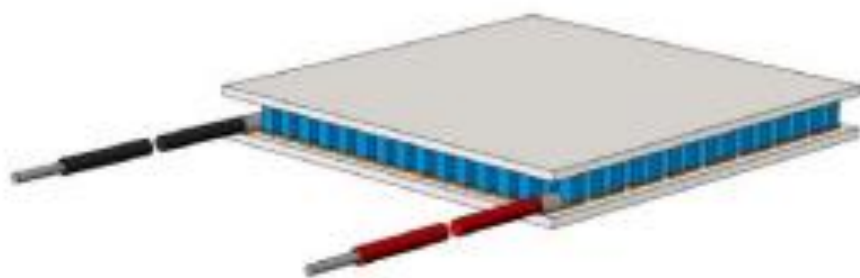


Рисунок 2.14 - Внешний вид ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5

$Q_{ТЭМ}, Вт$

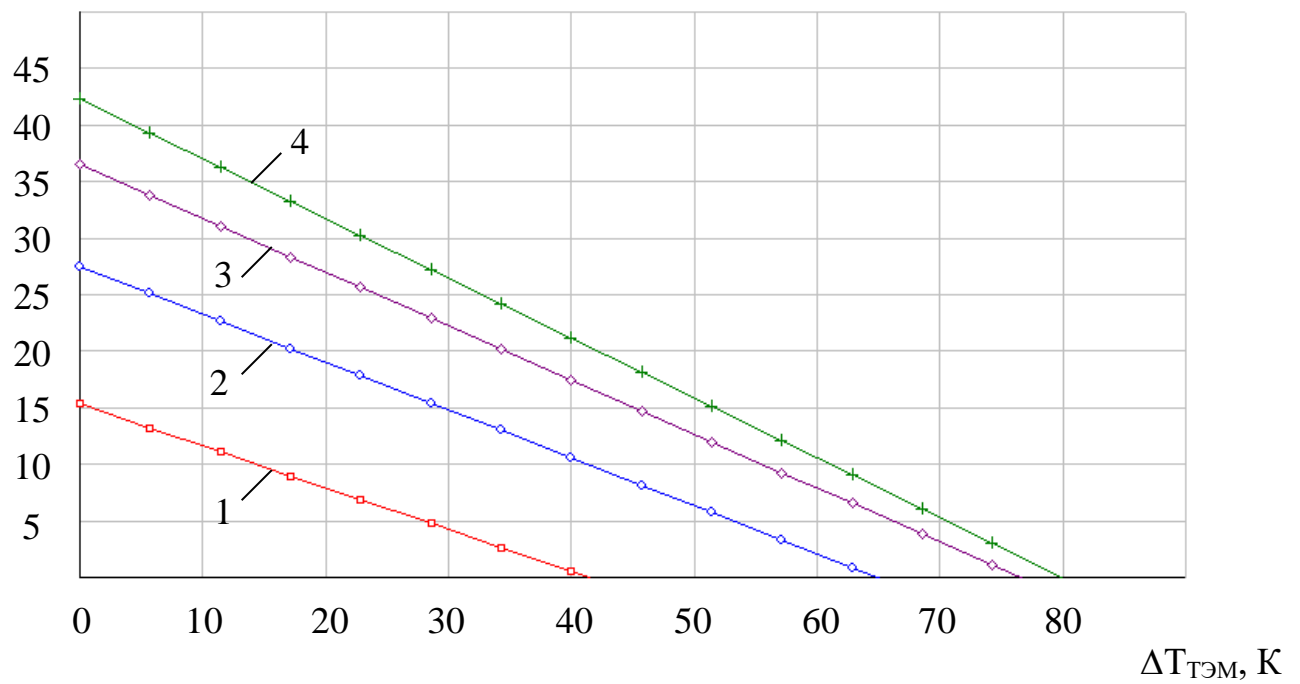


Рисунок 2.15 - Зависимость мощности ТЭМ от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания
1- $I_{ТЭМ}=1 А$, 2- $I_{ТЭМ}=2 А$, 3 - $I_{ТЭМ}=2,9 А$, 4 - $I_{ТЭМ}=3,9 А$

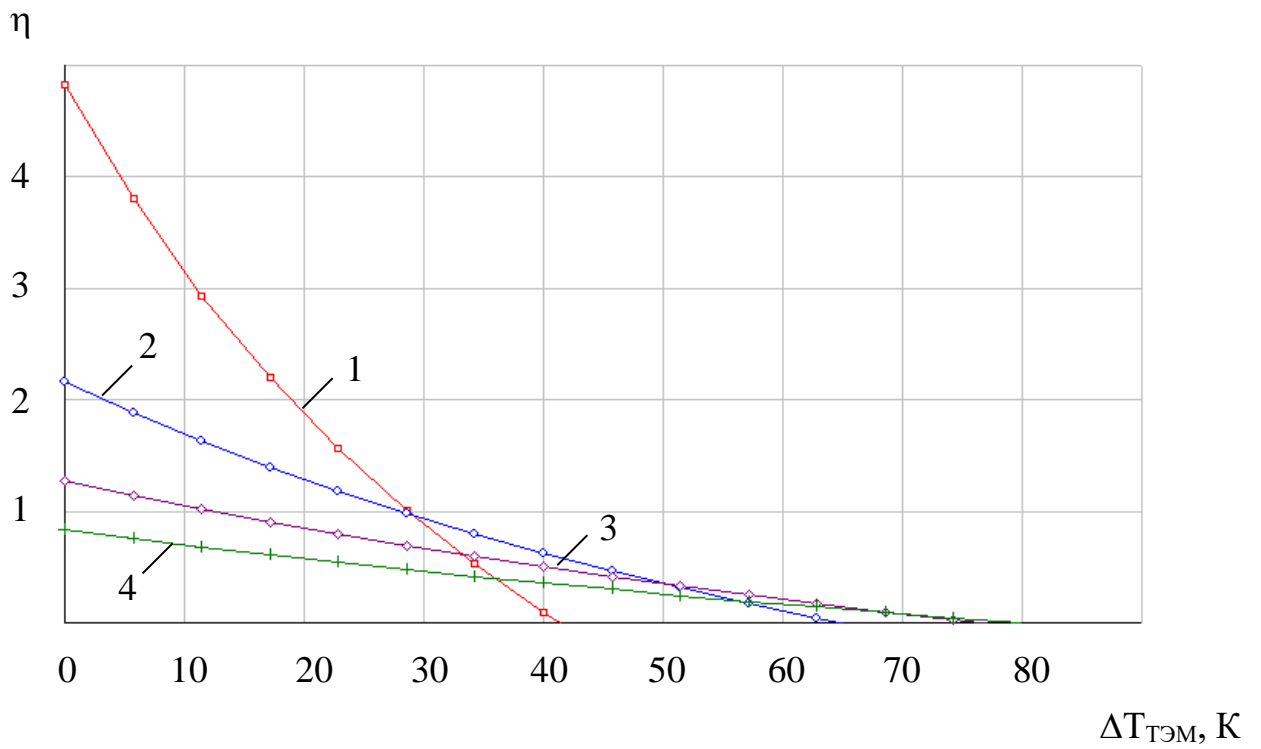
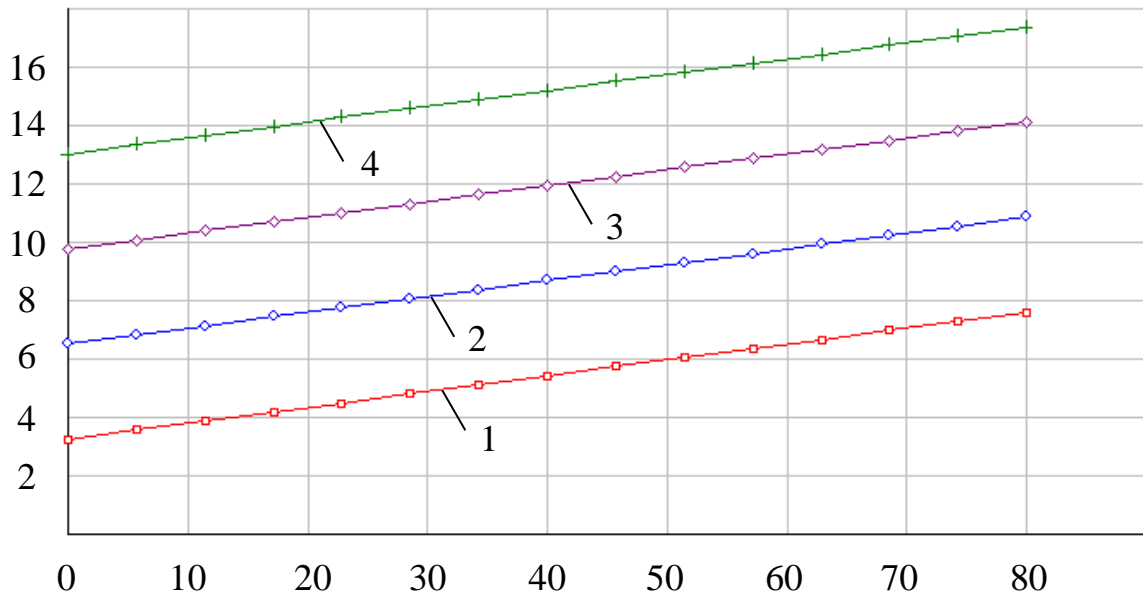


Рисунок 2.16 - Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания
 1- $I_{TЭМ}=1$ А, 2- $I_{TЭМ}=2$ А, 3 - $I_{TЭМ}=2,9$ А, 4 - $I_{TЭМ}=3,9$ А

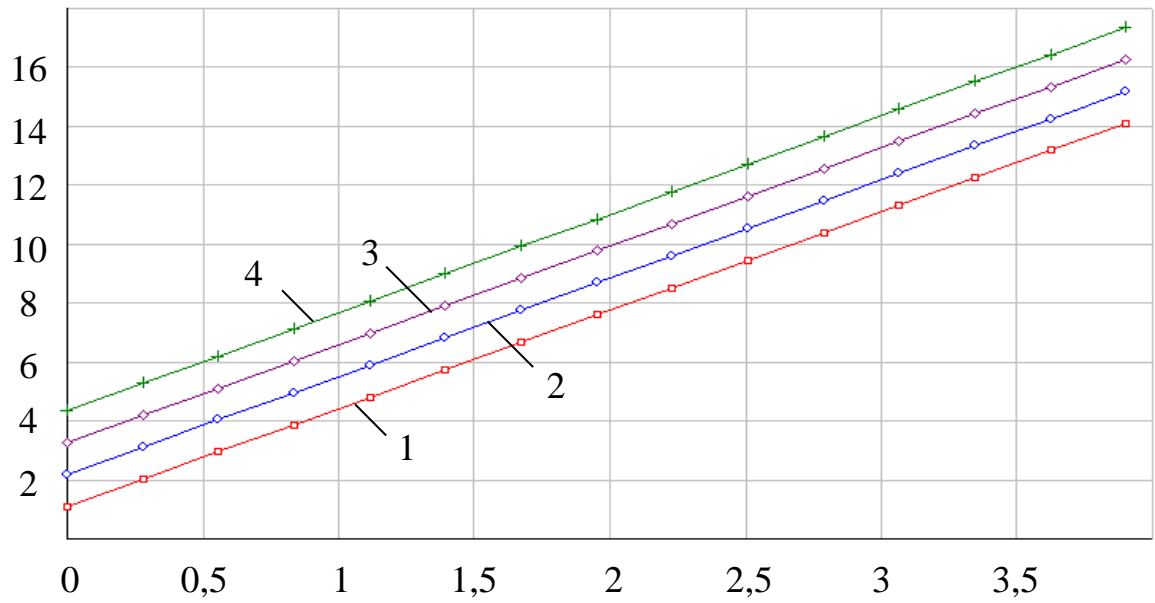
$U_{TЭМ}, В$



$\Delta T_{TЭМ}, К$

Рисунок 2.17 - Зависимость напряжения питания ТЭМ от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания
1- $I_{TЭМ}=1 А$, 2- $I_{TЭМ}=2 А$, 3 - $I_{TЭМ}=2,9 А$, 4 - $I_{TЭМ}=3,9 А$

$U_{ТЭМ}, В$



$I_{ТЭМ}, А$

Рисунок 2.18 - Зависимость напряжения ТЭМ от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями
1- $\Delta T_{ТЭМ} = 20 К$, 2- $\Delta T_{ТЭМ} = 40 К$, 3 - $\Delta T_{ТЭМ} = 60 К$, 4 - $\Delta T_{ТЭМ} = 80 К$

$T_{x.TЭМ}, K$

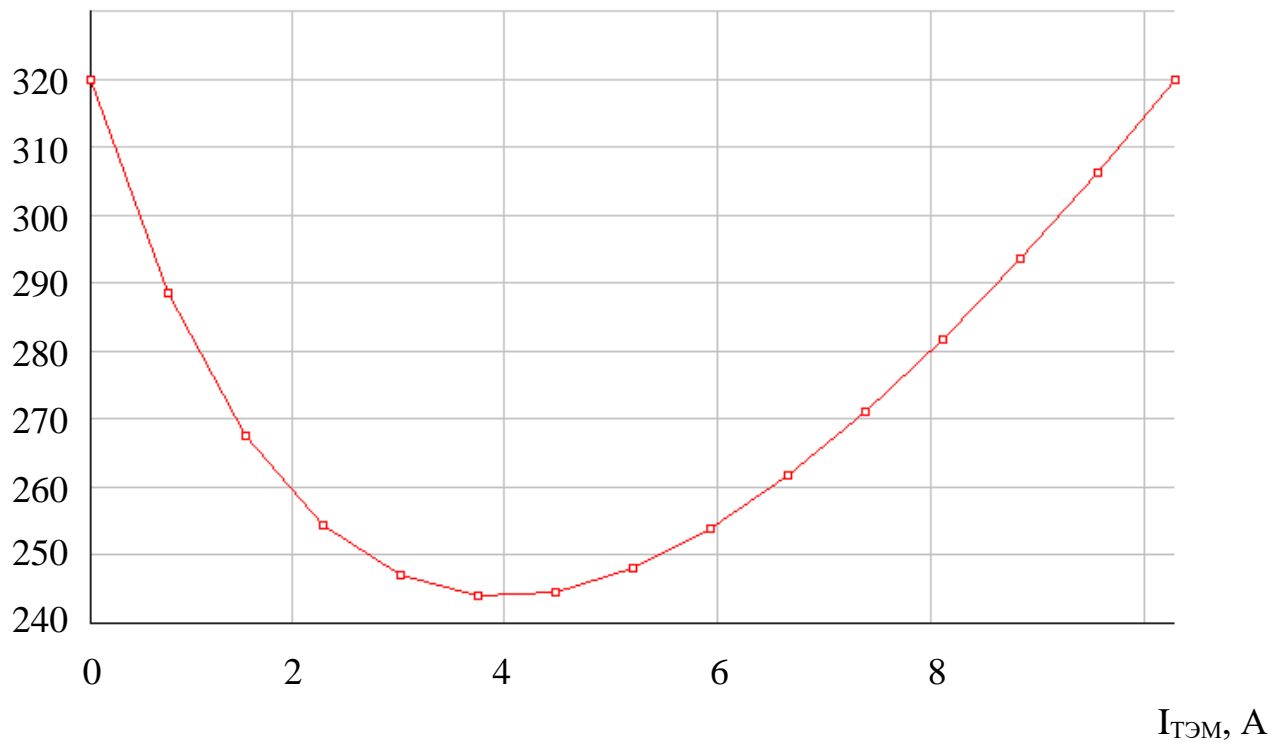


Рисунок 2.19 - Зависимость температуры на холодном спае ТЭМ от тока питания

$Q_{ТЭМ}, Вт$

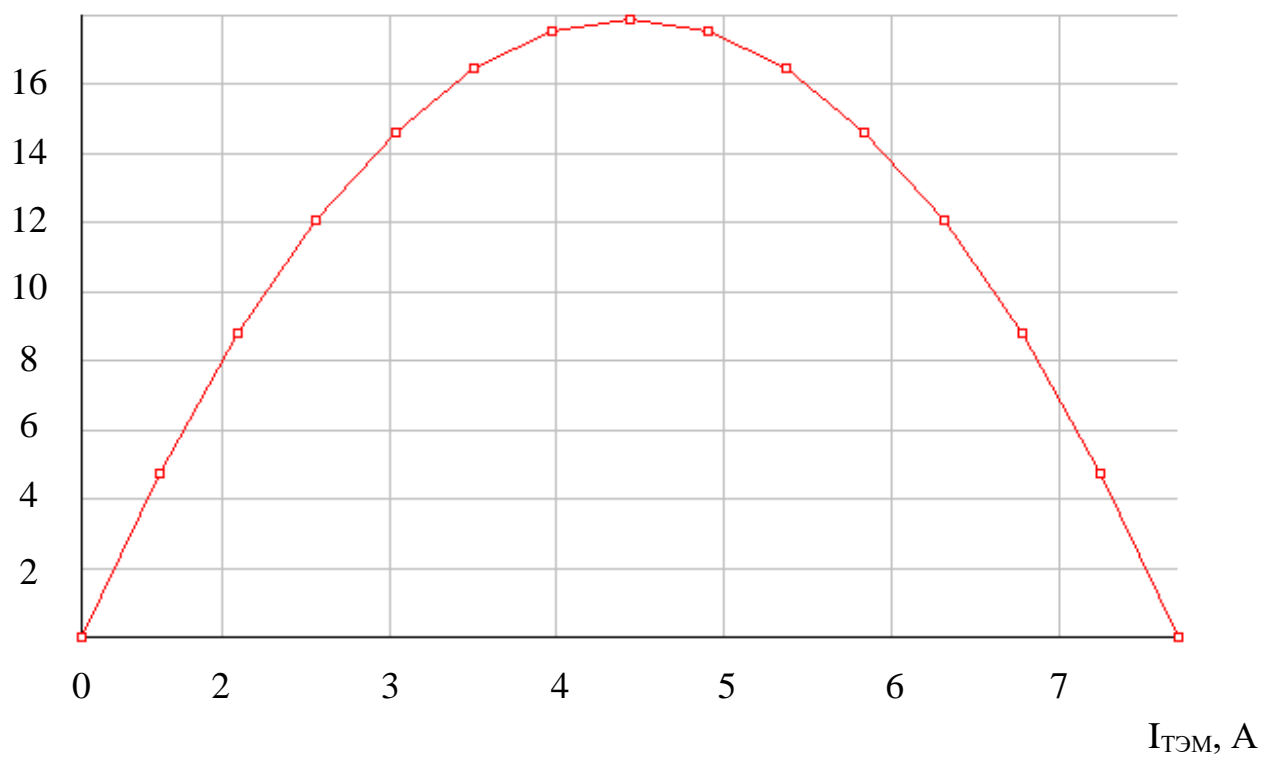
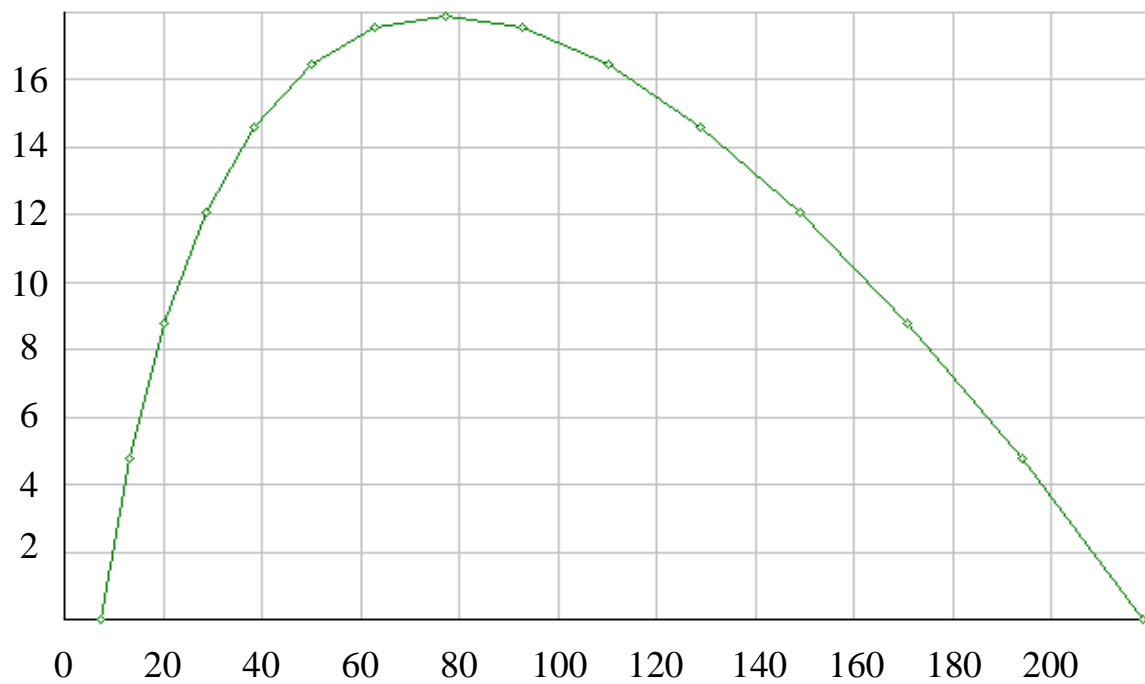


Рисунок 2.20 - Зависимость мощности ТЭМ от тока питания

$Q_{ТЭМ}, Вт$



$W_{ТЭМ}, Вт$

Рисунок 2.21 - Зависимость мощности ТЭМ от потребляемой мощности

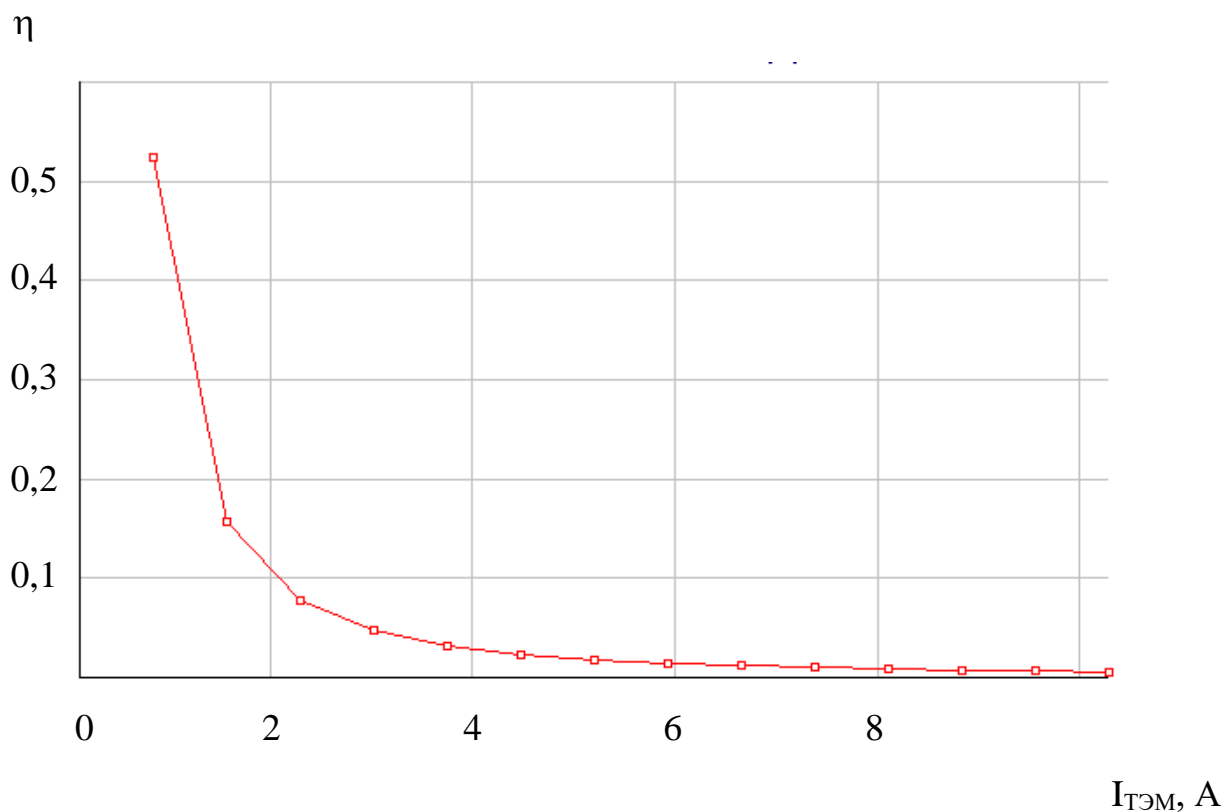


Рисунок 2.22 - Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ от тока питания

В соответствие с представленными данными рабочий диапазон мощностей ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 будет находиться в пределах от 8 до 17 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К. При этом ток питания будет составлять 1,5-3,5 А при потребляемой мощности от 20 до 80 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5.

3. Экспериментальные исследования охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур

В данном разделе рассмотрены результаты экспериментального исследования опытного образца охлаждающей ТЭС для тепловых косметологических процедур. Представлены результаты измерений, а также анализ полученных данных на предмет определения оптимальных характеристик ТЭС и соответствия результатов моделирования практике.

При проведении натуральных испытаний ТЭС решались следующие задачи:

- определение основных эксплуатационных характеристик разработанной ТЭС;
- экспериментальная проверка влияния режимных факторов на характеристики прибора;
- проверка соответствия расчетов эксперименту.

Для решения перечисленных задач исследовался опытный образец системы на специализированном стенде в соответствие с разработанной методикой измерений.

3.1 Описание экспериментального стенда и методики проведения натуральных испытаний

Для экспериментальных исследований охлаждающей ТЭС, используемой при проведении тепловых косметологических процедур, был собран стенд [24, 32], структурная схема которого изображена на рисунке 3.1, а внешний вид - на рисунке 3.2.

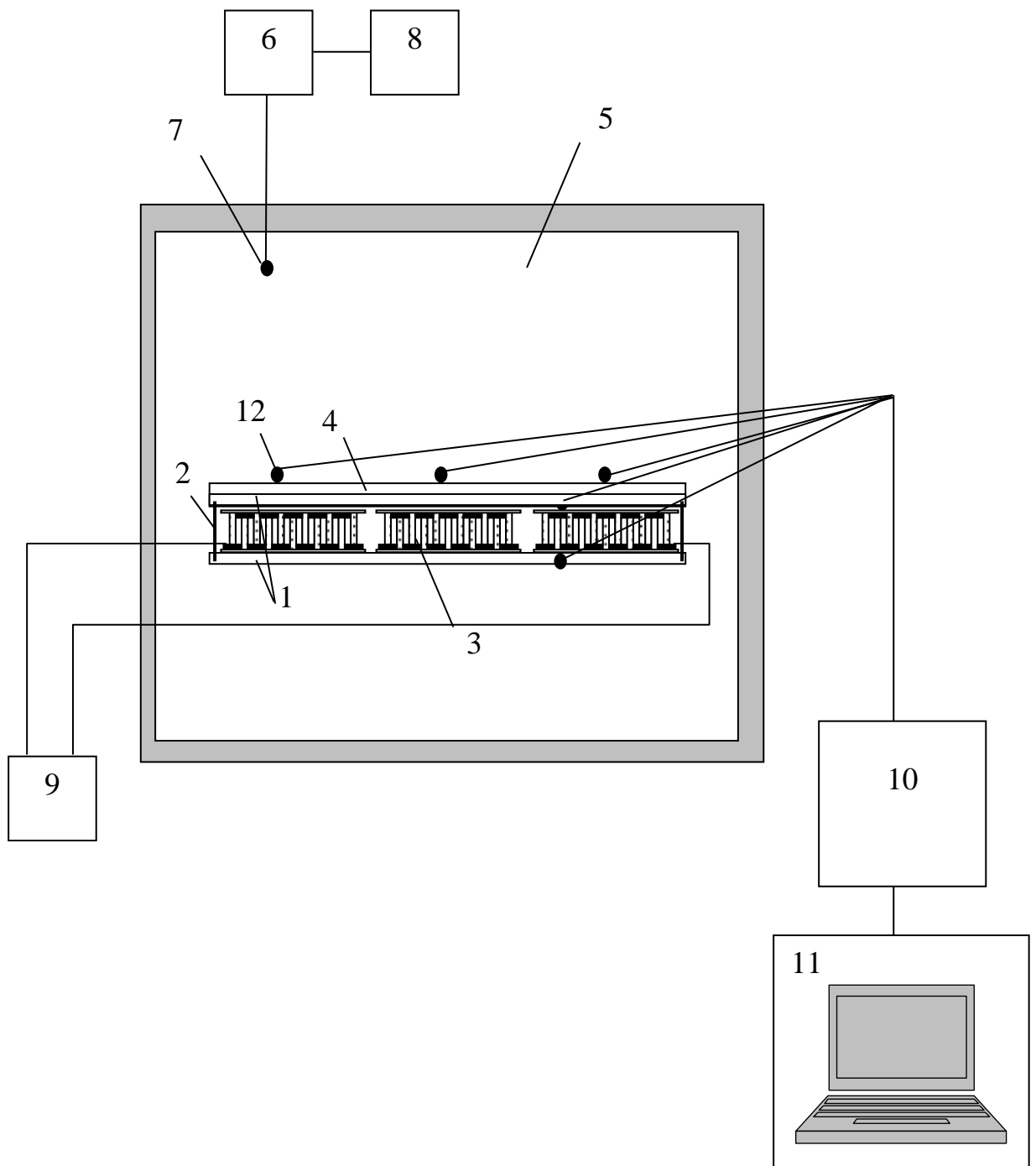


Рисунок 3.1 - Структурная схема экспериментального стенда для исследования охлаждающей ТЭС, используемой при проведении тепловых косметологических процедур



Рисунок 3.2 - Внешний вид экспериментального стенда для исследования охлаждающей ТЭС, используемой при проведении тепловых косметологических процедур

В качестве объекта исследований выступал опытный образец термоэлектрического прибора, в состав которого входило основание 1 с закрепленными на нем с помощью специальных креплений 2 ТЭМ 3. Общее количество ТЭМ составляло шесть, а их расположение на основании осуществлялось в два ряда. Основание с закрепленными на нем термомодулями приводилось в тепловой контакт с имитатором биологического объекта 4. Он представлял собой силиконовую пластину толщиной 5 мм и площадью 0,02 м². Геометрические размеры опытного образца ТЭС в миллиметрах представлены на рисунке 3.3. В качестве ТЭМ использовались ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 производства ООО "Криотерм" (г. Санкт-Петербург).

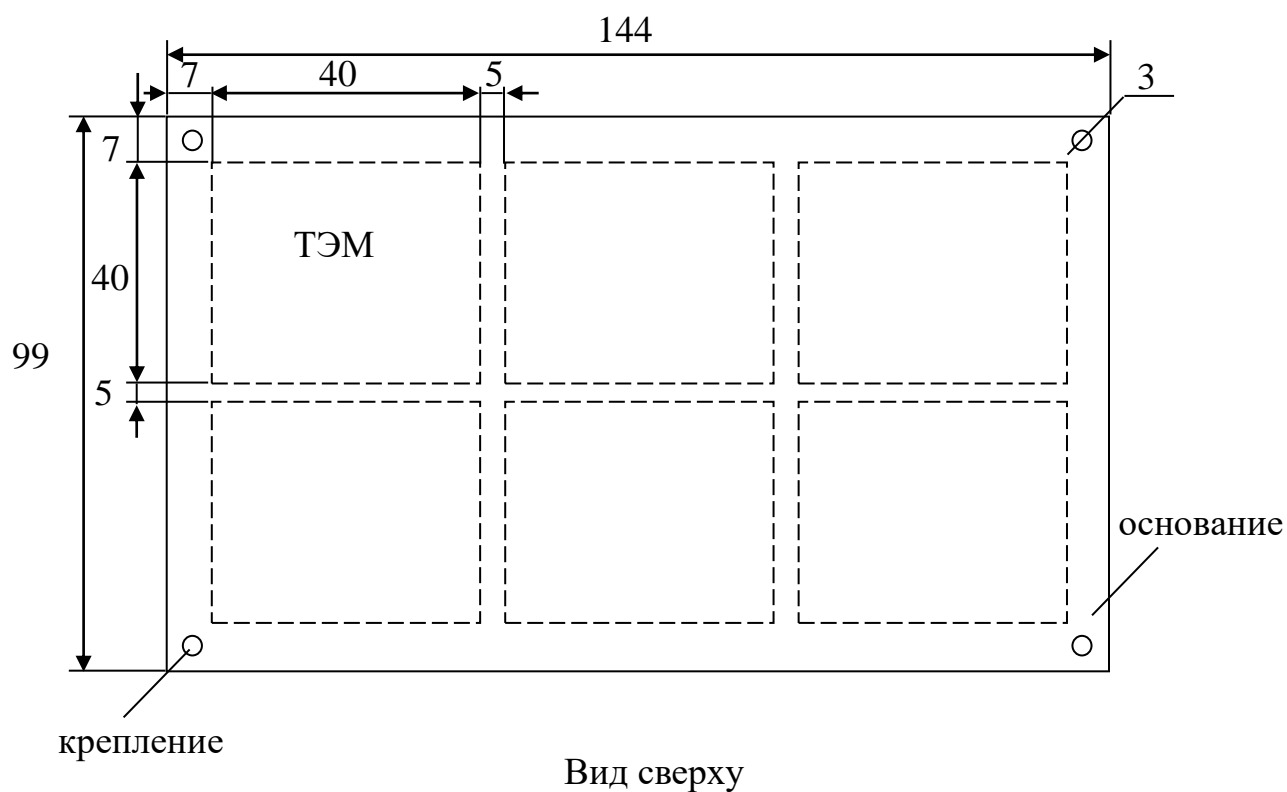


Рисунок 3.3 - Конструкция опытного образца охлаждающей ТЭС для проведения тепловых косметологических процедур с размерами

Измерения проводились в климатической камере 5 объемом 120 л. Диапазон рабочих температур в камере - 283-343 К при погрешности термостатирования 1 К и относительной влажности 30÷98%. Климатическая камера снабжена блоком управления 6, используемым в сочетании с датчиками температуры и влажности 7. Сведения о температуре и влажности высвечиваются на световом табло 8.

Питание ТЭМ осуществлялось источником электрической энергии 9 с возможностью визуального наблюдения за изменением силы тока и напряжения встроенными в него амперметром и вольтметром.

Для снятия температурных характеристик использовался многоканальный измеритель температуры ИРТМ 2402/МЗ 10, подключенный к ПЭВМ 11.

При проведении натурных испытаний опытного образца ТЭС измерялись величины питающего ТЭМ тока и напряжения, температура в контрольных точках прибора и окружающей среды. Измерения температуры проводились медь-константовыми термопарами 12, сигнал с которых поступал на измеритель ИРТМ 2402/МЗ и выводился на монитор ПЭВМ.

Термопары устанавливались на холодных и горячих спаях ТЭМ, в контрольных точках поверхности основания, имитатора биологического объекта, окружающей среде.

Перед проведением эксперимента осуществлялась проверка надежности тепловых и электрических контактов. Опыты проводились сериями по четыре эксперимента при равных условиях [8].

3.2 Результаты экспериментальных исследований

Главная задача при проведении экспериментальных исследований состояла в измерении температуры в контрольных точках исследуемой ТЭС и имитатора биологического объекта во времени при различных токах питания ТЭМ. Также осуществлялось сравнение измеренных данных с результатами расчета путем вычисления разности в полученных величинах и определения характеристик, отражающих точность проведения эксперимента.

В качестве исходных условия и ограничений при натурных испытаниях опытного образца ТЭС задавались:

- уровень температур биологического объекта при воздействии на него ТЭС - 280-313 К,

- температура окружающей среды -295 К,
- точность поддержания температуры - 0,5 К,
- возможность как равномерного охлаждения, так и контрастного теплового воздействия во времени и пространстве.

На рисунке 3.4 представлены графики изменения температуры имитатора биологического объекта во времени под центром ТЭС, работающей в режиме охлаждения для значений силы тока питания ТЭМ 2 А, 2,5 А, 3 А. В соответствие с представленными данными при таких величинах тока питания термомодулей температура имитатора биологического объекта снижается до 286,5 К, 284,5 К, 282,5 К. При этом длительность выхода структуры ТЭС - биологический объект воздействия на стационарный режим работы в полной мере соответствует полученным ранее результатам математического моделирования и составляет примерно 400 с.

Как было отмечено выше основными мерами по уменьшению времени выхода прибора на режим являются:

- использования более мощных ТЭМ, также обладающих улучшенными инерционными характеристиками;
- предварительное питание электрической энергией ТЭМ до начала проведения процедур с целью использования ТЭС уже работающей в своем оптимальном режиме;
- применение форсированного режима работы термомодулей, например, начиная с режима максимальной холодопроизводительности и продолжая режимом максимального холодильного коэффициента.

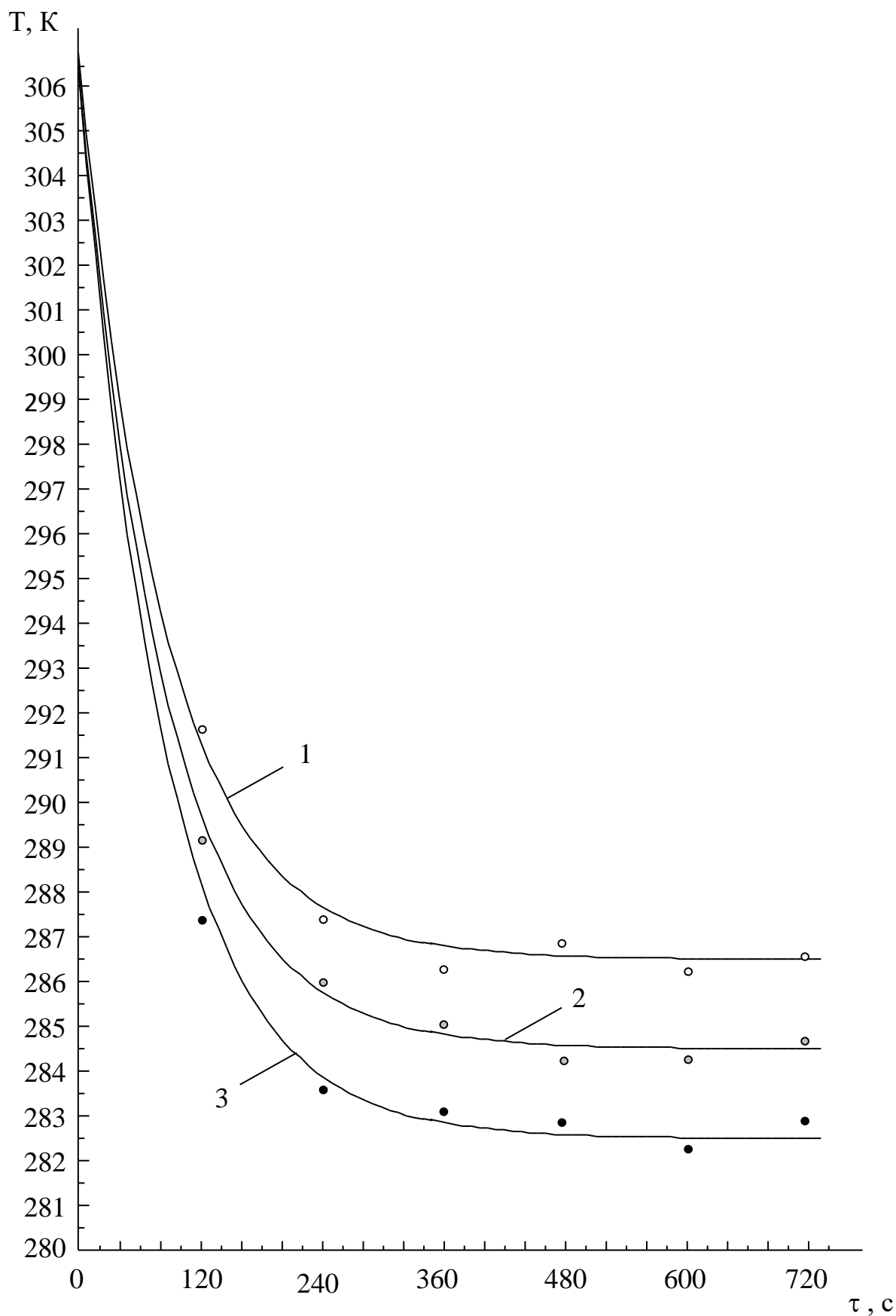


Рисунок 3.4 - Изменение температуры имитатора биологического объекта во времени под центром ТЭС, работающей в режиме охлаждения для различных $I_{TЭМ}$
 1- $I_{TЭМ}=2$ А, 2- $I_{TЭМ}=2,5$ А, 3 - $I_{TЭМ}=3$ А

Для исследования потерь, связанных с конечными величинами коэффициентов теплопроводности входящих в структуру ТЭС - биологический объект составных частей, а также определения температуры холодных и горячих спаев ТЭМ получены графики, изображенные на рисунке 3.5. На них представлены зависимости изменения во времени температуры в различных точках системы ТЭС - имитатор биологического объекта, а именно непосредственно биологического объекта, холодного и горячего спаев ТЭМ при токе питания термомодуля 3 А.

В соответствии с результатами измерений перепад температур между холодными спаями ТЭМ и имитатором биологического объекта составляет 3,5 К. Такая разница температур связана с неплотностью контакта поверхности ТЭМ и биологического объекта, конечных величин коэффициентов теплопроводности всех частей структуры термоэлектрический прибор - поверхность теплового воздействия, а также наличием теплопритоков из внешней среды.

Для уменьшения теплового сопротивления между биологическим объектом воздействия и ТЭС необходимо применение специальной теплопроводной пасты, нанесенной на поверхность объекта воздействия (теплопроводная паста должна быть антисептической и соответствовать существующим медицинским стандартам), а также использование более совершенной теплоизоляции, исключающей теплопритоки из окружающей среды к объекту воздействия во время процедур. Еще одной возможностью уменьшить разность температур между ТЭМ и биологическим объектом является применение в теплопроводной пасте специальных наполнителей, также обладающих антисептическими свойствами и имеющими высокий коэффициент теплопроводности (например, металлическая крошка), а также применение высокотеплопроводных прослоек, обладающих пластическими свойствами для подстройки к морфологии биологического объекта воздействия.

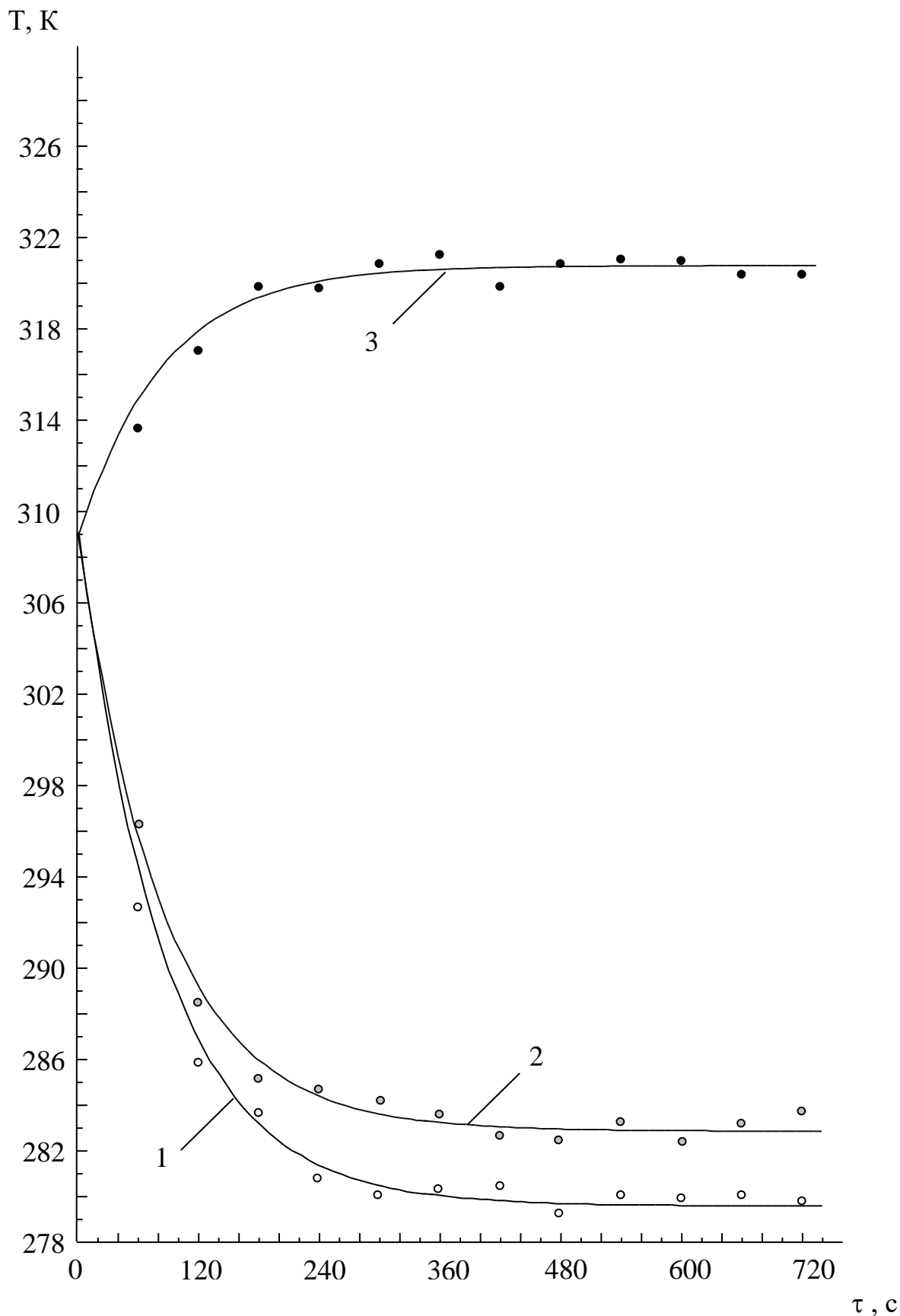


Рисунок 3.5 - Изменение температуры в различных точках системы ТЭС - имитатор биологического объекта во времени при охлаждающем воздействии для $I_{ТЭМ}=3$ А
 1 - холодный спай ТЭМ, 2 - биологический объект, 3 - горячий спай ТЭМ

Для изучения возможностей функционирования ТЭС в режиме контрастного во времени теплового воздействия на биологический объект на рисунках 3.6-3.7 представлены зависимости изменения температуры имитатора биологического объекта во времени при смене режимов работы прибора (рисунок 3.6 - с режима охлаждения на режим нагрева, рисунок 3.7 - с режима нагрева на режим охлаждения) для токов питания ТЭМ 1 А, 1,5 А, 2 А. Приведенные результаты эксперимента подтверждают теоретические данные, полученные на этапе математического моделирования. Продолжительность смены режима с охлаждения на нагрев имитатора биологического объекта и наоборот составляет 423-450 с, что с удовлетворительной точностью соответствует расчету.

На рисунке 3.8 рассмотрены данные, дающие возможность проанализировать изменение во времени температуры в центре холодных и горячих зон объекта воздействия при их коридорном (соответствует рисунку 2.8) и шахматном (соответствует рисунку 2.10) расположении для тока питания ТЭМ, равного 3 А. В результате измерений установлено, что для шахматного расположения тепловых зон температура в центре холодной области больше, а в центре горячей меньше, чем для их коридорного расположения. При данных условиях эксперимента разность температур примерно одинакова и составляет значение 3 К. Данное обстоятельство связано с большим взаимным влиянием холодных и горячих зон в случае их шахматного расположения по отношению к коридорному. При этом очевидно, что данное различие в температурах будет тем существеннее, чем больше величина тока питания ТЭМ и, соответственно ее мощность. С учетом этого с целью энергетической оптимизации параметров ТЭС целесообразным будет питание ТЭМ для шахматного и коридорного порядка электрическим током различной величины, учитывающим взаимное влияние термомодулей, работающих в режиме охлаждения и нагрева.

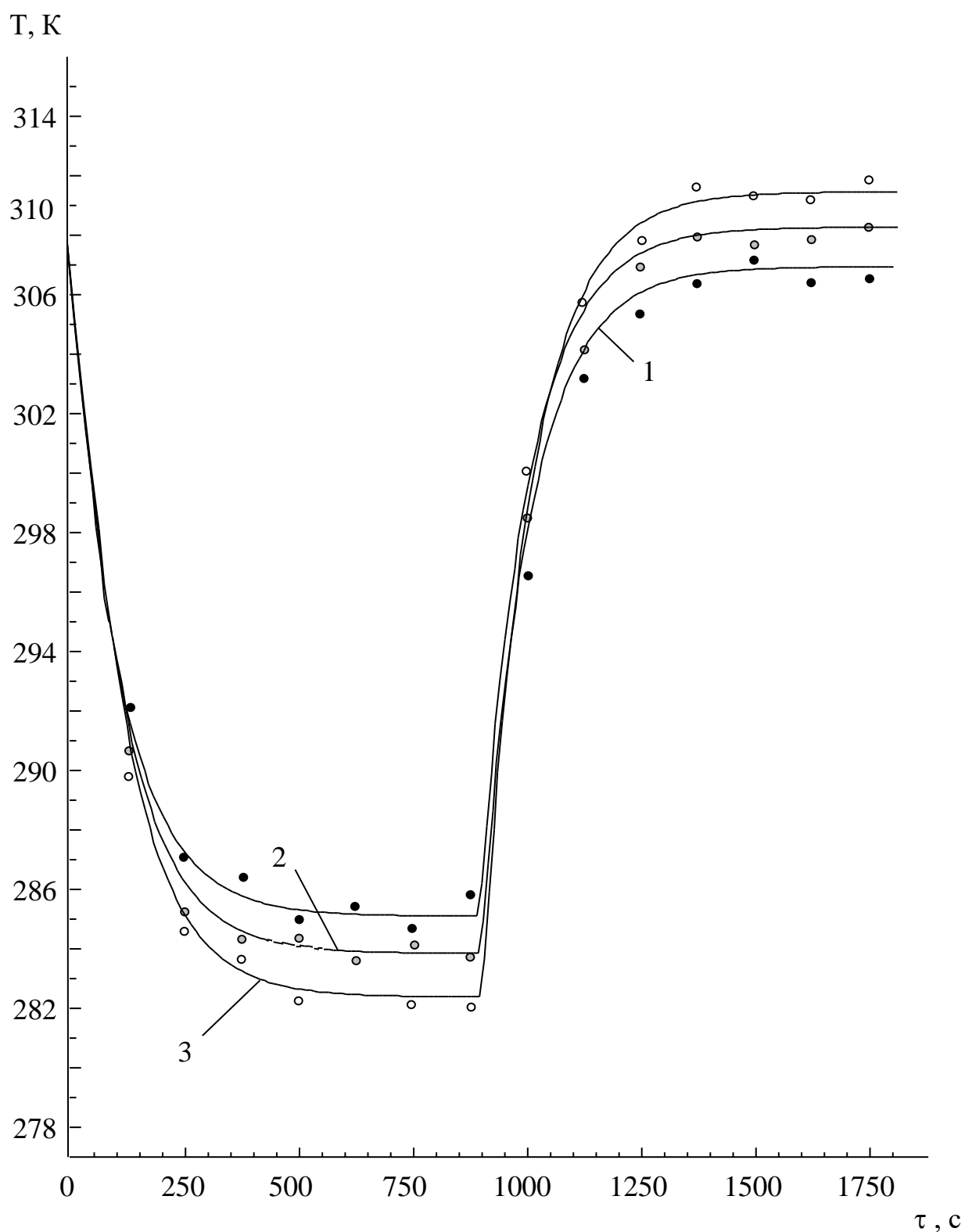


Рисунок 3.6 - Изменение температуры имитатора биологического объекта во времени при контрастном динамическом тепловом воздействии с переходом ТЭС из режима охлаждения в режим нагрева для различных значений тока питания ТЭМ
 1- $I_{TЭМ}=2$ А, 2- $I_{TЭМ}=2,5$ А, 3 - $I_{TЭМ}=3$ А

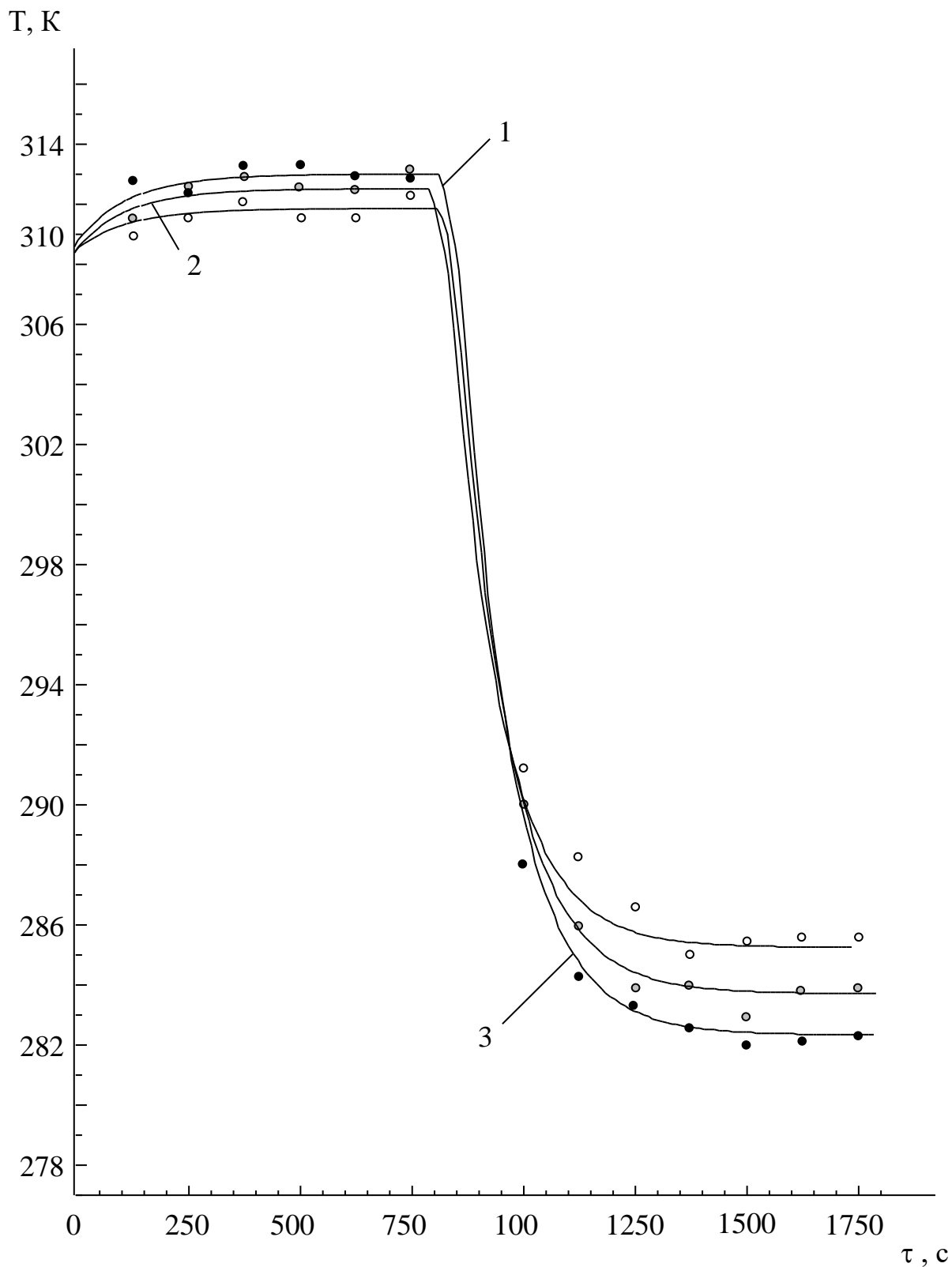


Рисунок 3.7 - Изменение температуры имитатора биологического объекта во времени при контрастном динамическом тепловом воздействии с переходом ТЭС из режима нагрева в режим охлаждения для различных значений тока питания ТЭМ
 1- $I_{TЭМ}=2$ А, 2- $I_{TЭМ}=2,5$ А, 3 - $I_{TЭМ}=3$ А

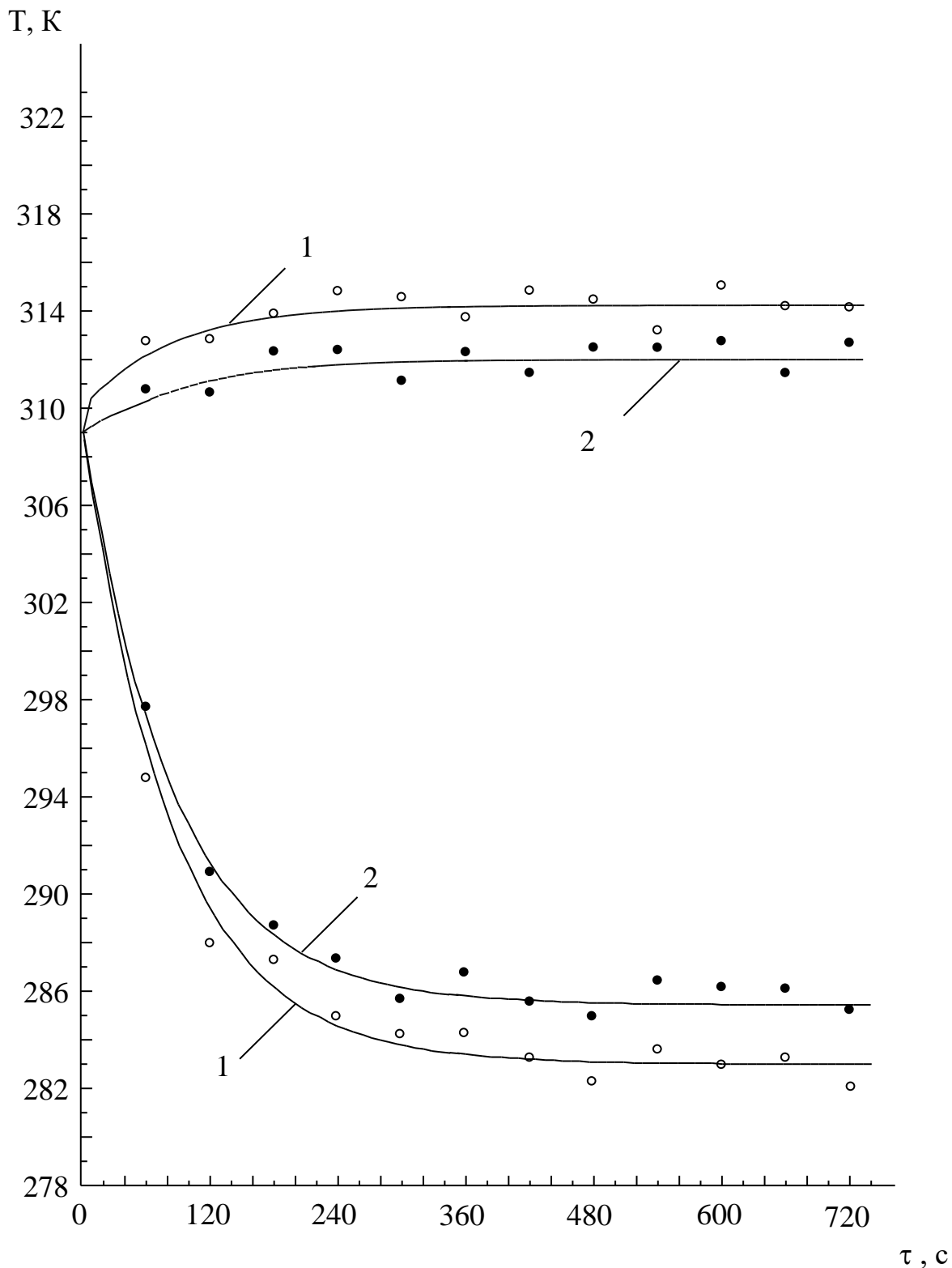


Рисунок 3.8 - Изменение температуры в охлажденных и нагретых областях имитатора биологического объекта во времени при коридорном и шахматном расположении температурных зон для $I_{ТЭМ}=3$ А
 1 - коридорный порядок, 2 - шахматный порядок

Надежность функционирования разработанной ТЭС во многом будет зависеть от эффективного теплосъема с горячих спаев ТЭМ. На рисунке 3.9 для оценки возможностей такого теплоотвода представлены данные об изменении температуры опорных спаев ТЭМ во времени при равномерном охлаждении имитатора биологического объекта для различных значений тока питания термомодулей.

Данные кривые показывают, что температура опорных спаев ТЭМ находится в необходимом диапазоне температур. Так, при токе питания ТЭМ, равном 3,5 А, температура опорных спаев ТЭМ не превышает 322 К. Это говорит о достаточности использования для обеспечения эффективного съема теплоты со спаев ТЭМ воздушного теплоотвода. При этом будет обеспечена надежная работа ТЭС вплоть до максимального тока питания ТЭМ.

По результатам экспериментов проведено сопоставление расчетных данных и результатов измерений. На рисунках 3.4-3.9 помимо экспериментальных точек представлены также результаты теоретических изысканий.

Представленные данные определяют удовлетворительную сходимость результатов численного моделирования и эксперимента. Наибольшее отклонение расчетных от измеренных значений не превышает 9 %. Максимальное расхождение теоретических и экспериментальных данных приходится на промежуток времени, когда структура ТЭС - имитатор биологического объекта выходит на стационарный режим. Причинами, влияющими на различие экспериментальных и расчетных данных являются не идеальность контактов частей прибора и имитатора объекта воздействия, а также неточность работы измерительных приборов.

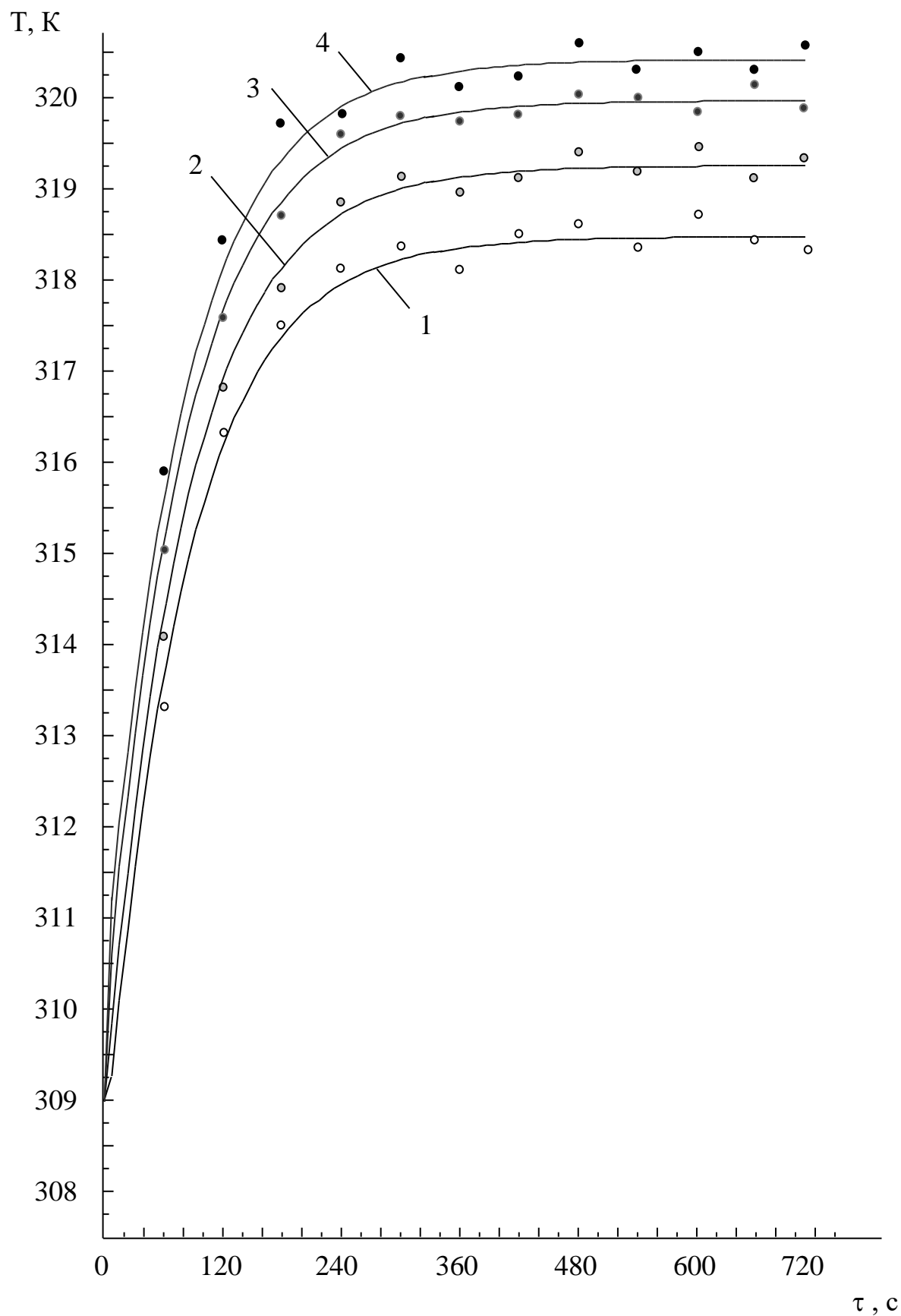


Рисунок 3.9 - Изменение температуры горячих спаев ТЭМ во времени при равномерном охлаждающем воздействии для различных токов питания ТЭМ
 1- $I_{\text{ТЭМ}}=2$ А, 2- $I_{\text{ТЭМ}}=2,5$ А, 3 - $I_{\text{ТЭМ}}=3$ А, 3 - $I_{\text{ТЭМ}}=3,5$ А

3.3 Оценка погрешности измерений

Полученные в результате натурных испытаний опытного образца ТЭС сведения были проанализированы на предмет точности измерений. Для этих целей использовались существующие методы статистической обработки данных. Оценка точности измерений осуществлялась путем определения числовых характеристик, определяющих погрешность измерений, на основе соответствующих законов распределения [68]. Такой анализ дал возможность определить достоверность измерений, а также сделанных на их основе выводов и умозаключений. При статистической оценке совокупности данных, полученных на этапе натурных испытаний прибора, были решены следующие задачи:

- найдено среднее уточненное значение каждого измеренного показателя;
- оценена и в возможных случаях исключена из анализа случайная составляющая погрешность;
- оценена точность усредненного результата измерений.

Усредненная погрешность каждого измерения искалась как разница между измеренной величиной и ее среднеарифметическим значением. При этом математическое ожидание вычислялось по формуле:

$$MO_i = x_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = x_i - \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} \quad (3.1)$$

где $n = 4$ - количество повторений одного и того же опыта, x_i - значение измеренной величины при i -м повторном опыте.

Дисперсии определялась из выражения:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}, \quad (3.2)$$

где $\bar{X} = \sum_{i=1}^N x_i$.

Среднеквадратичное отклонение получено в виде:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (3.3)$$

В соответствие с рекомендациями, изложенными в [8] определялся доверительный интервал, в границах которого при заданной доверительной вероятности $P=0,9$ находилось истинное значение измеряемой величины. Для него:

$$\Delta_{0,9} = t_{p_n} \tilde{\sigma}_{\bar{x}}. \quad (3.4)$$

где t_{p_n} - коэффициент Стьюдента.

В результате расчетов погрешности измерений установлено, что средний доверительный интервал при определении силы тока составил $\pm 0,12$ А, а точность измерения силы тока по среднеквадратическим отклонениям составила $\pm 0,14$ А. Средний доверительный интервал при определении температуры составил $\pm 0,27$ К.

4. Разработка термоэлектрических устройств для тепловых косметологических процедур

На основе проведенных исследований разработан ряд конструкций охлаждающих ТЭУ для проведения тепловых, в том числе контрастных, косметологических процедур [35, 36, 50-52]. В данной главе рассмотрено их краткое описание.

4.1 Термоэлектрические устройства для местного контрастного теплового воздействия

Применение теплового воздействия в косметологических целях на сегодняшний день получает все большее распространение. С его помощью по результатам проведения процедур уменьшается объем жировой ткани, устраняется отечность, целлюлит, повышается мышечный тонус, реализуются различные виды массажа. Объектом теплового воздействия является кожа человека, рецепторы которой воспринимают болевое (механическое, термическое), тепловое (холод, тепло) и тактильное раздражение.

Среди существующих методик применения тепла (холода) в терапевтической косметологии выделяются различного рода ванны, использование аппликаторов, разнообразных сред, таких как парафин, озокерит, нафталан, применение жидкого азота для криовоздействия и др. Основными недостатками перечисленных процедур являются их во многих случаях недостаточная эффективность, определенный дискомфорт, сложность и неудобство их реализации на практике, невозможность регулирования температуры и т.п.

В этих условиях перспективным является применение в качестве технического средства для проведения тепловых косметологических

процедур ТЭУ, имеющих малые габаритные размеры, высокую надежность и ресурс работы, возможность осуществления как режима охлаждения, так и нагрева, а также их чередования, обладающих высокой экологичностью и бесшумностью работы.

При решении задач, поставленных в данной диссертационной работе, разработан прибор для местного контрастного теплового воздействия, выполненный на базе ТЭМ, конструкция которого изображена на рисунке 4.1, а внешний вид на рисунке 4.2.

Устройство состоит из набора ТЭМ 1, установленных опорными спаями на основании 2, выполненном из высокотеплопроводного материала. Своими рабочими спаями ТЭМ 1 приведены в контакт с переходной пластиной 3. Для придания жесткости конструкции основание 2 и переходная пластина 3 соединены крепежными приспособлениями 4. В электрическую схему между ТЭМ 1 включены специальные приспособления 5, при внешнем управляющем воздействии имеющие возможность изменять полярность электрического тока, питающего последующий ТЭМ 1. Для удобства проведения процедур ТЭУ может быть снабжено специальным держателем 6.

Действие прибора состоит в формировании различного рода тепловых полей в зависимости от прилагаемого напряжения, а также от управляющего воздействия на соответствующие приспособления для изменения полярности тока, в зависимости от проводимых лечебных процедур. Может быть реализован режим однородного охлаждающего, либо нагревающего теплового воздействия, тепловые поля коридорного или шахматного порядка и т. д.

На рисунке 4.3. представлена первая модификация описанного выше устройства. Отличие данного прибора от рассмотренного состоит в использовании во время теплового воздействия также и опорных спаев ТЭМ. В данном случае нагрев необходимых зон может быть осуществлен горячими спаями ТЭМ, теплота от которых передается к объекту воздействия

посредством тепловых мостиков 7, выполненных из высокотеплопроводного материала. Достоинством данной модификации является сокращение количества ТЭМ в приборе.

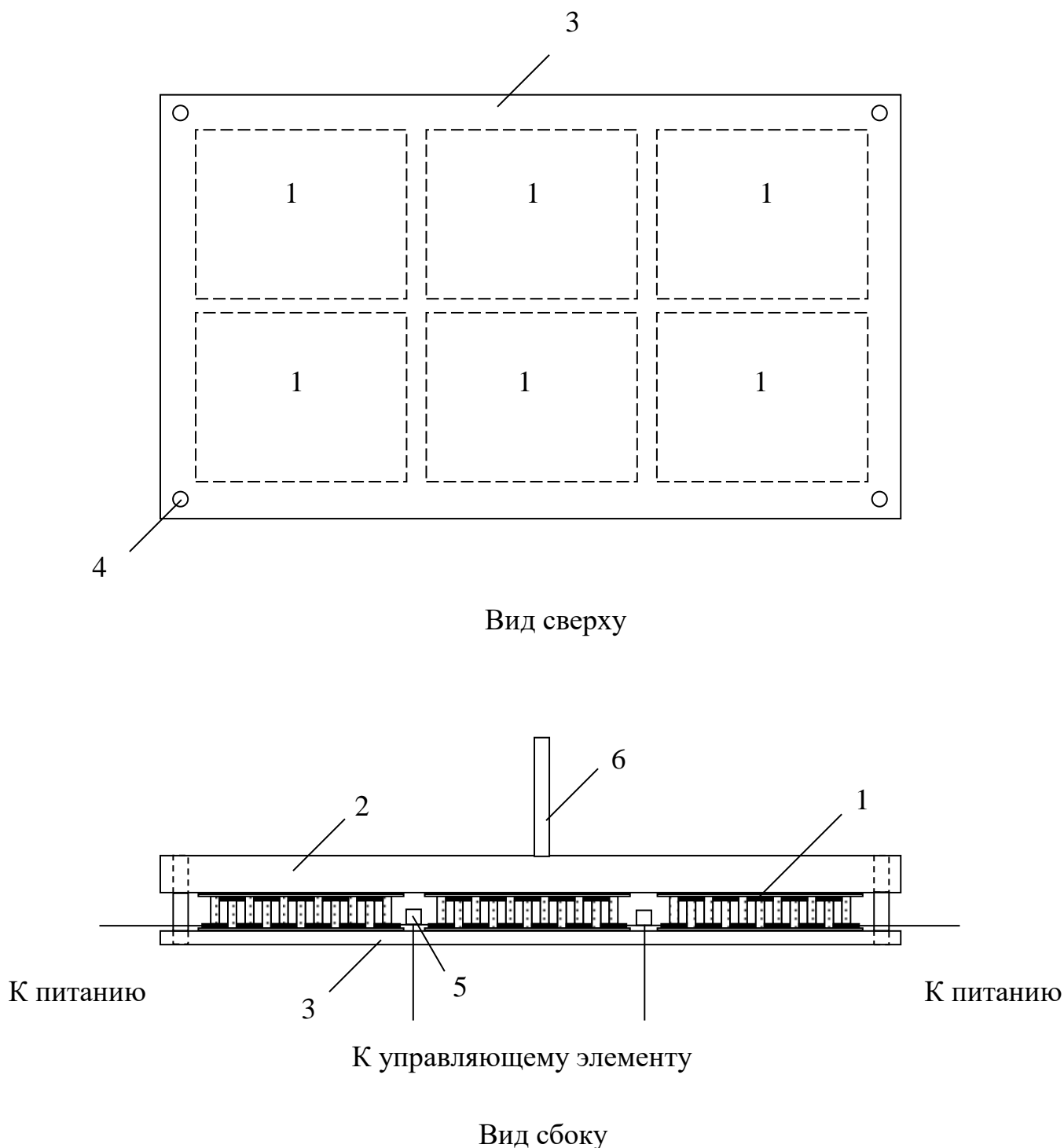


Рисунок 4.1 - Конструкция устройства для местного контрастного теплового воздействия



Рисунок 4.2 - Внешний вид устройства для местного контрастного теплового воздействия

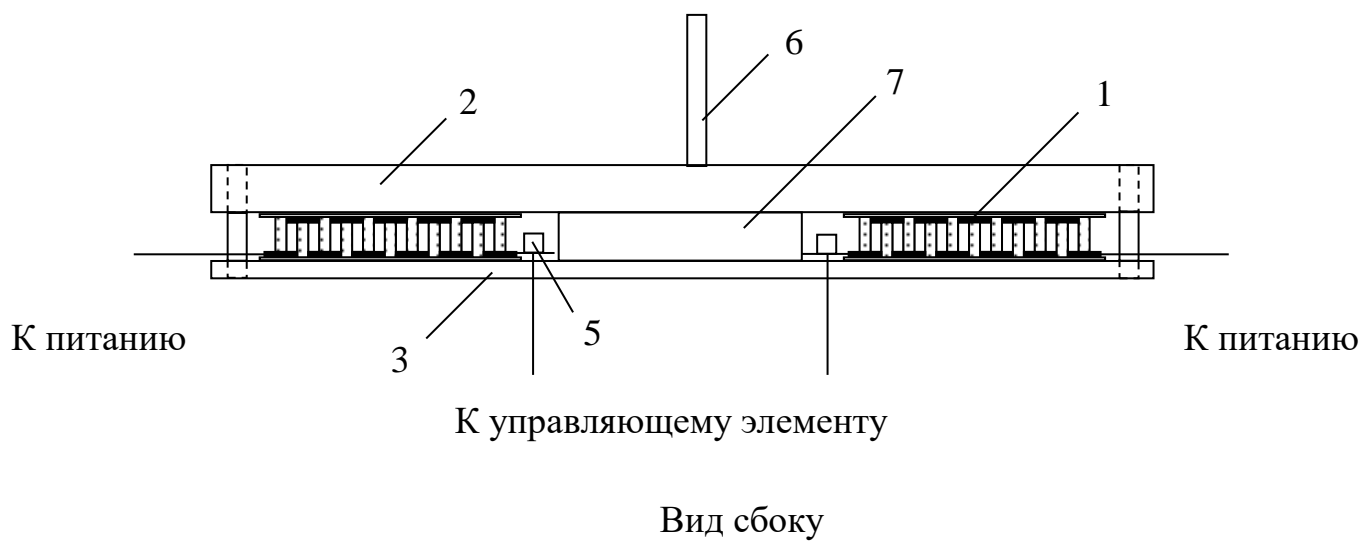
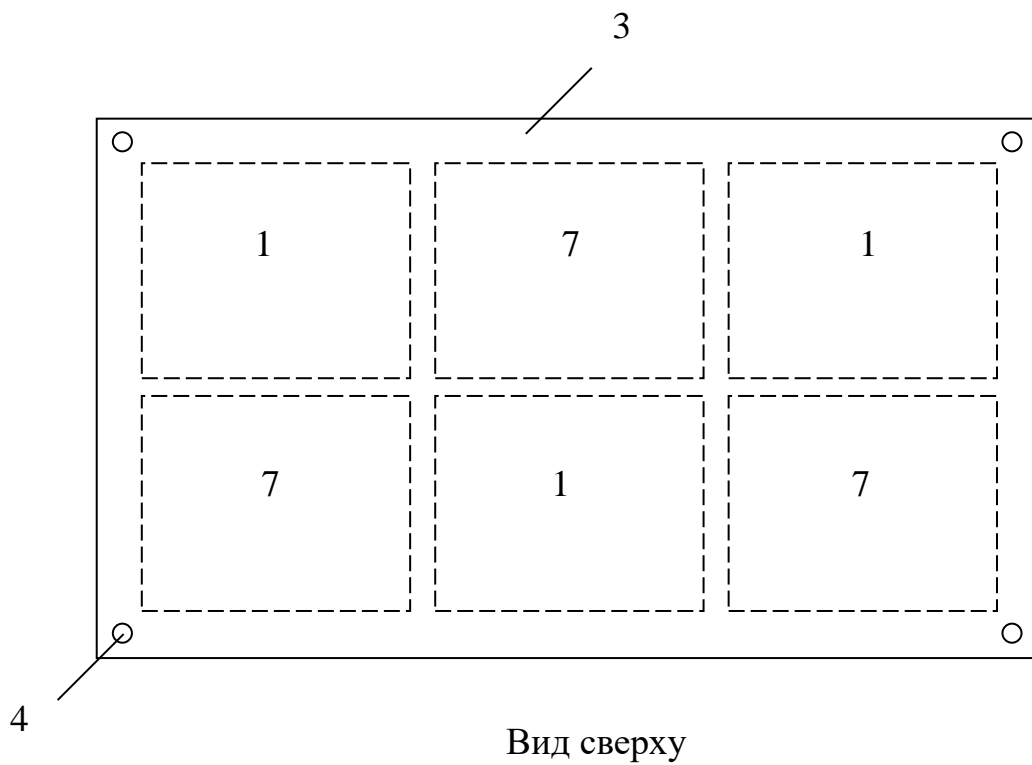


Рисунок 4.3 - Первая модификация устройства для местного контрастного теплового воздействия

На рисунке 4.4 изображена вторая модификация устройства для местного контрастного теплового воздействия. В ней на переходной пластине 3 со стороны, противоположной размещению ТЭМ, закреплены подвижные валики 8. Наличие валиков дает возможность совмещения теплового воздействия с механическим массажем, что усиливает эффективное действие прибора.

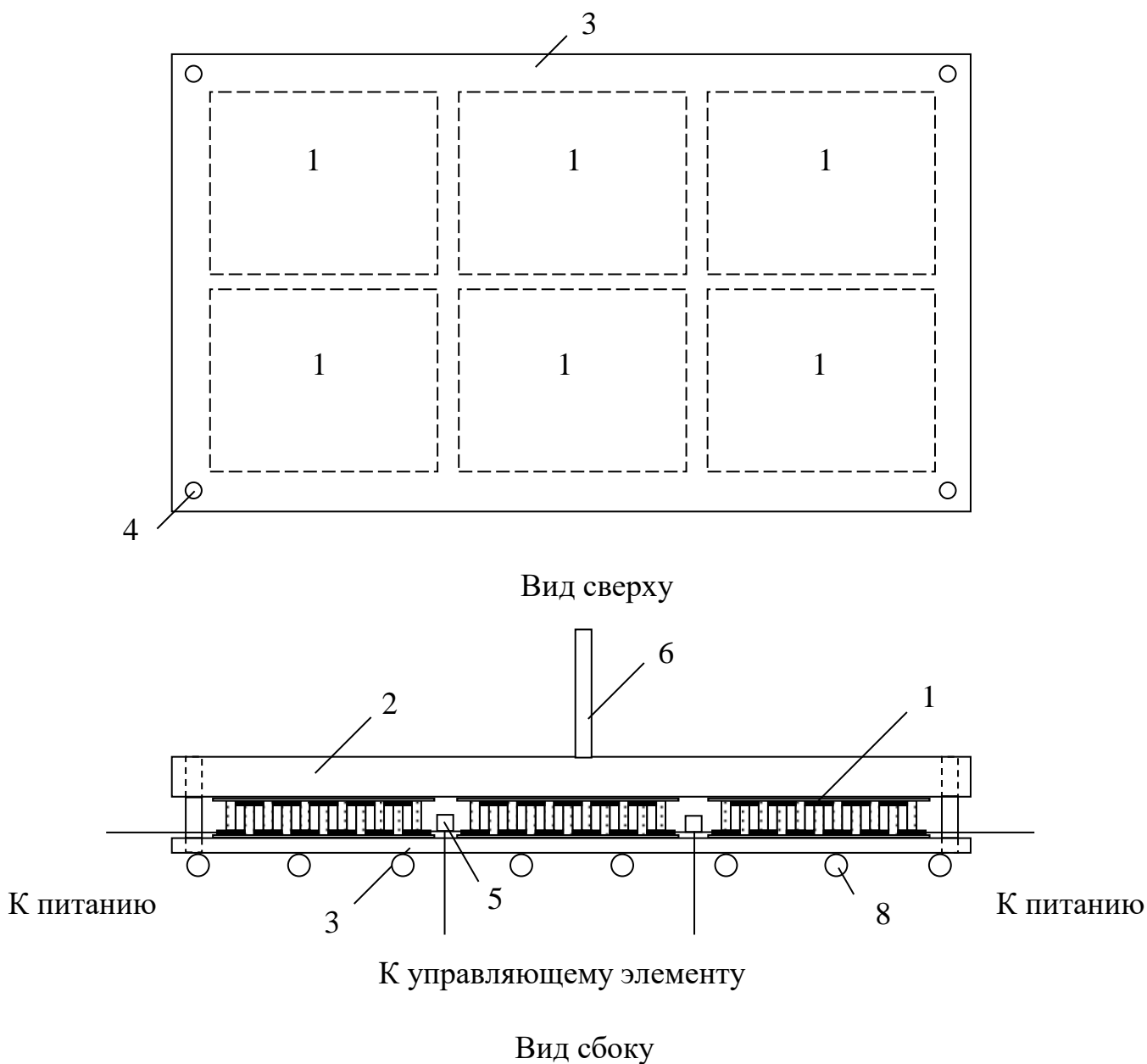


Рисунок 4.4 - Вторая модификация устройства для местного контрастного теплового воздействия

4.2 Термоэлектрические устройства для проведения тепловых косметологических процедур на лице

Одной из самых распространенных зон для проведения косметологических процедур является лицо человека. Терапевтическая косметология в этом случае выполняет как оздоровительные, так и эстетические функции, направленные на омолаживание кожи, улучшение ее цвета, упругости, эластичности и других параметров.

Разработаны конструкции ТЭУ для теплового воздействия на эту область человеческого организма, решающие задачу проведения как равномерного охлаждения лица и его отдельных областей, так и контрастного теплового воздействия на данную зону. Внешний вид прибора для теплового воздействия на лобную и щечную области лица представлен на рисунке 4.5. Он включает в себя основание, имеющее вид маски, одеваемой на лицо и с помощью застежки крепящейся на затылке. В лобной и щечной зонах (в необходимых случаях также возможно использование ТЭМ в подбородочной области) с внутренней стороны основания размещены ТЭМ, выполняющие роль источников теплоты, сопряженные с тепловыравнивающими пластинами.

В процессе проведения тепловых косметологических процедур ТЭУ подключаются к источнику постоянного электрического тока, имеющему возможность как равномерного питания ТЭМ электроэнергией, так и реализующему различные токовые режимы работы термомодулей, в последнем случае осуществляющих неравномерное и контрастное тепловое воздействие. Управление работой ТЭУ производит врач-косметолог, в соответствии с назначением обеспечивающий требуемое тепловое воздействие, его уровень и продолжительность, а также требуемую частоту смены режимов.

На рисунке 4.6 показано температурное поле лица при его равномерном охлаждении с использованием разработанного ТЭУ. Как

следует из рисунка температурное поле лица равномерное, что позволяет говорить о возможности одновременного теплового воздействия на его всю поверхность с соблюдением требуемых температурных режимов косметологических процедур.



Рисунок 4.5 - Внешний вид ТЭУ для проведения тепловых косметологических процедур на лицо

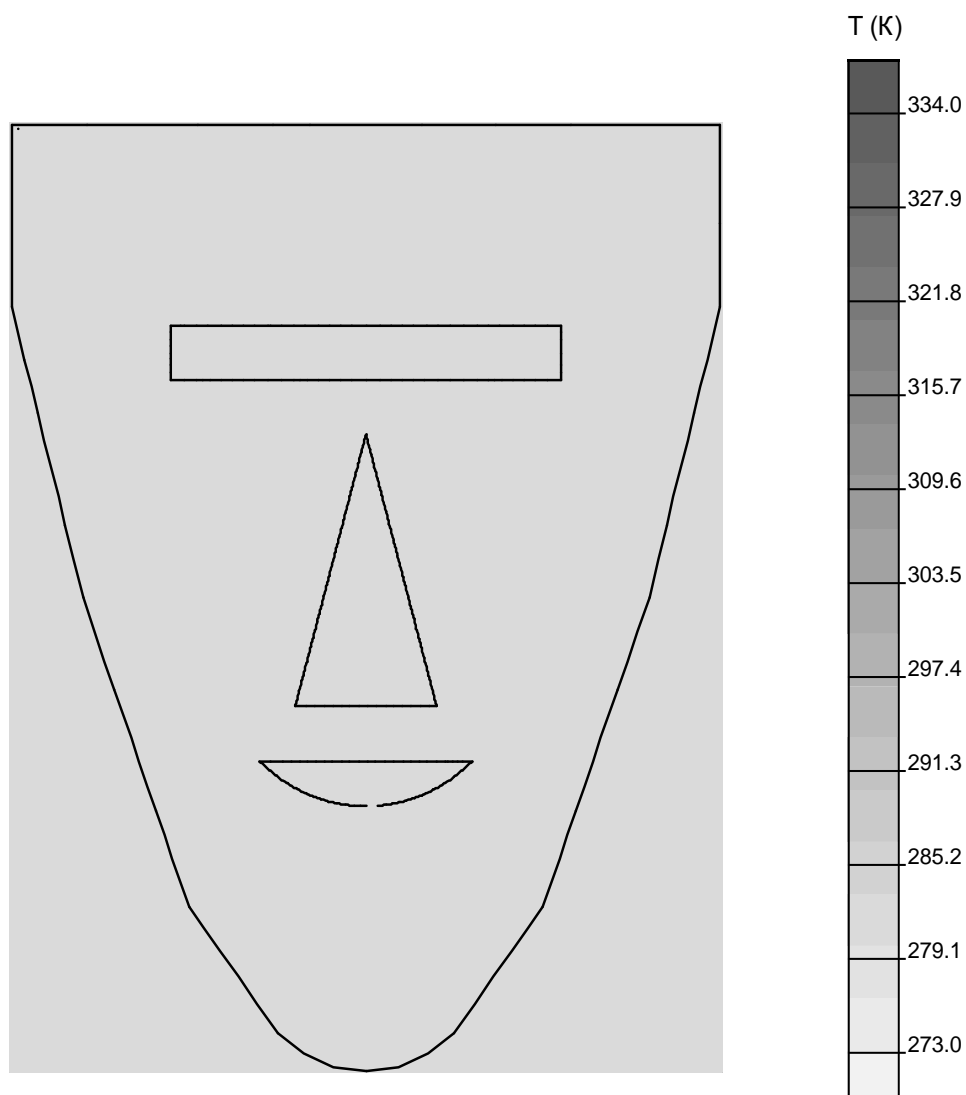


Рисунок 4.6 - Температурное поле лица при его равномерном охлаждении посредством разработанного ТЭУ

На рисунке 4.7 изображена модификация прибора, основным отличием которой от устройства, рассмотренного на рисунке 4.5, является возможность теплового воздействия только на щечную область. Несмотря на некоторые ограничения по зонам воздействия, данная конструкция имеет меньшие габаритные размеры и вес, что в случае, когда процедуры осуществляются только на область щек, является ее большим достоинством.



Рис.4.8. Внешний вид модификации устройства для проведения тепловых косметологических процедур на лице человека

Заключение

В результате выполнения диссертационной работы разработана и исследована охлаждающая ТЭС для проведения тепловых косметологических процедур, позволяющая обеспечить как равномерное охлаждение поверхности тела человека, так и осуществить контрастное тепловое воздействие в пространстве и времени с требуемой частотой переключения режимов и высокой точностью регулировки температурных уровней.

Разработана математическая модель системы, основанная на решении трехмерной нестационарной задачи теплопроводности для поверхности сложной конфигурации с локальными источниками и стоками теплоты, учитывающей наличие как равномерного охлаждения, так и контрастного теплового воздействия на биологический объект, теплопритоки из окружающей среды, параметры объекта. Также в математической модели произведен расчет энергетических и геометрических параметров ТЭМ, входящих в состав системы. На основе математического моделирования получены многомерные и одномерные графики изменения температуры биологического объекта и контрольных точек ТЭС в пространстве и времени для различных мощностей и токов питания ТЭМ, условий эксплуатации прибора при равномерном охлаждении и контрастном тепловом воздействии. Установлено, что разработанная ТЭС, реализованная на базе стандартных ТЭМ, выпускаемых отечественными фирмами производителями, может в полной мере обеспечить существующие методики проведения тепловых косметологических процедур.

Доказана адекватность разработанной математической модели путем проведения комплекса экспериментальных исследований, в результате которых расхождение полученных теоретических и экспериментальных данных не превысило допустимых значений.

Разработаны конструкции ТЭУ для проведения тепловых косметологических процедур, работающие при различных частотах переключения режимов работы, обеспечивающие как равномерное охлаждение поверхности тела человека, так и контрастное тепловое воздействие.

Клиническая апробация ТЭС произведена в ГБУ "Республиканский кожно-венерологический диспансер" (г. Грозный). В результате применения прибора на практике была установлена эффективность его применения при лечении кожных заболеваний, а также улучшения состояния кожи пациентов.

Результаты исследований могут быть использованы в дальнейшем при проектировании систем для теплового воздействия в медицине и косметологии.

Список литературы

1. Александров, А.А. Теплотехника / А.А. Александров, А.М. Архаров, И.А. Архаров, [и др.]. - М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - 880 с.
2. Александров, В.В. Сравнительный анализ технологических преимуществ методов тепло-бальнеотерапии на санаторно-курортном этапе восстановительного лечения / В.В. Александров, В.И. Мизин, В.В. Ежов, О.П. Смолянинова // Курортная медицина. - 2021. - № 1. - С.5-14.
3. Анатычук, Л.И. Термоэлектрический прибор для лечения кожи / Л.И. Анатычук, Р.Р. Кобылянский, Ю.Н. Мочернюк // Термоэлектричество. - 2009. - № 4. - С. 93-100.
4. Анатычук, Л.И. Об использовании термоэлектрического охлаждения в дерматологии и косметологии / Л.И. Анатычук, О.И. Денисенко, Р.Р. Кобылянский, Т.Я. Каденюк // Термоэлектричество. - 2015. - № 3. - С.57-71.
5. Анатычук, Л.И. Охлаждение головного мозга человека термоэлектрическими средствами / Л.И. Анатычук, Р.Р. Кобылянский // Термоэлектричество. - 2016. - № 2. - С.45-54.
6. Анатычук, Л.И. Компьютерное моделирование и оптимизация динамических режимов работы термоэлектрического прибора для рефлексотерапии / Л.И. Анатычук, Л.Н. Вихор, Р.Р. Кобылянский // Термоэлектричество. – 2017. - № 3. - С.47-54.
7. Анатычук, Л.И. Результаты клинического применения термоэлектрического прибора для лечения заболеваний кожи / Л.И. Анатычук, О.И. Денисенко, О.В. Шуленина, О.П. Микитюк, Р.Р. Кобылянский // Термоэлектричество. - 2018. - № 3. - С.55-70.
8. Атрошенко, Ю.К. Теплотехнические измерения и приборы / Ю.К. Атрошенко, Е.В. Иванова. - Томск: ТПУ, 2014. - 151 с.
9. Баранов, А.Ю. Перенос теплоты в объекте общего криотерапевтического воздействия / А.Ю. Баранов, Т.А. Малышева, А.В.

Савельева, А.Ю. Сидорова // Вестник Международной академии холода. - 2012. - № 2. - С.35-40.

10. Баранов, А.Ю. Выбор схемы общего криотерапевтического воздействия / А.Ю. Баранов, Т.А. Малышева, А.В. Савельева, А.Ю. Сидорова // Вестник Международной академии холода. - 2012. - № 4. - С.40-44.

11. Баранов, А.Ю. Выбор альтернативного криоагента для покрытия тепловой нагрузки в установке для общего криотерапевтического воздействия / А.Ю. Баранов, А.В. Василенок, Е.В. Соколова, С.Д. Чубова, А.М. Зиявидинов // Вестник Международной академии холода. - 2022. - № 1. - С.76-82.

12. Белозерцев, В.Н. Исследование основных характеристик термоэлектрического охладителя и генератора / В.Н. Белозерцев, С.О. Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов, А.А. Шиманов. - Самара: СГАУ, 2015. – 76 с.

13. Боголюбов, В.М. Физиотерапия в реабилитации больных ревматоидным артритом / В.М. Боголюбов, В.Д. Сидоров // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2012. - № 2. - С.3-9.

14. Бонапартова, А.В. Основы косметологии / А.В. Бонапартова. - М.: ООО "Издательство "КноРус", 2020. - 192 с.

15. Будрик, В.В. Основы криотерапии, криохирургии и криоконсервации / В.В. Будрик. - М: Лика, 2014. - 190 с.

16. Булат, Л.П. Прикладные исследования и разработки в области термоэлектрического охлаждения в России / Л.П. Булат // Холодильная техника. - 2009. - № 7. - С.34-37.

17. Буренина, И.А. Современные методики криотерапии в клинической практике / И.А. Буренина // Вестник современной клинической медицины. - 2014. - т. 7. - С.57-61.

18. Волков, М.П. Циклостойкие миниатюрные термоэлектрические модули / М.П. Волков, И.А. Дабкин, Л.Б. Ершова, А.А. Назаренко // Физика и техника полупроводников. - 2019. - № 5. - С.604-607.

19. Григорьева, Ю.Н. Дермотония - вакуумное воздействие для омоложения лица и тела / Ю.Н. Григорьева // Косметика и медицина. - 2018. - № 1 - С.58-60.

20. Гуляев, А.А. Оформление аппаратно/физиотерапевтических процедур согласно требованиям Минздрава РФ / А.А. Гуляев // Аппаратная косметология. - 2017. - № 1. - С.14-20.

21. Давыдкин, Н.Ф. Применение физиотерапии в комплексном лечении переломов трубчатых костей / Н.Ф. Давыдкин // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2013. - № 3. - С.27-34.

22. Дашевский, З.М. Новое направление применения термоэлектрических преобразователей энергии / З.М. Дашевский, П.П. Константинов, С.Я. Скипидаров // Физика и техника полупроводников. - 2019. - № 7. - С.875-878.

23. Дульнев, Г.Н. Теория тепло- и массообмена / Г.Н. Дульнев. - СПб.: СПбНИУИТМО, 2012. - 195 с.

24. Евдулов О.В. Разработка устройств и систем для охлаждения на основе сильноточных термоэлектрических преобразователей энергии - дис... докт. техн. наук: 05.04.03 / Евдулов Олег Викторович, Махачкала, 2019. - 330 с.

25. Ежов, В.В. Физиотерапия и физиопротекция как методы и средства сохранения и восстановления здоровья / В.В. Ежов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 4. - С.33-36.

26. Ежов, В.В. Применение сопочных вод и пелитов грязевых вулканов в санитарно-курортной практике / В.В. Ежов, В.И. Васенко, В.И. Мизин, А.Ю. Царев, Л.Ш. Дудченко, Т.Б. Игнатова // Вестник физиотерапии и курортологии. - 2020. - т.26, № 1. - С.72.

27. Зубарев, А.В. Новая эра высокочастотного ультразвука (18-24 МГц) в дерматологии и косметологии / А.В. Зубарев // Кремлевская медицина. Клинический вестник. - 2020. - № 1 - С.5-11.

28. Зубкова, С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов / С.М. Зубкова // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2011. - № 6. - С.3-10.

29. Исмаилов, Т.А. Экспериментальные исследования термоэлектрического устройства для лечения панариция / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, Д.А. Гидуримова // Термоэлектричество. - 2013. - № 4. - С.89-96.

30. Исмаилов, Т.А. Математическая модель термоэлектрической системы для локального теплового воздействия на руку человека / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, Р.А.-М. Магомадов // Термоэлектричество. - 2014. - № 1. - С.77-86.

31. Исмаилов, Т.А. Исследование термоэлектрической системы для локального замораживания тканей гортани / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Т.А. Рагимова // Термоэлектричество. - 2015. - № 2. - С.86-94.

32. Исмаилов, Т.А. Измерение рабочих характеристик термоэлектрического устройства для проведения тепловых косметологических процедур / Т.А. Исмаилов У.И. Абдулхакимов, О.В. Евдулов // Материалы 16 Международной НТК "Измерение, контроль, информатизация". - Барнаул: АГТУ, т.2, 2015. - С.83-87.

33. Исмаилов, Т.А. Конструкция устройства для проведения тепловых косметологических процедур на базе полупроводниковых термоэлектрических преобразователей / Т.А. Исмаилов, У.И. Абдулхакимов, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова // Материалы 7 Международной НТК "Низкотемпературные и пищевые технологии в 21 веке". - С.-Пб.: НИУ ИТМО, 2015. - С.449-452.

34. Исмаилов, Т.А. Модель термоэлектрического устройства для проведения тепловых косметологических процедур / Т.А. Исмаилов, О.В.

Евдулов, У.И. Абдулхакимов, Д.В. Евдулов, Н.А. Набиев // Термоэлектричество. - 2016. - № 5. - С.80-86.

35. Исмаилов, Т.А. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур на лице / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, У.И. Абдулхакимов, Д.В. Евдулов // Медицинская техника. - 2017. - № 4. - С.38-42.

36. Исмаилов, Т.А. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур / Т.А. Исмаилов, У.И. Абдулхакимов, Д.В. Евдулов, О.В. Евдулов // Материалы XV Межгосударственной конференции "Термоэлектрики и их применение". – СПб.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 2017. - С.263-266.

37. Исмаилов, Т.А. Модель термоэлектрического устройства для теплового воздействия на рефлексогенные зоны / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Н.А. Набиев, С.Г. Магомедова // Медицинская техника. - 2020. - № 1. - С.40-43.

38. Каладзе, Н.Н. Влияние грязевых аппликаций и биорезонансной вибростимуляции на структурно-функциональное состояние эндотелия сосудов у экспериментальных животных с адьювантным артритом / Н.Н. Каладзе, А.К. Загоруйко, Е.В. Сарчук // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2013. - № 1. - С.14-19.

39. Капулер, О.М. Потенциальные возможности ботулинотерапии в косметологии / О.М. Капулер // Вестник дерматологии и венерологии. - 2020. - т.96, № 5 - С.19-23.

40. Крайнов, А.Ю. Конвективный теплоперенос и теплообмен / А.Ю. Крайнов, К.М. Моисеева. - Томск: СТТ, 2017. – 80 с.

41. Липова, Е.В. Лазерные и радиоволновые технологии в дерматовенерологии и косметологии / Е.В. Липова, М.Р. Рахматулина, И.И. Глазко, А.С. Чекмарев // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2020. - т.65, № 5. - С.68-76.

42. Лучаков, Ю.И. Теплообмен различных областей тела человека со средой / Ю.И. Лучаков, П.Д. Шабанов // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. - 2012. - т. 10, № 4. - С.54-57.

43. Магомадов Р.А.-М. Термоэлектрическая система для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма - дис... канд. техн. наук: 05.04.03 / Магомадов Рустам Абу-Муслимович, Махачкала, 2016. - 133 с.

44. Пат. 2417790 Рос. Федерация: МПК⁷ А61Н 15/12 Способ безмедикаментозного обезболивания хронической боли опорно-двигательного аппарата человека / Кузнецов О.Ф., Кузнецов М.О., № 2009139486, заявл. 27.10.2009; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 13 - 6 с.

45. Пат. 2429026 Рос. Федерация: МПК⁷ А61М 21/00 Способ оздоровления и омоложения кожи / Шушарджан С.В. Сагателова К.П., Шушарджан Р.С., № 2008152205, заявл. 29.12.2008; опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26 - 11 с.

46. Пат. 2429890 Рос. Федерация: МПК⁷ А61N 5/067 Способ управления температурой поверхностного слоя кожи и подкожных слоев биоткани / Журба В.М., Митькин В.М., № 2010102825, заявл. 26.01.2010; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27 - 11 с.

47. Пат. 2499590 Рос. Федерация: МПК⁷ А61Н 33/04 Способ грязелечения / Бузыкин А.Е., № 2012136493, заявл. 24.08.2012; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33 - 4 с.

48. Пат. 2554219 Рос. Федерация: МПК⁷ А61N 5/067 Способ лазерной термотерапии кожи и ее придатков, фармацевтическая композиция для него и их применения / Дементьева О.В., Рудой В.М., Григорьев Г.К., № 2013122701, заявл. 17.05.2013; опубл. 27.06.2015, Бюл. № 18 - 26 с.

49. Пат. 2563450 Рос. Федерация: МПК⁷ А61Н 33/12 Устройство туманообразователя для ухода за лицом / Чэнь Синь, Спренгерс Бьерн, Ха Ван Кей Рики, Ту Дзявэнь, № 2012156161, заявл. 23.05.2011; опубл. 20.09.2015, Бюл. № 26 - 17 с.

50. Пат. 2562509 Рос. Федерация: МПК⁷ А61F 7/00 Термоэлектрическое устройство для косметологических процедур на лицо человека / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Евдулов Д.В., Абдулхакимов У.И., Ахмедов Б.И., № 2014100200, заявл. 09.01.2014; опубл.10.09.2015, Бюл. № 25 - 5 с.

51. Пат. 2562507 Рос. Федерация: МПК⁷ А61F 7/00 Термоэлектрическое устройство для косметологических процедур на лицо человека / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Евдулов Д.В., Абдулхакимов У.И., Камилова З.А., № 2014100201, заявл. 09.01.2014; опубл.10.09.2015, Бюл. № 25 - 5 с.

52. Пат. 2572184 Рос. Федерация: МПК⁷ А61F 7/00 Термоэлектрическое устройство для проведения косметологических процедур на лице / Исмаилов Т.А., Магомадов Рустам А.-М., Абдулхакимов У.И., Магомадов Руслан А.-М., Амхаев Т.Ш., Садаев С.С., № 2015106703, заявл. 26.02.2015; опубл. 27.12.2015, Бюл. № 36 - 5 с.

53. Пат. 2576083 Рос. Федерация: МПК⁷ А61F 7/00 Способ повышения эффективности процедур косметического ухода за кожей / Фаустова Е.Е., № 2015104544, заявл. 11.02.2015; опубл. 27.02.2016, Бюл. № 6 - 15 с.

54. Пат. 2576788 Рос. Федерация: МПК⁷ А61Н 9/00 Способ комплексного восстановления и поддержания состояния кожи, подкожно-жировой клетчатки, мышечной и соединительной ткани в косметологии (варианты) / Фаустова Е.Е., № 2015112628, заявл. 07.04.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 7 - 14 с.

55. Пат. 2638439 Рос. Федерация: МПК⁷ А61N 5/067 Матричный лазерный излучатель при лечении акне / Райгородский Ю.М., Утц С.Р., Чернеков Ю.В., Ручкин В.В., Татаренко Д.А., № 2017111542, заявл. 05.04.2017; опубл. 13.12.2017, Бюл. № 35 - 13 с.

56. Пат. 2659687 Рос. Федерация: МПК⁷ А61К 8/00 Способ экспресс ухода за кожей лица для церемониальных и официальных мероприятий /

Диброва Е.А., № 2017138426, заявл. 03.11.2017; опубл. 03.07.2018, Бюл. № 19 - 6 с.

57. Пат. 2723229, Рос. Федерация: МПК⁷ H01L 35/16, H01L 35/18 Термоэлемент (варианты) / Дашевский З.М., Дудкин Л.Д., Скипидаров С.Я., № 2018108868; заявл. 13.03.2018; опубл. 09.06.2020, Бюл. № 16 - 12 с.

58. Пат. 2767429, Рос. Федерация: МПК⁷ F25B 21/02, H01L 35/02 Термоэлектрический холодильник / Нургалиев М.И., № 2020113923; заявл. 19.04.2020; опубл. 17.03.2022, Бюл. № 8 - 9 с.

59. Полевой, А.А. Низкотемпературные технологии / А.А. Полевой // Холодильная техника. - 2012. - № 1. - С.52-54.

60. Пономаренко, Г.Н. Биофизические основы физиотерапии / Г.Н. Пономаренко, И.И. Турковский. - М.: Медицина, 2006. - 176 с.

61. Пономаренко, Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития / Г.Н. Пономаренко // Физическая и реабилитационная медицина. - 2022. - т. 4, № 1. - С.8-20.

62. Пономаренко, Г.Н. Физические методы лечения в дерматологии / Г.Н. Пономаренко, И.О. Смирнова, И.Г. Курганская. - Москва: ООО Издательская группа "ГЭОТАР-Медиа", 2020. - 432 с.

63. Портнов, В.В. Локальная воздушная криотерапия: механизм действия и применение в практике / В.В. Портнов // Курортные ведомости. - 2009. - № 2. - С.25-31.

64. Румянцев А.В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности / А.В. Румянцев. - Калининград: КГУ, 2010. - 95 с.

65. Струтинский, М.Н. Компьютерные технологии в термоэлектричестве / М.Н. Струтинский // Термоэлектричество. - 2009. - № 4. - С.32-48.

66. Такенобу, Кадзикава Новейшие разработки в области технологии термоэлектрического генерирования электроэнергии в Японии / Кадзикава Такенобу, Фунаками Риодзи // Термоэлектричество. - 2016. - № 1. - С.5-17.

67. Теория тепломассообмена / Под. ред. А.И. Леонтьева. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. - 464 с.
68. Ткалич, В.Л. Обработка результатов технических измерений / В.Л. Ткалич, Р.Я. Лабковская. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. - 72 с.
69. Улащик, В.С. Общая физиотерапия / В.С. Улащик, И.В. Лукомский. - Минск: Книжный дом, 2008. - 512 с.
70. Улащик, В.С. Физико-химические свойства кожи и действие лечебных физических факторов / В.С. Улащик // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. - 2018. - т. 95, № 1. - С.4-13.
71. Ушаков, А.А. Практическая физиотерапия / А.А. Ушаков. - М.: ООО Медицинское информационное агентство, 2009. - 612 с.
72. Филин, С.О. Сравнительный анализ энергетических характеристик современных термоэлектрических холодильников / С.О. Филин // Термоэлектричество. – 2017. - № 6. - С.67-76.
73. Ходарев, Н.В. Влияние общей воздушной криотерапии на антиоксидантный статус крови / Н.В. Ходарев, Н.Л. Жемчужнова, Е.В. Олемпиева, М.Н. Жинко, С.Г. Нешин // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. - 2012. - № 1. - С.32-35.
74. Цыганов, Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты / Д.И. Цыганов. - М.: САЙНС-ПРЕСС, 2011. - 304 с.
75. Чукаева, О.Г. Дэнс-форез для экстренной коррекции косметических дефектов кожи лица / О.Г. Чукаева, Л.Г. Агасаров, И.А. Миненко // Вестник новых медицинских технологи. - 2020. - т. 27, № 1. - С.71-75.
76. Шанина, Н.А. Возможности коррекции возрастных изменений кожи лица и шеи с помощью лазерных технологий / Н.А. Шанина, А.В. Патрушев, А.В. Самцов, В.Н. Плахов // Вестник Российской Военно-медицинской академии. - 2018. - № 1 (61). - С.29-34.
77. Шучитангшу, Чаттерджи Термоэлектричество по индийскому сценарию / Чаттерджи Шучитангшу // Термоэлектричество. - 2016. - № 6. - С.5-21.

78. Ding, L.C. A review of power generation with thermoelectric system and its alternative with solar ponds / L.S. Ding, A. Akbarzadeh, L. Tan // Renewable and sustainable energy reviews. - 2018. - Vol. 81. - P. 799-812.
79. Goldsmid, H.J. Introduction to thermoelectricity / H.J. Goldsmid. - New York: Springer, 2010. - 121 p.
80. Goldsmid, H.J. Thermoelectric refrigeration / H.J. Goldsmid. - New York: Springer, 2013. - 240 p.
81. <http://www.kryotherm.spb.ru> (дата доступа 18.07.2022).
82. <http://www.marlow.com> (дата доступа 18.07.2022).
83. <http://www.melcor.com> (дата доступа 18.07.2022).
84. <http://www.osterm.ru> (дата доступа 18.07.2022).
85. <http://ite.inst.cv.ua> (дата доступа 18.07.2022).
86. http://www.fandis_tm.com (дата доступа 18.07.2022).
87. http://www.komatsu_electronics.co.jp (дата доступа 18.07.2022).
88. <http://www.vivax.com> (дата доступа 18.07.2022).
89. <http://www.tepmoxota.ru> (дата доступа 18.07.2022).
90. <https://almamed.su/product/ipl-sistema-flash-1-jumbo-flesh-1-dzhambo/>.
91. <http://wizbeauty.waimaotong.com/> (дата доступа 18.07.2022).
92. https://www.megamedportal.ru/articles/kosmetologiya/novaja_mnogofunkcionalnaja_platforma_forma_tk.html (дата доступа 18.07.2022).
93. <http://www.mciti.ru/main.php?k=8> (дата доступа 18.07.2022).
94. <http://volkovabeauty.ru/nashe-oborudovanie/sharplight> (дата доступа 18.07.2022).
95. <http://sciton.com.ua/products/sciton-joule/bbl> (дата доступа 18.07.2022).
96. <http://www.apolo-laser.com> (дата доступа 18.07.2022).
97. <http://perukar.sels.com.ua/kompaktnyj-skinpulse-500-tsena-10-880-evro/pl857> (дата доступа 18.07.2022).
98. <http://t-clinic.ru/cryolipolys> (дата доступа 18.07.2022).

99. Hyoung-Seuk, Choi Prediction of reliability on thermoelectric module through accelerated life test and physics - of - failure / Choi Hyoung-Seuk // Electronic materials letter. – 2011. - № 7. - P.175-182.

100. Hua, Zhang Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain / Zhang Hua, Chen Hong, Wang Hao, Li Duoduo, Jia Baolin, Tan Zhongjian, Zheng Bin, Weng Zhiwen // Journal of traditional Chinese medical sciences. - 2015. - № 2. - P.60-68.

101. Krukowska , Jolanta Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone / Jolanta Krukowska, Adam Lukasiak, Jan Czernicki // Polish annals of medicine. - 2012 - № 19. - P.15-20.

102. Miroslav, Savic Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin / Savic Miroslav, Fonda Borut, Sarabon Nejc // Journal of thermal biology. - 2013. - № 38. - P.186-191.

103. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual / P. Pasquali. - New York: Springer, 2015. - 441 p.

104. Patent KR 20100060222 (A) Device for skin beauty and medical treatment / Gim Yang Soo, 2010.

105. Patent JP 2012152307 (A) Beauty appliance / Hitachi Maxell, 2012.

106. Patent JP 2006130055 (A) Cryotherapy apparatus by Peltier module / element and temperature control method for cryotherapy by Peltier module / element / Maruyama Shigenao, Yamaya Tomoyuki, Alba Setsuya, 2006.

107. Patent KR 20130043299 (A) Medical skin beauty care apparatus for heating and stimulating skin using thermoelectric module and ultra-sonic vibrator / Kim Ki Tae, 2013.

108. Patent KR 20120090862 (A) An apparatus for hot and cold therapy which utilizes thermoelectric module / Kang Sung Mo, 2012.

109. Patent WO 2013164820 (A1) Cryocatheter with coolant fluid cooled thermoelectric module / Berger Avi, Hazan Avri, 2013.

110. Rowe, D.M. Thermoelectrics and its energy harvesting, materials, preparation and characterization / D.M. Rowe. - BocaRaton: CRC Press, 2012. - 567 p.

111. Ssenoga, Twaha A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modeling and performance improvement / Twaha Ssenoga, Zhu Jie, An Yuying, Li Bo // Renewable and sustainable energy reviews. - 2016. - № 65. - P.114-121.

112. Tiffany, Field Massage therapy research review / Field Tiffany // Complementary therapies in clinical practice. - 2016. - № 24. - P.154-163.

113. Toshima, N. Thermoelectric performance of organic materials including hybrid system / N. Toshima // Journal of Kinzoku materials science and technology. - 2016. - № 3. - P.103-109.

114. Verhagen, John. Massage therapy has short-term benefits for people with common musculoskeletal disorders compared to no treatment: a systematic review / John Verhagen // Journal of physiotherapy. - 2015. - № 61. - P.106-116.

Приложение

**XX Московский международный
Салон изобретений и инновационных технологий**



«АРХИМЕД-2017»

ДИПЛОМ

*Решением Международного Жюри
награждается*

ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

*ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный
технический университет»
за разработку «Термоэлектрическое устройство
для проведения тепловых косметологических
процедур на лицо человека»*

*(Исмашлов Тагир Абдурашидович, Евдулов Олег Викторович,
Камилова Зури Анваровна, Абдулхакимов Умар Ильманович,
Хазамова Мадина Абдуллаевна)*

*Председатель
Международного Жюри,
лётчик-космонавт РФ,
член-корреспондент РАН*



Ю.М. Батурин

Президент Салона



Д.И. Зезюлин

*Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности*



Г.П. Ивлиев



5-АЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
И ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК
«ИЗМЕРЕНИЕ, МИР, ЧЕЛОВЕК - 2015»



СЕРЕБРЯНАЯ МЕДАЛЬ

в номинации «Измерение, контроль, автоматизация в медицине и
здравоохранении»

награждается

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дагестанский государственный технический университет»

за разработку

«Термоэлектрическое устройство для проведения тепловых
косметологических процедур на лицо человека с возможностью
программирования температурного режима воздействия»

Авторы:

Исмаилов Тагир Абдурашидович
Евдулов Олег Викторович
Казумов Ревшан Шихович
Абдулхакимов Умар Ильманович

Ректор
Алтайского государственного
технического университета
им. И.И. Ползунова



А.А. Ситников
А.А. Ситников

БАРНАУЛ 12-13 МАЯ 2015

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014100200/14, 09.01.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.01.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.01.2014

(43) Дата публикации заявки: 20.07.2015 Бюл. № 20

(45) Опубликовано: 10.09.2015 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 7744640 B1, 29.06.2010. RU 2459610 C2, 27.08.2012. WO 1995010251 A1, 20.04.1995. RU 2003112562 A, 27.11.2004. RU 2497488 C2, 10.11.2013. RU 2047298 C1, 10.11.1995. SU 1674834 A1, 07.09.1991. RU 2299711 C2, 27.05.2007. US 2005131504 A1, 16.06.2005. US 2004249427 A1, 09.12.2004

Адрес для переписки:

367015, Республика Дагестан, г.Махачкала, пр.
имама Шамиля, 70, ФГБОУ ВПО "ДГТУ", отдел
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Исмаилов Тагир Абдурашидович (RU),
Хазамова Мадина Абдуллаевна (RU),
Евдулов Олег Викторович (RU),
Абдулхакимов Умар Ильманович (RU),
Ахмедов Булат Игорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ "ДАГЕСТАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (ДГТУ) (RU)(54) ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОСМЕТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР НА
ЛИЦО ЧЕЛОВЕКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к медицинской технике. Термоэлектрическое устройство для косметологических процедур на лицо человека содержит теплоконтактную пластину, систему теплоотвода и термоэлементы, подключенные к управляемому источнику постоянного тока. Теплоконтактная пластина выполнена в виде гибкого основания из высокотеплопроводного материала в форме маски, повторяющей контуры лица человека с отверстиями в области глаз, носа и рта. Выступы боковой поверхности основания отогнуты под углом 90° к основанию и сопряжены с обеспечением плотного теплового

контакта с воздействующими спаями термоэлементов. Опорные спаи термоэлементов контактируют с емкостью, заполненной плавящимся рабочим веществом с температурой плавления 35-45°С. На поверхности основания имеется тонкая силиконовая прослойка. Основание снабжено крепежным приспособлением для плотной фиксации устройства на лице человека. Применение изобретения обеспечит одновременное тепловое воздействие на всю поверхность лица человека. 1 ил.



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014100201/14, 09.01.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.01.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.01.2014

(43) Дата публикации заявки: 20.07.2015 Бюл. № 20

(45) Опубликовано: 10.09.2015 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 7744640 B1, 29.06.2010. RU 2459610
C2, 27.08.2012. WO 1995010251 A1, 20.04.1995.
RU 2497488 C2, 10.11.2013. RU 2047298 C1,
10.11.1995. SU 1674834 A1, 07.09.1991. RU
2299711 C2, 27.05.2007. RU 2267315 C2,
10.01.2006. US 2005131504 A1, 16.06.2005 . US
2004249427 A1, 09.12.2004

Адрес для переписки:

367015, Республика Дагестан, г.Махачкала, пр.
имама Шамиля, 70, ФГБОУ ВПО "ДГТУ", отдел
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Исмаилов Тагир Абдурашидович (RU),
Хазамова Мадина Абдуллаевна (RU),
Евдулов Олег Викторович (RU),
Абдулхакимов Умар Ильманович (RU),
Камилова Зури Анваровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ "ДАГЕСТАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (ДГТУ) (RU)(54) ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОСМЕТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР НА
ЛИЦО ЧЕЛОВЕКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к медицинской технике. Термоэлектрическое устройство для косметологических процедур на лицо человека содержит теплоконтактную пластину, систему теплоотвода и термоэлементы, подключенные к управляемому источнику постоянного тока. Теплоконтактная пластина выполнена в виде гибкого основания из высокотеплопроводного материала в форме маски, повторяющей контуры лица человека с отверстиями в области глаз, носа и рта. Выступы боковой поверхности основания отогнуты под углом 90° к основанию и

сопряжены с обеспечением плотного теплового контакта с воздействующими спаями термоэлементов. Опорные спаи термоэлементов контактируют с воздушным радиатором. На поверхности основания имеется тонкая силиконовая прослойка. Основание снабжено крепежным приспособлением для плотной фиксации устройства на лице человека. Применение изобретения обеспечит одновременное тепловое воздействие на всю поверхность лица человека. 1 ил.


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015106703/14, 26.02.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.02.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.02.2015

(45) Опубликовано: 27.12.2015 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2047298 C1, 10.11.1995. US 7744640
B1, 29.06.2010. RU 2459610 C2, 27.08.2012. WO
1995010251 A1, 20.04.1995. RU 2003112562 A,
27.11.2004. SU 1674834 A1, 07.09.1991.

Адрес для переписки:

 364051, Чеченская Респ., г. Грозный, ГСП-2, пл.
 Орджоникидзе, 100, ФГБОУ ВПО "Грозненский
 государственный нефтяной технический
 университет имени академика М.Д.
 Миллионщикова", ректор Таймасханов Х.Э.

(72) Автор(ы):

 Исмаилов Тагир Абдурашидович (RU),
 Магомадов Рустам Абу-Муслимович (RU),
 Абдулхакимов Умар Ильманович (RU),
 Магомадов Руслан Абу-Муслимович (RU),
 Амхаев Тимур Ширванович (RU),
 Садаев Салман Султанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Грозненский государственный нефтяной
 технический университет имени академика
 М.Д. Миллионщикова" (RU)

(54) ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР НА ЛИЦЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к медицинской технике, а именно к термоэлектрическим устройствам для проведения косметических процедур на лице. Устройство содержит теплоконтактную пластину, систему теплоотвода, термоэлементы и управляемый источник постоянного тока, подключенный к термоэлементам, при этом теплоконтактная пластина выполнена в виде гибкого основания из высокотеплопроводного материала, имеющего форму маски, повторяющей контуры лица человека, с отверстиями в области глаз, носа и рта, основание состоит из наборных сегментов, выполненных с возможностью регулирования формы и размеров в соответствии с конкретными геометрическими характеристиками лица человека, при этом плотный механический контакт наборных сегментов обеспечивается за

счет анкерного соединения по боковым поверхностям сегментов, боковая поверхность основания свободна от соединительных анкеров и имеет выступы, отогнутые под углом 90° и для плотного теплового контакта сопряженные с воздействующими спаями термоэлементов, опорные спай выполнены с возможностью контактирования с воздушным радиатором, а на поверхности основания со стороны лица имеется тонкая силиконовая прослойка, которая предотвращает механические повреждения кожи лица при контакте с устройством, а основание снабжено крепежным приспособлением для плотной фиксации устройства на лице человека. Использование изобретения обеспечивает одновременное тепловое воздействие на всю поверхность лица человека в соответствии с определенной структурой и геометрией. 1 ил.

 RU
 2 572 184
 C1

 RU
 2 572 184
 C1

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО "ГНТУ"

им. акад. М.Д. Миллионщикова,

к.т.н., профессор

И.Г. Гайрабеков

И.Г. Гайрабеков 2023 г.



АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Абдулхакимова Умара Ильмановича «Разработка и исследование охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур», выполненной в научно-исследовательской лаборатории полупроводниковых термоэлектрических приборов и устройств кафедры теоретической и общей электротехники ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет", внедрены в учебный процесс.

На основании решения кафедры "Электротехника и электропривод", протокол № 02 от 25. 02. 2023 года, заседания кафедры "Электротехника и электропривод" и протокол № 03 от 03. 03.2023 года, заседания Ученого Совета института энергетики) ФГБОУ ВО "Грозненский государственный нефтяной технический университет" им. академика М.Д. Миллионщикова результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс.

Вид внедренных результатов - термоэлектрические полупроводниковые охлаждающие системы, предназначенные для теплового терапевтического воздействия на биологический объект по заданной программе, их математические модели.

Форма внедрения. Указанные результаты включены в курсы лекций по дисциплинам "Теплотехника и гидравлика", "Электрические и электронные аппараты", а также использованы при формировании учебных лабораторных стендов для выполнения лабораторных работ по дисциплине "Электрические и электронные аппараты" по направлению "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов".

Заведующий кафедрой

Электротехника и электропривод, к.т.н., доцент

Магомадов Р.А.

Директор

института энергетики ГНТУ, к.т.н., доцент

Эзирбаев Т.Б.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель главврача

ГБУ "Республиканский
кожно-венерологический диспансер"

И.С. Жетиева



« 16 » февраля 2023 г.

АКТ

о клинической апробации и внедрении результатов научно-исследовательской работы (НИР)

Настоящим актом подтверждается, что "Разработка и исследование охлаждающей термоэлектрической системы для тепловых косметологических процедур" применена в клинической практике ГБУ "Республиканский кожно-венерологический диспансер" Министерства здравоохранения Чеченской Республики в период с 09. 01. 2023 г. по 13. 02. 2023 г.

Объект внедрения: термоэлектрическое устройство для проведения тепловых косметологических процедур, методики проведения процедур с его использованием.

Результаты клинической апробации.

Проведено 19 процедур 5 пациентам, из них 2 пациентам с дерматитом, 2 пациентам - с акне, 1 пациенту на стадии послеоперационной реабилитации.

В ходе апробации приборов выявлены следующие положительные результаты:

- 1) усиление лечебного эффекта за счет равномерного и контрастного теплового воздействия на лицо пациентов;
- 2) уменьшение продолжительности заживления пораженных участков;
- 3) простота обслуживания прибора.

В ходе апробации устройства осложнений не наблюдалось.

Результаты внедрения.

Разработано термоэлектрическое устройство для проведения тепловых процедур на лицо, повышающее их эффективность в лечебной и косметологической практике.

- ул., Э.Э. Исмаилова 15, г. Грозный.

УТВЕРЖДАЮ

Общество с ограниченной
ответственностью "Эрфолг"



Директор

Т.Р. Хаджиев

20 23 г.

АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы Абдулхакимова У.И.,
на тему "Разработка и исследование охлаждающей термоэлектрической
системы для тепловых косметологических процедур"**

Настоящим актом подтверждается, что в Общество с ограниченной ответственностью "Эрфолг" были внедрены результаты исследований и разработки диссертанта Абдулхакимова У.И., а именно:

- метод локального теплового воздействия, реализованный на основе термоэлектрической системы специальной конструкции, позволяющий обеспечить как равномерное, так и контрастное тепловое воздействие на отдельные зоны поверхности тела человека с высокой точностью регулировки, требуемой объектом воздействия и частотой переключения режимов;
- методика расчета термоэлектрической системы для теплового воздействия на отдельные зоны поверхности тела человека.

Результаты исследований повысили тактико-технические характеристики разрабатываемых систем и устройств за счет повышения регулируемых параметров их надежности и энергетической эффективности.

Ведущий инженер

Чак Б.

/Б.З. Чакаев/