

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки 12.03.02 «Оптехника»
Кафедра лазерной и световой техники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Использование QSwitched лазеров для удаления татуировок

УДК 621.373.826:615.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В21	Д. С. Шаймадиева		

Руководитель

Должность	ФИО	Уч. степень, звание	Подпись	Дата
Аспирант каф. ЛиСТ	Н.А. Алексеев			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН ИЭФ ТПУ	Е.А. Грахова			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЭБЖ	О.Б. Назаренко	Д. Т. Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. каф. ЛИСТ	А. Н. Яковлев	к. ф.-м. н. ДОЦЕНТ		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
P8	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике
P10	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Направление 12.03.02 «Оптотехника»
Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЛИСТ

_____ А. Н. Яковлев

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме

бакалаврской работы

Студенту

Группа	ФИО
4В21	Шаймадиевой Данаре Сериковне

Тема работы

Использование QSwitched лазеров для удаления татуировок	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом готовой работы:	06. 06. 2016 г.
--------------------------------------	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы [непрерывный, периодический, циклический и т. д.]; вид сырья и материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования [эксплуатации] объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</p>	<p>Объект исследования - технология удаления нежелательных татуировок QSwitched лазером. Предмет исследования – методика оценки Кирби – Десаи. В работе использовался неодимовый лазер, разработанный сотрудниками кафедры ЛиСТ и Центром Оптических и Лазерных Технологий, характеристики которого следующие:</p> <ul style="list-style-type: none">• Длина волны: 1064 нм, комплектуется генератором второй длины волны 532 нм.• Частота до 5 Гц.• Длительность импульса: 10 нс. <p>Методика апробировалась при процедурах удаления перманентного макияжа и нежелательных татуировок пациентов в</p>
---	--

	клиниках эстетической медицины, практикующие данное оборудование.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки и техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i>	Аналитический обзор литературных источников, в частности зарубежных. Изучение процесса и механизма удаления нежелательных татуировок. Изучение состава красящих пигментов, освоение принципа работы и основных характеристик лазера кафедры ЛиСТ. Анализ методики оценки по шкале Кирби – Десаи.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Оптические свойства лазерного излучения на кожном покрове, спектры поглощения хромофоров биоткани, структура биоткани, глубина проникновения лазерного излучения разных длин волн, фототип кожи по Фитцпатрику, фотографии образцов.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Е.А. Грахова, ассистент каф. МЕН ИЭФ ТПУ
Социальная ответственность	О.Б. Назаренко, д. т. н., профессор каф. ЭБЖ
Раздел ВКР на иностранном языке	

Названия разделов, которые должны быть выполнены русским и иностранном языках:

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01. 10. 2015 г.
---	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Аспирант каф. ЛиСТ	Н.А. Алексеев			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В21	Д. С. Шаймадиева		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 90 с., 27 рис., 37 табл., 40 источников, 1 прил.

Ключевые слова: QSwitched, лазерное удаление татуировок, Nd:YAG лазер, режим модуляции добротности, Кирби – Десаи, красящий пигмент.

Объектом исследования является технология удаления нежелательных татуировок QSwitched лазером.

Целью работы является исследование основных технических решений, направленных на разрушение пигмента татуировки; исследование различных типов пигментов с позиции восприимчивости биологического объекта к лазерному излучению, анализ методики оценки Кирби – Десаи.

Исследования проводились на пациентах в клиниках эстетической медицины и салонах красоты, где внедрены лазеры, созданные на кафедре ЛиСТ.

В результате исследования обоснована целесообразность использования созданного лазера совместно с разработанной шкалой, а проведенный эксперимент показал хорошие результаты.

Степень внедрения: неодимовый лазер, созданный кафедрой ЛиСТ, совместно с использованием разработанной шкалы дает конкурентное преимущество по сравнению с существующими лазерами.

Область применения: клиники эстетической медицины, салоны красоты.

В будущем планируется дальнейшее исследование созданной методики, а также ее внедрение на постоянную основу в клиники эстетической медицины и салоны красоты.

Определения

В работе используются следующие термины:

Пигмент – красящее вещество.

Хромофор – ненасыщенная группа атомов, обуславливающая цвет вещества.

Лимфатическая система – часть сосудистой системы, дополняющая сердечно – сосудистую систему.

Режим модуляции добротности (QSwitched) – метод, применяемый для получения импульсного режима работы лазера.

Селективный фототермолиз – выборочное термическое разрушение пигментированной цели.

Гипопигментация – ослабление пигментации кожи, вызванное полным или частичным отсутствием клеток, вырабатывающих меланин.

Проксимальный отдел – части тела, расположенные ближе к центру или к медианной плоскости тела.

Дистальный отдел – части тела, расположенные дальше от центра или от медианной плоскости тела.

Обозначения и сокращения

Nd:YAG – неодимовый лазер;

YAG:Er – эрбиевый лазер;

УФ – ультрафиолетовый;

ИК – инфракрасный;

КТР - Калий титанил фосфат (KTiOPO₄);

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДУ – предельно допустимый уровень;

ПДК – предельно допустимая концентрация.

Нормативные ссылки

1. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
2. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга // 2006 – М.: Знак. – С. 600-605
3. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности
4. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума Классификация
5. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
6. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
7. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
8. ОСТ 42-21-16-86. Система стандартов безопасности труда, отделения, кабинеты физиотерапии. Общие требования безопасности
9. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров № 5804-91
10. ГОСТ Р-50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий
11. ГОСТ Р 50723-94. Знак лазерной опасности и его рекомендуемые размеры
12. СанПиН 2.1.7.728-99 "Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений"

Оглавление

Введение.....	9
1. Обзор литературы.....	12
2. Теоретическое асколирование.....	22
3. Экспериментальное асколирование.....	27
3.1. Результат экспериментального асколирования.....	42
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	50
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	50
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	50
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	52
4.1.3. SWOT – анализ.....	52
5. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	52
6. Планирование научно – исследовательских работ.....	53
6.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	53
6.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	53
6.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	53
6.4. Бюджет научно – технического исследования.....	54
6.4.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	54
6.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	54
6.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы.....	55
6.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы и отчисления во внебюджетные фонды.....	55
6.4.5. Расчет затрат на научные и производственные командировки.....	56
6.4.6. Контрагентные расходы.....	56

6.4.7. Накладные расходы.....	56
6.4.8. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.....	56
7. Определение экономической эффективности исследования.....	57
8. Анализ вредных факторов производственной безопасности.....	62
8.1. Физические факторы.....	62
8.2. Физиологические факторы.....	63
9. Анализ опасных факторов производственной безопасности.....	63
9.1. Физические факторы.....	63
9.2. Химические факторы.....	64
10. Экологическая безопасность.....	64
11. Безопасность в чрезвычайных	65
12. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	65
13. Заключение.....	68
14. Используемая литература.....	69
15. Приложение А.....	73
16. Приложение Б.....	83

Введение

Предпосылки создания лазерных установок берут свое начало в 1917 году, когда Альберт Эйнштейн выпустил публикацию на тему «Квантовая теория излучения», в которой было сказано, что наряду со спонтанным излучением энергии и поглощением может существовать вынужденное и индуцированное излучение. На основе этого заключения в 50 – х годах советскими учеными А.М. Прохоровым и Н.Г. Басовым были разработаны теоретические аспекты квантовой электроники. Позже Чарльз Таунс совместно со своими студентами выпустил краткую статью, в которой говорилось о микроволновом диапазоне спектра, где достигалась вынужденная эмиссия излучения. Данная разработка явилась миру под названием «МАЗЕР». С развитием мазера в 60 – х годах американский ученый Теодор Мэйман собрал первый действующий лазер, используя синтетические кристаллы рубина. Несмотря на то, что первый лазерный импульс, полученный на длине волны 690 нм, длился всего лишь сотни микросекунд, он положил начало массовому применению лазерных установок в различных технических и научных областях.

На сегодняшний день лазеры выполняют огромное количество технологических операций, позволяя упростить и ускорить работу, сэкономив время. Лазерные установки стали незаменимы в научных и многих других исследованиях, а их уникальные свойства доказывают их ценность, эффективность и многогранность.

Исследования по взаимодействию лазерного излучения с биологическими тканями впервые были проведены в СССР и США в 1960 годах. По данным экспериментов установили, что лазерный луч обладает высокой плотностью мощности, так как излучение монохроматично и когерентно. А это значит, что лазерным лучом можно избирательно воздействовать на живые и опухолевые биологические ткани, проникая достаточно глубоко, чтобы оказывать воздействие.

Впервые метод лазерного удаления татуировки был произведен на заре развития лазерной техники в 60-х годах, где в качестве активной среды использовали рубиновый кристалл, который работал в режиме свободной генерации. Однако первые результаты не увенчались успехом. Это объяснялось отсутствием знаний о происходящих процессах в биологических тканях при воздействии лазерным излучением, а также неопределенностью оптимальных параметров лазерного луча.

За это время был проведен колоссальный труд по получению клинического материала, а методы лазерного воздействия стали наиболее продвинутыми и самыми эффективными с точки зрения эстетической медицины.

Актуальность темы ВКР обусловлена тем, что с течением времени татуировки меняют свою социальную восприимчивость и сейчас около 40% мирового населения имеют татуировки. Однако с течением времени человеку перестает нравиться данный отпечаток на теле. Возникает вопрос, возможно ли полностью вывести его, не повредив при этом кожный покров?

Объект исследования: технология удаления нежелательных татуировок QSwitched лазером.

Предмет исследования: методика оценки Кирби – Десаи.

Цель данной работы – исследование основных технических решений направленных на разрушение пигмента татуировки; исследование различных типов пигментов с позиции восприимчивости биологического объекта к лазерному излучению.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Аналитический обзор литературных источников, в том числе зарубежных.
2. Освоение оборудования по данной проблематике.
3. Исследование и анализ состава различных типов пигментов.
4. Исследование поведения модельных объектов при воздействии лазерным излучением.

5. Анализ методики оценки Кирби – Десаи.
6. Получение теоретических выводов и практических рекомендаций.

Структура ВКР обусловлена предметом, целью и поставленными задачами. Работа включает в себя введение, две главы – теоретическая и практическая часть, заключение.

Введение отражает актуальность данной темы, определяет уровень научной разработки темы, цель работы, а также раскрывает теоретическую и практическую значимость работы.

В первой главе рассматриваются общие сведения о татуированной биологической ткани, используемых лазерах и методике удаления.

Вторая глава посвящена анализу методики оценки Кирби – Десаи, усовершенствованию, а также испытанию разработанной методики.

Заключение включает в себя итоги исследования и окончательные выводы по данной теме.

1. Обзор литературы

Физический механизм воздействия лазерного излучения на биологическую ткань влечет за собой некоторые процессы: действие температурного фактора, зарождение ударной волны в тканях, которые подверглись облучению, трансформация электрического поля в ткани, и.т.д. Происходит преобразование световой и тепловой энергии лазерного излучения в электрическую, химическую и другие ее виды.

Рассмотрим оптические и термические свойства биологической кожи подробнее.

В момент воздействия на кожу лазерным излучением происходит три процесса: отражение, поглощение и(или) пропускание [1].

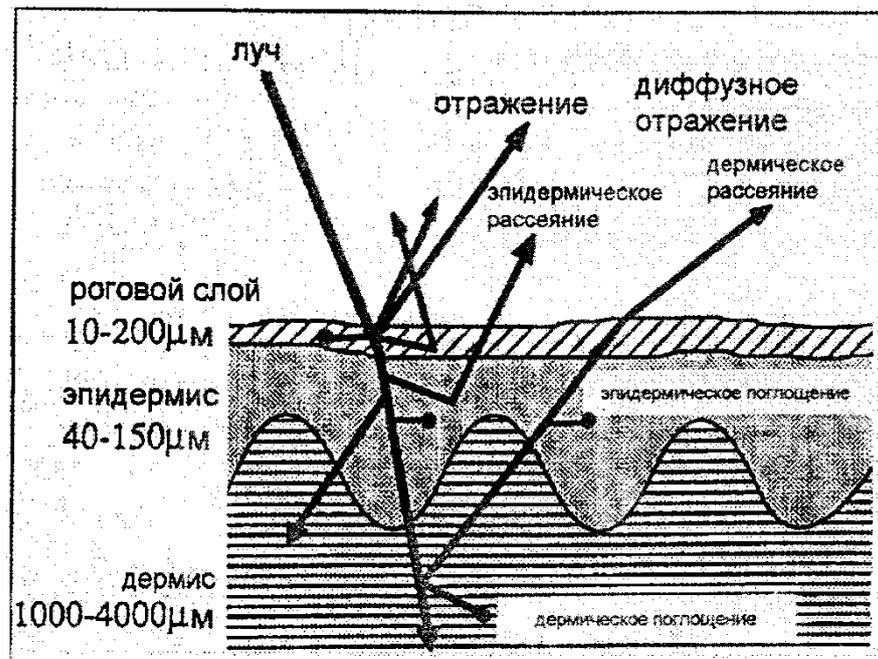


Рис.1. Оптические свойства лазерного излучения на кожном покрове [1]

В зависимости от длины волны излучения, которое падает на кожный покров, отражается до 60% лазерного излучения [1]. Негомогенные структуры кожного покрова и разные показатели преломления ячеистой структуры определяют степень рассеяния. Если длина волны излучения много больше, чем диаметр ячейки (≥ 10 мкм), то рассеяние происходит в несущественной степени. Однако благодаря тому, что электромагнитный

спектр используемых лазеров охватывает диапазон длин волн от ИК до УФ, почти во всех случаях мы имеем дело с рассеиванием. На основе закона Бугера – Ламберта – Бера для длины волны больше 1 мкм рассчитывается глубина проникновения излучения $[\delta]$. Интенсивность излучения I можно определить соотношением:

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \quad (1),$$

где I_0 – начальная интенсивность, α – коэффициент поглощения, d – толщина слоя [2].

При монохроматическом излучении некой длины волны λ значение коэффициента поглощения α примет вид:

$$\alpha = 4\pi nk/\lambda \quad (2),$$

Стоит отметить, что показатели преломления (n) и поглощения (k) в данной среде являются постоянными. Закон Бугера – Ламберта – Бера применим тогда, когда поглощение значительно превышает значение рассеяния. Глубина проникновения излучения $[\delta]$ определяет такую глубину, где излучение, проникая в вещество, уменьшится в e ($\approx 2,71$) раз. Формула для вычисления δ :

$$\delta = 1/\alpha \quad (3). [2].$$

Таблица 1 - Взаимодействие лазеров с биологическими тканями [2].

λ , мкм	тип лазера	α , см ⁻¹		среднее проникновение, см	
		вода	кровь	вода	кровь
10,6	CO ₂	1000	1000	0,001	0,001
1,064	YAG:Nd	0,1	4	10	<2
0,488/0,514	Ar	0,001	330	1000	0,003

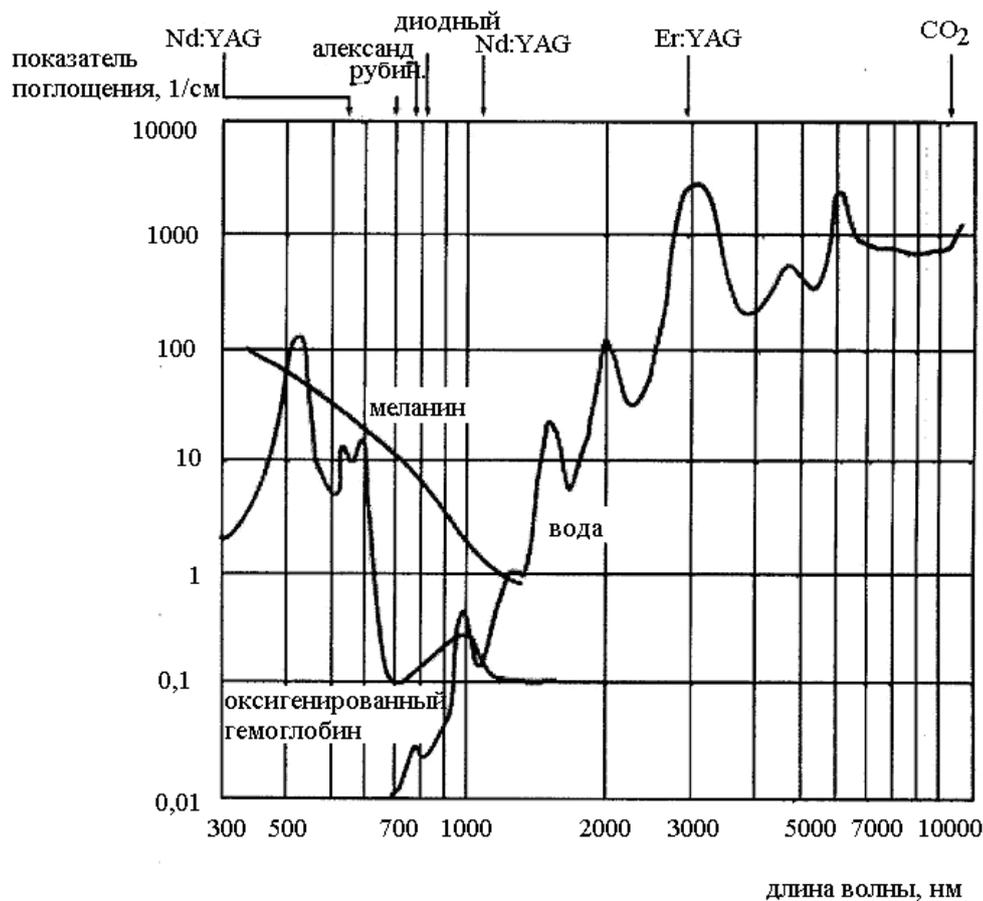


Рис.2. Спектры поглощения хромофоров биологической ткани [2].

Степень рассеяния на живой ткани непосредственно зависит от длины волны излучения лазера. Глубина проникновения излучения эксимерного лазера с УФ диапазоном и YAG:Er лазера с ИК диапазоном, а также CO₂ лазера с $\lambda = 10,6$ мкм составит 1 – 20 мкм. В данном случае рассеяние играет подчиненную роль. Для излучения с длиной волны $\lambda = 0,45 - 0,59$ мкм глубина проникновения варьируется от 0,5 до 2,5 мм. И поглощение, и рассеяние в данном случае играет огромную роль. Несмотря на то, что лазерное излучение в центре ткани колимированно, оно окружено областью с высоким рассеянием. Из всего падающего пучка 15 – 40% рассеивается. Доминирование рассеяния происходит в области спектра от 590 до 1500 нм. При этом глубина проникновения излучения достигает 2 – 8 мм. В этом случае происходит формирование конуса диффузного рассеяния.

Поглощение лазерного излучения в УФ диапазоне зависит от содержания белка, в ИК диапазоне огромную роль играет содержание воды. Стоит отметить, что поглощение лазерного излучения различными пигментами и макромолекулами происходит с различной интенсивностью и зависит от длины волны излучения.

Поглощение полностью зависит от взаимодействия лазерного излучения с хромофорами кожи, коими являются оксигемоглобин и меланин[2].

Меланин является важнейшим эпидермальным хромофором, которых поглощает от видимой до УФ области спектра.

В оптических свойствах немаловажную роль играют количественные характеристики процесса ослабления лазерного излучения. Это поглощение (А) и пропускание (Т), которые определяются следующими формулами:

$$T = \Phi/\Phi_0 \quad (4),$$

$$A = \lg(\Phi/\Phi_0) = \lg (1/T) \quad (5). [1].$$

Энергия света, которая преобразовалась в тепло, вызывает локальное повышение температуры в облученном месте. Температура увеличивается пропорционально плотности энергии в случае, когда не происходят фазовые переходы, т.е. преобразование твердых веществ в газообразное или жидкое состояние, испарение жидкости. Часть тепла отводят в более холодную область путем теплопроводности. Это приводит к ограничению максимальной достижимой температуре облученной области при данной интенсивности излучения. Другими словами определенная максимальная температура связана с определенной интенсивностью излучения.

Для всякой биологической ткани существует такой порог интенсивности, преодолев который происходит достижение требуемой локальной температуры. В связи с тем, что часть энергии распространяется

на соседние области из-за теплопроводности, то вместе с облученным объемом происходит нагрев окружающих его участков.

Для подробности рассмотрим процессы, распределяющие энергию.

А) Теплоемкость.

Общеизвестно, что тепло переходит от более теплых участков к холодным.

$$\frac{dQ}{dt} = c * S * \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (6)$$

Согласно формуле поток тепла $\frac{dQ}{dt}$ прямо пропорционален градиенту температур, то есть тепловая энергия dQ в идеальном однородном образце биологической ткани длиной L и с поперечным сечением S переходит с участка с высокой температурой T_1 к участку с низкой температурой T_2 за время dt . Коэффициент пропорциональности $[c]$ - теплопроводность, единица измерения которого $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$ [1].

Таблица 2 – Теплопроводность некоторых материалов в нормальных условиях.

Материал	Теплопроводность (Вт/м*К)
Вода	0,58
Воздух	0,02
Жировая ткань	0,3
Кровь	0,62
Водосодержащая ткань	0,5
Медь	418

Значение теплопроводности биологической ткани определяются содержанием воды в ней:

$$c = (0,06 + 0,57 \frac{w}{\rho}) \quad (7),$$

где w – содержание воды в биологической ткани $[\frac{кг}{м^3}]$, ρ – плотность биологической ткани $[\frac{кг}{м^3}]$ [2].

Б) Накопление тепла.

Удельная теплоемкость μ $[\frac{кДж}{кг*К}]$ описывает способность биологической ткани принимать и накапливать тепло. Данная величина численно соответствует количеству тепла Q , которое повышает температуру единицы массы тела на 1 К. Формула удельной теплоемкости:

$$\mu = (1,55 + 2,8 \frac{w}{\rho}) \quad (8) [2].$$

Таблица 3 – Удельная теплоемкость различных материалов:

Материал	Удельная теплоемкость (кДж/кг*К)
Вода	4,183
Воздух	1,005
Кровь	3,22
Жировая ткань	1,93
Медь	0,385
Этанол	2,43

В качестве меры количества тепла, попавшего в объем биологической ткани за время после повышения температуры тела, выступает коэффициент проникновения тепла b , единица измерения которого $[\frac{Вт*с^{-1/2}}{К*м^2}]$:

$$b = (\rho * \mu * c)^{-1/2} \quad (9) [2].$$

На практике расчет временной характеристики распространения локального нагрева производится через время термической релаксации τ :

$$\tau = \frac{d^2 * \rho * \mu}{c} = \frac{d^2}{\chi} \quad (10), [2]$$

Где χ - динамическая характеристика образца биологической ткани, которая описывается формулой:

$$\chi = \frac{c}{\rho} * \mu \quad (11) [2].$$

Значение времени термической релаксации можно трактовать таким образом: часть биологической ткани в виде квадрата с длиной стороны d , который теплее окружающего участка на dT через некоторое время t охладится до температуры окружающих участков, перепад температур выравняется. При попадании короткого импульса тепла на ткань пройдет время τ пока не наступит заметное нагревание на глубине h :

$$h = (\chi * \tau)^{1/2} \quad (12) [2].$$

По принципу термической релаксации определяют время, необходимое для разрушения ткани мишени, такое, чтобы не повредить окружающие ткани. В таком случае время термической релаксации определяется временем, которое необходимо для отвода облучаемой ткани 50% пикового количества тепла. Каждый хромофор и различные сосуды имеют свое определенное время релаксации, которое необходимо учитывать, иначе окружающие ткани будут подвержены повреждению.

В) Отвод тепла кровотоком. Другие механизмы.

Тепловая энергия облученной области биологической ткани отводится не только теплопроводностью, но и посредством сосудистой системы. Кровь поступает в объем облученного участка и мгновенно нагревается до локальной температуры в области капилляров, а венозная кровь транспортирует тепловую энергию по всему организму.

Таблица 4 – Интенсивность кровотока в различных областях человеческого организма:

Ткани и органы человека	Интенсивность кровотока v_B [мл/мин*г]
Жировая ткань	0,012 – 0,015
Кожа	0,15 – 0,5
Мозг	0,46 – 1
Мышца руки	0,02 – 0,07
Почки	3,4

Наряду с этим тепло в облучаемом объеме может быть отведено метаболическими процессами, испарением воды с поверхности ткани и конвекцией. Все эти процессы играют огромную роль при непрерывном лазерном облучении.

Рассмотрим особенности татуированной биологической ткани: кожа состоит из эпидермиса, дермы и подкожной жировой клетчатки.

Эпидермис – наружный ороговевший слой кожи, который состоит из кератиноцитов. Далее располагается дерма, состоящая из коллагена и придатков кожи (сальные железы, волосяные фолликулы апокринные и эккринные железы). В отличие от эпидермиса, в дерме расположено большое количество лимфатических и кровеносных сосудов, а так же нервных окончаний. Под дермой находится гиподерма, в состав которой входит жировая ткань, крупные кровеносные сосуды, нервы, потовые железы и луковицы волосяных фолликулов.

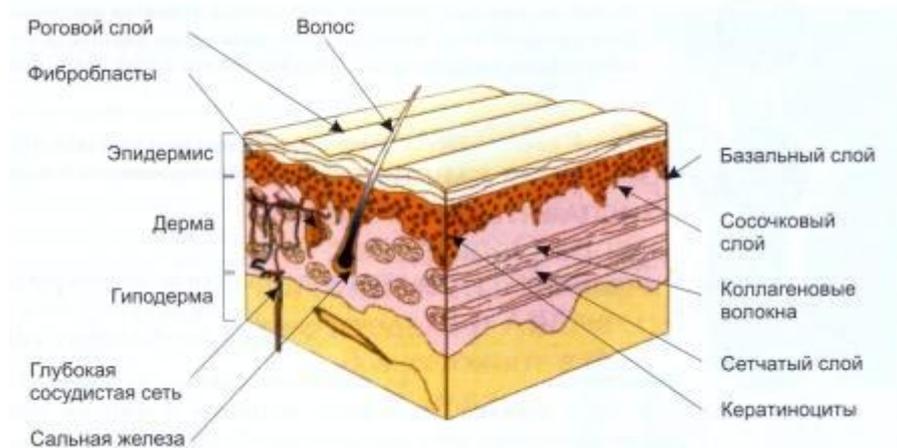


Рис.3. Структура биологической ткани [3].

При изучении татуированной кожи человека было установлено, что красящий пигмент выглядит как инкапсулированные включения величиной от 10 до 20 мкм. Располагается пигмент в дерме и лимфатических узлах, как правило, в сетчатом и сосочковом слоях между коллагеновыми и эластичными волокнами как внутри макрофагов, так и внеклеточно. Наблюдаются случаи, когда красящий пигмент находится подкожно – жировой клетчатке, а также в придатках кожи. Коллагеновые волокна, охваченные красящим пигментом заметно уплотняются и грубеют, эластичные волокна истончаются, а придатки кожи атрофируются.

Скопления красящего пигмента в тату довольно невелики: в профессиональных татуировках они составляют примерно 145 мкм, а в любительских 180 мкм. Стоит отметить, что татуировки, сделанные профессионалами, располагаются ближе к поверхностному слою кожи, чаще всего в эпидермисе, чего нельзя сказать о любительских.

Особенное внимание при удалении татуировки стоит уделять составу красящего пигмента, поскольку рисунки темно – оранжевого цвета от воздействия QSwitched лазеров изменяют свой цвет на черный. Это связано с переходом $Fe_2O_3 \rightarrow FeO$.

При использовании рубинового лазера с плотностью мощности от 2 до 4 Дж/ см² татуировки, нанесенные профессионалами, красного, желтого и

зеленого цвета теряют цвет, но требуют неоднократного прохождения курса выведения. При использовании александритового лазера татуировка исчезает на 20 минут, а затем снова появляется. Требуется 4 – 6 недели для полного ее исчезновения.

В случае «двойной» татуировки возникает сложность сведения, так как большая плотность красящего пигмента интенсивно поглощает лазерное излучение, оставляя на коже пациента рубцы и ожоги.

2. Теоретическое асколирование

Состав большинства красящих пигментов не известен на 100%, поскольку производители зачастую держат это в тайне. Большинство чернил технически не являются таковыми. Они состоят из пигментов, которые смешаны в растворе – носителе. Вопреки пространственному мнению, пигменты, как правило, не являются натуральными, исключая отдельные случаи. Если пигмент обеспечивает цвет, то целью носителя является дезинфекция суспензии пигмента, равномерное смешивание и простота нанесения [4].

Примером самых первых чернил служат сажа и различные минералы земли. На сегодняшний день пигменты включают в себя оригинальные минеральные вещества, современные промышленные органические соединения и другие, которые при взаимодействии со светом вызывают аллергические и фототоксические реакции, а также рубцевание.

Самые популярные тату – пигменты производит США, Япония, Китай, состав которых схож между собой.

В приложении приведена таблица с цветами пигментов, которые часто используются при нанесении татуировки.

Несомненно, состав красящих пигментов играет главную роль в интенсивности поглощения лазерного излучения, что напрямую связано с глубиной проникновения.

В ходе различных исследований были выявлены максимумы поглощения для различных красящих пигментов, которые представлены ниже в таблице.

Таблица 6 – Максимумы поглощения пигментов [5].

Цвет	Максимум поглощения, нм
Желтый	470 - 485
Красный	500 - 570
Зеленый	570 - 800
Синий	656 - 808
Черный	600 - 800

В течение нескольких десятилетий проводились тестирования различных типов лазеров для удаления татуировок, первым из которых стал аргоновый. Длительность импульса 50 – 200 нс. Однако воздействие на кожу вызывало значительные повреждения, так как длина волны (514 нм) хорошо поглощается гемоглобином и меланином.

Следующим стал CO₂ лазер с длиной волны 10,6 мкм, но, несмотря на ряд достоинств данного типа лазера, пациенты получали повреждения и ожоги.

Сейчас большое предпочтение отдается Q – Switched лазерам, то есть лазерам с модуляцией добротности, обладающим рядом достоинств: высокая мощность (сотни МВт), чрезвычайно короткий импульс, безболезненность. [7]. Длительность импульса энергии лазера настолько мала, что достаточно малые пигменты (10 – 100 нм) нагреваются до температуры, достаточной для расщепления красящего пигмента, прежде чем тепло распространится в окружающую область кожи, что предотвращает образование повреждений и ожогов [8].

Наиболее вероятными причинами разрушения пигмента под действием излучения Q –Switched лазера являются ударноволновое или кавитационное повреждение, фотомеханические физические эффекты, создаваемые в результате теплового расширения и экстремальные температурные градиенты, созданные меланосомами или пигментом татуировки. Данный

градиент приводит к тепловому расширению, генерации и распространению акустических волн, которые механически разрушают красящий пигмент [9].

Еще одним большим достоинством таких лазеров является селективный фототермолиз красящего пигмента. Выбор лазера напрямую зависит от глубины расположения татуировки: на поверхностно расположенный пигмент лучше всего воздействовать коротковолновым излучением, в то время как удаление глубоко расположенного пигмента требует лазера с большей длиной волны излучения. Например, лазер с излучением в зеленом диапазоне (КТР) не так глубоко проникает в кожу, как лазеры с излучением в красном или ближнем ИК диапазоне, благодаря их коротким длинам волн [10].

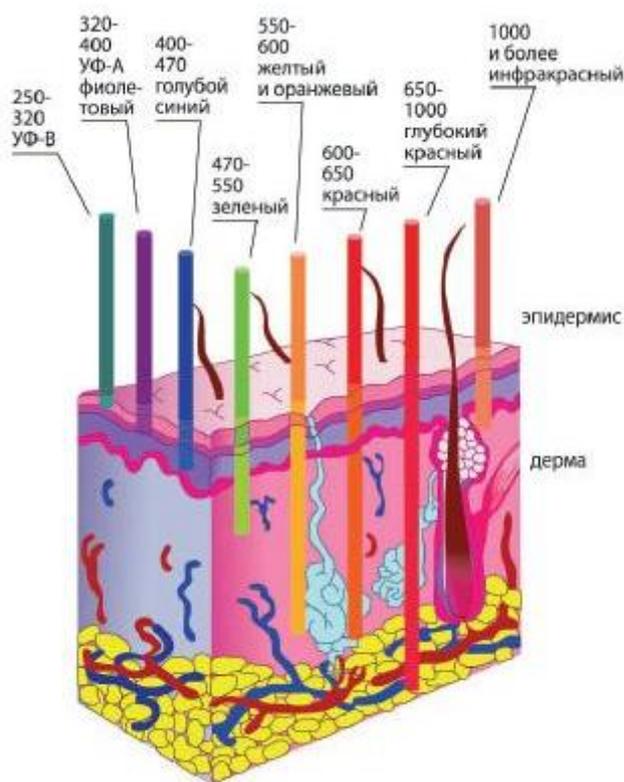


Рис. 4. Схематическое представление глубины проникновения лазерного излучения разных длин волн [11].

Лазер с модуляцией добротности – рубиновый, длина волны которого 694 нм, с длительностью импульса 20 – 40 нс. Такой лазер предпочтителен для пациентов с темной кожей, так как длина волны достаточно хорошо поглощается меланином. Не используется для удаления красного и желтого пигмента.

Также, используют александритовый лазер с длиной волны 755 нм, длительность импульса варьируется от 50 до 100 нс [12]. Хорошо удаляет зеленый, синий и черный пигменты.

На сегодняшний день самым популярным лазером является неодимовый лазер Nd:YAG, работающий на длинах волн 532, 694 и 1064 нм. Энергия одного импульса варьируется от 200 до 1500 мДж. Длительность импульса составляет 5 – 15 нс. Флюенс достигает 1 – 12 Дж/см², что позволяет достигнуть глубины 3 – 6 мм.

Длины волн 532 и 1064 нм являются наиболее популярными: 1064 нм позволяет удалить татуировки с темными пигментами (черный, синий, зеленый), а 532 нм – яркие (красный, оранжевый и т.д.). Этих длин волн хватает, чтобы удалить 90 – 95 % татуировки. Оставшиеся 5 – 10% удаляются при помощи лазерного воздействия с длиной волны 694 нм [13].

Длина волны, пиковая мощность и длительность импульса являются ключевыми факторами для эффективного удаления татуировки.

Как известно, длительность лазерного излучения Nd:YAG достигает 5 - 15 нс, однако такие короткие импульсы могут нанести большой ущерб оптике или вызвать оптический пробой из – за большой энергии. По этой причине в некоторых лазерных установках вместо одного гигантского импульса используют последовательность нескольких импульсов с меньшей энергией, что снижает эффективность удаления татуировки [14].

Проводились исследования по применению пикосекундных импульсов вместо наносекундных, так как предполагалось улучшение характеристик лазерного излучения и уменьшение количества процедур. Команда специалистов провела исследование по сопоставлению двух Nd:YAG лазеров

длительностью импульса в 10 нс и 35 пс для повышения эффективности удаления татуировки черного цвета. Пикосекундный лазер справился с 12 из 16 татуировок, которые были обработаны в течение 4 недель [15].

В 2010 году проводилось испытание пикосекундного александритового лазера с длиной волны 758 нм и длительностью импульса 500 пс на свиной коже. В составе красящих пигментов содержался оксид железа и графит. В результате исследований был заключен вывод о том, что и наносекундный, и пикосекундный лазер справляются хорошо с пигментами, в составе которых находятся органические вещества, в данном случае графит. Однако, татуировки на основе оксида железа удаляются лучше наносекундным лазером [16, 17].

Несмотря на хорошие результаты, практика показала, что такая длительность импульса не вносит значительного вклада в оптимизацию процедуры и требует доработок.

3. Экспериментальное асколирование

Предметом исследования является методика оценки Кирби – Десаи, которая была создана в 2013 году на основе классификаций по типу кожи Фитцпатрика Т. Б.. Данная шкала позволяет с большей точностью определить количество сеансов для удаления нежелательной татуировки и подобрать вид лазера для удаления татуировки у пациента [18].

Методика содержит шкалы, которые учитывают шесть параметров. Значения их суммируются. На этой основе делается заключение о количестве процедур. На сегодняшний день данная методика оценки является главным определяющим в лазерной косметологии и пользуется большой популярностью у специалистов в эстетической медицине.

Ниже приведены данные по шкалам Кирби – Десаи:



Рис. 5. Фототип по Фитцпатрику [19].

Таблица 7 - Фототип кожи по Фитцпатрику и шкала Кирби – Десаи:

Фототип	Цвет кожи, характеристики	Свойства типа кожи	Балл по шкале Кирби - Десаи
I (Кельтский тип)	Белый цвет кожи, светлые или рыжие волосы, голубые глаза, веснушки	Никогда не ложится загар, сгорает на солнце.	1
II (Светлокожий европейский)	Светлый цвет кожи, темные или светлые волосы, глаза карие, голубые или зеленые	Часты солнечные ожоги, при правильном уходе возможен загар	2
III (Темнокожий европейский)	Светлая или оливковая кожа, любой цвет волос, общий тип	Кожа редко сгорает, умеренный загар	3
IV (Среднеземноморский тип)	Темная кожа, типичный средиземноморский тип	Редко сгорает, всегда хорошо загарает	4
V (Средне – восточный тип)	Темная кожа (мулаты), темные глаза и волосы	Кожа уже защищена, никогда не обгорает	5
VI (Африканский тип)	Черная кожа, волосы и глаза (африканцы)	Кожа защищена максимально	6

Далее шкала Кирби – Десаи учитывает месторасположение татуировки, так как частицы красящего пигмента взаимодействуют с лимфатической системой. В частности это касается проксимального отдела тела человека.

Таблица 8 – Месторасположение татуировки по Кирби – Десаи:

Месторасположение	Балл по методике оценки Кирби - Десаи
Шея и голова	1
Верхняя часть туловища	2
Нижняя часть туловища	3
Проксимальный отдел	4
Дистальный отдел	5

Таблица 9 – Цвет татуировки по Кирби – Десаи:

Цвет татуировки	Балл по методике оценки Кирби - Десаи
Только черный	1
В основном черный	2
Больше черного с примесью других цветов	3
Разноцветный	4

Таблица 10 – Количество чернил по Кирби – Десаи:

Количество чернил	Балл по методике оценки Кирби - Десаи
Незначительное	1
Минимальное	2
Умеренное	3
Значительное	4

Таблица 11 – Наличие повреждений и шрамов по Кирби – Десаи:

Наличие повреждений и шрамов	Балл по методике оценки Кирби - Десаи
Нет шрамов	0
Незначительное повреждение	1
Умеренное повреждение	3
Значительное повреждение	5

Таблица 12 – Наличие многослойной татуировки по Кирби – Десаи:

Наличие многослойной татуировки	Балл по методике оценки Кирби - Десаи
Нет	0
Да	2

Согласно собственному мониторингу, в России активно используется процедура удаления перманентного макияжа. Другими словами, это контурный макияж, предназначенный для коррекции и улучшения черт лица.

Главным отличием от профессиональной татуировки является глубина залегания, которая составляет 0,3 – 0,5 мм. Поэтому такие татуировки со временем «вымываются» за счет кровообращения и теряют свою яркость [20].

Общеизвестным фактом является то, что самую важную роль в удалении татуировки играют характеристики применяемого лазера. Соответственно, чем они лучше, тем более вероятность получить хороший результат с наименьшим количеством сеансов.

На базе оптических и лазерных технологий сотрудникам кафедры Лазерной и Световой Техники Института Физики Высоких Технологий удалось создать неодимовый лазер на алюмоиттриевом гранате с нижеприведенными характеристиками:

- Рабочая длина волны (нм): 1064 нм, комплектуется генератором второй длины волны 532 нм.
- Ширина импульса: 10 нс
- Размер пятна с телескопической насадкой: 1 – 5 мм. Комплект из трех насадок: 2 мм, 4 мм, 8 мм
- Рабочая частота: 5 Гц
- Энергия в пределах одиночного импульса для класса «Profi»: 2000мДж 4 моноимпульса 500мДж
- Энергия в пределах одиночного импульса для класса «Standart»: 1600мДж 4 моноимпульса 400мДж
- Охлаждение: водо-воздушное

Работа лазера осуществляется в режиме пассивной модуляции добротности. Пассивный затвор легирован хромом, что обеспечивает высокую химическую стойкость, надежность, хорошую теплопроводность и долгий срок службы.

Разработанная лазерная технология направлена на улучшение и оптимизацию удаления нежелательных татуировок.

Для примера представлены фотографии удаления макияжа разработанным лазером и лазером другой компании (ЛинЛайн). Были отобраны образцы с красящим пигментом, цвет и интенсивность нанесения которых практически одинаковы. Прогнозы предполагали полное удаление татуировки за 3 процедуры.



Рис. 6. – Результат при работе с лазером фирмы ЛинЛайн



Рис. 7. – Результат при работе с лазером, разработанным сотрудниками на кафедре ЛиСТ

Результат очевиден: за одинаковое количество процедур лазер кафедры ЛиСТ успешно справился с поставленной задачей и показал хорошие результаты.

На сегодняшний день данная лазерная технология внедряется и апробируется на оборудовании в клиниках России.

Ниже представлены примеры удаления татуировок с применением методики оценки Кирби – Десаи совместно с разработанным лазером:

Первый образец – татуировка на левой руке. Перед удалением, как и оговаривалось выше, обратились к методике оценки Кирби – Десаи для подсчета баллов и определения количества процедур.



Рис. 8. – Нежелательная татуировка на руке.

Таблица 13 – Подсчет баллов

Наименование	Баллы
Тип кожи: 2 тип – Светлокожий европейский	2
Месторасположение: проксимальный отдел	4
Цвет: темно - синий	1
Количество чернил: незначительное	2
Наличие шрамов: нет	0
Наличие многослойной тату: нет	0

Итого: 8 баллов, соответственно, необходимо восемь процедур.



Рис. 9 – Процесс удаления татуировки на ноге.

На данном фото результат представлен после трех процедур, пигмента татуировки практически не видно, пигментации и повреждений не наблюдается. Возможно, используя лазер другой фирмы, действительно потребовалось бы восемь процедур, однако, в нашем случае требуется всего пять сессий, после чего пигмент татуировки будет полностью сведен.

Второй образец – татуировка на пальце пациента. Как правило, татуировки дистального отдела очень сложно удалить в связи с наличием под кожей большого количество кровеносных сосудов. Сама биоткань не обладает подкожным жиром, тонкая и чувствительная, что усложняет процедуру.



Рис. 10. – Нежелательная татуировка на пальце.

Таблица 14 – Подсчет баллов

Наименование	Баллы
Тип кожи: 2 тип – Светлокожий европейский	2
Месторасположение: дистальный отдел	5
Цвет: темно - синий	1
Количество чернил: незначительное	3
Наличие шрамов: нет	0
Наличие многослойной тату: нет	0

Итого: 11 баллов, соответственно, необходимо одиннадцать процедур.



Рис. 11. – Процесс удаления нежелательной татуировки на пальце.

Результат представлен спустя четыре процедуры, как видно, никаких повреждений и пигментации не наблюдается. Предположительно, еще 3 – 4 процедуры сведут полностью татуировку.

Третий образец – Перманентный макияж бровей и век.



Рис. 12. – До процедуры удаления татуажа

Таблица 15 – Подсчет баллов

Наименование	Баллы
Тип кожи: 2 тип – Светлокожий европейский	2
Месторасположение: лицо	1
Цвет: темно - синий	1
Количество чернил: минимальное	1
Наличие шрамов: нет	0
Наличие многослойной тату: нет	0

Итого: 5 баллов, соответственно, необходимо пять процедур.



Рис. 13. – Результат удаление татуажа век и бровей

Однако, потребовалось всего две процедуры до полного удаления красящего пигмента. Стоит отметить, что столь малое количество процедур удаления перманентного макияжа напрямую связано с составом красящего пигмента, так как помимо основного компонента – окиси железа, он содержит органические вещества, которые не вызывают побочных эффектов (потемнение и др.) после воздействия лазерного излучения.

Четвертый образец – Удаление перманентного макияжа бровей. Довольно сложная процедура в связи с тем, что нанесено несколько слоев красящего пигмента, то есть происходила перебивка бежевым цветом.



Рис. 14. – До процедуры удаления татуажа бровей.

Таблица 16 – Подсчет баллов

Наименование	Баллы
Тип кожи: 2 тип – Светлокожий европейский	2
Месторасположение: лицо	1
Цвет: несколько цветов	2
Количество чернил: умеренное	2
Наличие шрамов: нет	0
Наличие многослойной тату: да	2

Итого: 9 баллов, соответственно, необходимо девять процедур.



Рис. 15. – Результат после удаления татуажа бровей

На фото представлен результат после десяти процедур. Как видно, пигмент полностью отсутствует. Такое большое количество процедур объясняется наличием бежевого пигмента и перебивкой старого слоя краски.

Подводя итог, можно сказать, что несомненно, методика оценки по шкалам Кирби – Десаи является фундаментальной основой в удалении нежелательных татуировок, и идеально подходит для художественных татуировок, однако, на выше представленных фотографиях видны недочеты и погрешности в определении количества процедур.

Нашей задачей является определение количества процедур по удалению нежелательных татуировок с улучшением результата.

Так как физика лазеров не меняется, был найден выход усовершенствовать методику оценки Кирби – Десаи. Для этого некоторые параметры были расширены и оптимизированы.

Детализировались таблицы № 8,9,10, а так же добавлена новая.

Таблица 17 – Месторасположение татуировки:

Месторасположение татуировки	Количество баллов
Брови	1
Веки	1
Губы	2
Шея	2
Спина	2
Верхняя часть тела (грудной отдел и плечо)	3
Брюшной отдел	3
Бедро	4
Проксимальный отдел	5
Дистальный отдел	6

Детализация проводилась согласно физиологии тела человека, месторасположению сосудов и нервных окончаний. Так, например, в местах отсутствия подкожного жира труднее удалить татуировку, усугубляет ситуацию наличие большого количества нервных окончаний и кровеносных сосудов. Кроме того, стоит отметить, что лазерное излучение, воздействуя с пигментом на губах, зачастую меняет его цвет. Это связано с наличием большого количества кровеносных сосудов и красящим пигментом, в составе которого преобладает окись железа, именно по этой причине процедура на губах требует большего количества, чем на бровях или веках.

Таблица 18 – Цвет красящего пигмента:

Цвет	Баллы
Черный или синий	1
Коричневый	2
Красный	3
Рыжий	4
Бежевый	5
Многокомпонентный	6

В таблице приведены цвета, которые используются для нанесения перманентного макияжа. Чем светлее оттенок, тем больше в нем химических примесей, и соответственно, такой красящий пигмент труднее удалить. Многокомпонентный подразумевает наличие нескольких цветов, а также перебивку темных пигментов более светлыми.

Таблица 19 – Количество красящего пигмента:

Количество красящего пигмента	Баллы
Минимальное	1
Среднее	2
Максимальное	3

Таблица 20 – Период ношения татуировки

Период ношения татуировки	Баллы
0 – 10 лет	2
11 – 20 лет	1
20 и более лет	0

Как правило, чем старше татуировка, тем легче ее удалить. После 20 лет ношения татуировки, не имеет значения на каком месте она находится, связано это с тем, что «старый» красящий пигмент быстрее расщепляется и

выводится из организма [21,22]. Поэтому для удаления таких татуировок обычно требуется 3- 4 процедуры. Однако, применима эта таблица исключительно для художественных татуировок, поскольку на удаление перманентного макияжа этот фактор не влияет.

Методика использована при работе со следующими пациентами:



Рис. 16. – До процедуры удаления перманентного макияжа бровей

Процедура довольно сложная, так как темный пигмент сверху перебит бежевым. Для сравнения посчитаем баллы по методике оценки Кирби – Десаи и по разработанной методике.

Таблица 21 – Сравнение шкал

Наименование	Методика оценки Кирби - Десаи	Разработанная методика
Тип кожи: 2 тип – Светлокожий европейский	2	2
Месторасположение: лицо (брови)	1	1
Цвет: черный, бежевый	2	6
Количество чернил: среднее	2	2
Наличие шрамов: нет	0	0
Наличие многослойной тату: да	2	2
ИТОГО:	9	13



Рис. 17.– После процедуры удаления перманентного макияжа бровей

На фото представлен результат после 12 процедур. На месте изгиба бровей осталось еще незначительное количество пигмента, которое возможно удалить за одну процедуру.

Перманентный макияж век. До процедуры удаления татуировки была неудачная коррекция белым пигментом, хорошо наблюдающаяся в уголке глаза.



Рис. 18. – До процедуры удаления перманентного макияжа

Таблица 22 – Сравнение шкал

Наименование	Методика оценки Кирби - Десаи	Разработанная методика
Тип кожи: 1 тип – кельтский	1	1
Месторасположение: лицо (брови)	1	1
Цвет: черный (белый)	2	1
Количество чернил: минимальное	2	1
Наличие шрамов: нет	0	0

Продолжение таблицы 22:

Наличие многослойной тату: да (нет)	2	0
ИТОГО:	8	4



Рис. 19. – После удаления перманентного макияжа.

На фото выше представлен результат после трех процедур, видны незначительные фрагменты красящего пигмента, которые можно удалить за одну процедуру. Такое различие в баллах обусловлено рядом факторов: белый цвет в перманентном макияже незначительно влияет на процедуру удаления, однако его стоит учитывать по методике оценки Кирби – Десаи, из этого стоит рассматривать данную татуировку как многослойную.

3.1. Результат экспериментального асколирования

Для подтверждения эффективности разработанной методики созданная шкала применялась при проведении процедур ряду клиентов.

- Первый пациент: требуется удаление перманентного макияжа бровей красного цвета.



Рис. 20. – До процедуры удаления перманентного макияжа.

Таблица 23 – Подсчет баллов

Наименование	Баллы
Тип кожи: 2 тип – Светлокожий европейский	2
Месторасположение: брови	1
Цвет: красный	3
Количество чернил: минимальное	2
Наличие шрамов: нет	0
Наличие многослойной тату: нет	0

Итого: предполагается семь процедур для полного удаления татуировки.



Рис. 21. – Результат после пяти процедур.



Рис. 22. – Результат после семи процедур.

Как видно на рис. 22. пигмент был полностью удален после семи процедур. Несмотря на азиатский типаж пациента, в таблице приведен светлокожий европейский тип, так как биоткань нехарактерного очень светлого цвета.

- Второй пациент: требуется удаление перманентного макияжа губ светло – коричневого цвета.



Рис. 22. – До удаления перманентного макияжа.

Таблица 24 – Подсчет баллов

Наименование	Баллы
Тип кожи: 1 тип –Кельтский	1
Месторасположение: губы	2

Продолжение таблицы 24:

Цвет: светло - коричневый	2
Количество чернил: среднее	2
Наличие шрамов: нет	0
Наличие многослойной тату: нет	0

Итого: предполагается семь процедур для полного удаления татуировки.



Рис. 23. – После первой процедуры удаления перманентного макияжа.

На рис. 23. Изображен результат после проведения первой процедуры. Наблюдается явное потемнение красящего пигмента, однако это нормальное явление, так как на данном участке располагается большое количество сосудов. Поэтому после воздействия лазерным излучением, в большинстве случаев, происходит изменение цвета красящего пигмента.



Рис. 24 – Результат после трех процедур.



Рис. 25. – Результат после пяти процедур.

Не взирая на видимость полного удаления татуировки, все еще остается легкий контур красящего пигмента, который исчезнет после одной или двух процедур. На участке, где проводилась процедура, не наблюдается никаких повреждений кожи или гипопигментации.

- Третий пациент: требуется удаление татуировки на шее. Повреждение в правой части никак не связано с последствиями удаления.



Рис. 26. – До процедуры удаления татуировки.

Таблица 25 – Подсчет баллов

Наименование	Баллы
Тип кожи: 2 тип – Европейский светлокожий	2
Месторасположение: шея	2
Цвет: синий	1
Количество чернил: минимальное	1

Продолжение таблицы 25:

Наличие шрамов: нет	0
Наличие многослойной тату: нет	0
Период ношения татуировки: 6 лет	2

Итого: предполагается восемь процедур для полного удаления татуировки.



Рис. 26 – Результат после шести процедур.

В данном случае абсолютно никаких повреждений кожи не наблюдается. По данным оценочной таблицы спустя две процедуры нежелательная татуировка будет полностью удалена.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научного проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

В работе рассматривается методика удаления нежелательных татуировок неодимовым лазером фирмы ЦОЛТ. Соответственно, целевой аудиторией, заинтересованной в разработке, являются салоны красоты и клиники эстетической медицины.

В задачи раздела входит: оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта, анализ конкурентных технических решений, создание календарного плана и графика проведения работ, расчет бюджета научного исследования, определение ресурсоэффективности проекта.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

В данном исследовании рассматривается использование Q - Switched неодимового лазера, фирмы «ЦОЛТ» [23] для удаления нежелательных татуировок. Целевая аудитория состоит из салонов красоты и косметологических клиник, также возможна продажа лазеров физическим лицам.

Для лучшего анализа составлена таблица сегментирования, состоящая из продукции и услуг, и предоставления возможности доставки лазерных систем. Но прежде отметим конкурентов, которые имеют популярность среди потребителей и большое количество заказов:

А) Fotona [24],

Б) Линлайн [25],

В) Astanza [26].

Таблица 26 – Сегментирование услуг

		Продукция и услуги			
		Неодимовый лазер	Другие лазерные системы	Обучение персонала	Техническое обслуживание
Доставка	Россия	А,В	В	А	В
	Страны СНГ	В	В		В
Отсутствие доставки		Б	Б	Б	Б

Таким образом, в результате анализа таблицы можно сказать, что доставка в Россию и страны СНГ является единичным случаем, а также сегмент обучения персонала и техническое обслуживание не является занятым. Поэтому у фирмы «ЦОЛТ» есть все шансы занять эту нишу, учитывая, что заказы в страны СНГ и по городам России растут. Совместно с этим активно проводится обучение персонала, поддержка клиентов и выдача сертификатов по окончании прохождения обучения по работе с лазерной установкой.

Большим плюсом фирмы является наличие методики, основанной на шкале Кирби – Десаи, которая позволяет определить количество процедур по удалению татуировки, сэкономив деньги клиента, а также, в общем систематизировать процедуру.

Подводя итог, можно сделать вывод о наличии высокой конкурентоспособности фирмы ЦОЛТ.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Конкурентный анализ проводился на основе удаления нежелательных татуировок Q –Switched неодимовым лазером фирмы «ЦОЛТ» и фирм – конкурентов Б - « Линлайн» и В – «Astanza», представленных пунктом выше. Результаты представлены в таблице 27 в приложении.

По результатам приведенной таблицы видно, что фирма «ЦОЛТ» опережает фирму «Линлайн», а также отстает от фирмы «Astanza». Это объясняется инновационными разработками иностранной фирмы и достаточной популярностью среди потребителей рынка. Уязвимость фирмы «Линлайн» выражается в низкой технической оценке и отсутствии новых усовершенствованных разработок.

Именно постоянное совершенствование своих разработок и методик позволяет фирме «ЦОЛТ» держаться на рынке среди популярных поставщиков оборудования, которое является удобным и простым в использовании.

4.1.3. SWOT – анализ

Матрица SWOT – анализа представлена в таблице 28 в приложении.

Исходя из матрицы SWOT – анализа можно сделать вывод о том, что фирме есть к чему стремиться. В частности, укрепляя сильные стороны, можно развивать возможности. Хорошей перспективой является сотрудничество с другими компаниями. Увеличение штата благополучно скажется на повышении конкурентоспособности. На данный момент проблема угроз не устраняется в связи с отсутствием в России налаженного производства медицинского лазерного оборудования и комплектующих элементов.

5. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В работе рассматривается методика оценки Кирби – Десаи, которая направлена на выявление оптимального количества процедур удаления нежелательной татуировки.

На ее основе создана новая, более усовершенствованная методика, которая совместно с разработанным неодимовым лазером была апробирована на пациентах и показала хорошие результаты.

К основным путям совершенствования разработки необходимо отнести дальнейшее апробирование и эксперименты с различными типами татуировок и перманентного макияжа.

На данный момент фирма на стадии получения патента и внедрении методики в клиники эстетической медицины России.

6. Планирование научно-исследовательских работ

6.1. Структура работ в рамках научного исследования

Исследования проходили в составе группы сотрудников кафедры Лазерной и Световой Техники и фирмы ЦОЛТ.

Этапы работы обозначены в таблице 29 в приложении. Работа исполнялась руководителем, инженером (студентом) и сотрудниками фирмы ЦОЛТ.

6.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Результат определения трудоемкости выполнения работ представлены в таблице 5, в которой:

t_{min} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы,

t_{max} - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы,

$t_{ож}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения заданной работы.

T_p – продолжительность работы в рабочих днях. Так как эксперимент проводился составом группы сотрудников кафедры и фирмы ЦОЛТ, и деятельность была направлена на одну задачу, показатель T_p не применяется для 8 пункта, поэтому T_p равен $t_{ож}$.

6.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для разработки графика проведения научного исследования использовалась диаграмма Ганта. Для удобства построения календарного

план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k \quad (13),$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

$$\text{Расчет коэффициента календарности: } k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (14),$$

где – $T_{\text{кал}}$ - количество календарных дней в году, $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году. В данном случае, работа велась не полный календарный год, а учебный, поэтому коэффициент календарности рассчитан за этот период.

$$k = \frac{247}{247 - 119} = 1,93$$

В таблице 30 в приложении переведены длительности каждого из этапов в календарные дни. Результат T_k округлен.

В таблице 31 в приложении приведен календарный график – план проведения НИОКР по данной проблематике.

6.4. Бюджет научно-технического исследования

6.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

На данном этапе затрат не проводилось, так как эксперимент проводили сотрудники клиники эстетической медицины в городе Казань.

6.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Затраты на спецоборудование существенно превышают материальные затраты на другие необходимые материалы, так как аппарат поставлялся из заграницы. Для эксперимента использовался неодимовый лазер, созданный сотрудниками кафедры ЛиСТ и фирмой ЦОЛТ.

Таблица 32 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
Неодимовый лазер	1	450	450
Итого:			450

6.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Все результаты расчетов представлены в таблице 33.

Таблица 33 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_T	Z_{mc}	k_{np}	k_d	k_p	Z_m	$Z_{дн}$	T_p	$Z_{осн}$
Руководитель	8	1,699	4000	0,3	0,3	1,3	8300	400	63	25000
Инженер	5	1,268	500	0,3	0,3	1,3	1000	50	123	6200
Итого $Z_{осн}$										31200

6.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы и отчисления во внебюджетные фонды

Коэффициент дополнительной заработной платы выбран 0,12, так как разработка находится на стадии проектирования.

Таблица 34 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель	25000	3000
Инженер	6200	750
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Величина отчислений во внебюджетные фонды		
Руководитель	7588	
Инженер	1880	
Итого	9500	

6.4.5. Расчет затрат на научные и производственные командировки

В данном исследовании не предусмотрено наличие командировок. Все необходимое оборудование находится в клинике эстетической медицины, на данном этапе результаты не были представлены на международных или междугородних конференциях.

6.4.6. Контрагентные расходы

К помощи сторонних организаций со стороны работников обращений не было. На данном этапе работы такие расходы не предусмотрены.

6.4.7. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие, не предусмотренные в предыдущих пунктах расходы и рассчитаны в таблице 35.

6.4.8. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 35 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб на всех исполнителей	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	0	Пункт 6.4.1
2. Затраты на специальное оборудование	450000	Пункт 6.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	31200	Пункт 6.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3750	Пункт 6.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	9500	Пункт 6.4.4
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 6.4.6

Продолжение таблицы 35:

7. Контрагентные расходы	0	Пункт 6.4.7
8. Накладные расходы	79112	16% от суммы ст.1-7
9. Бюджет затрат НИИ	573562	Сумма ст.1-8

Таким образом, суммарно бюджет разработки составил 573562 рублей. Большая сумма обоснована большой стоимостью лазерного оборудования для работы.

7. Определение экономической эффективности исследования

Таблица 36 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования		
	Весовой коэффициент параметра	Неодимовый лазер кафедры	Неодимовый лазер фирмы «ЛинЛайн»
1. Способствует росту производительности труда	0,5	5	3
2. Соответствует требованиям потребителей	0,2	5	4
3. Помехоустойчивость	0,1	4	3
4. Энергосбережение	0,1	4	4
5. Надежность	0,05	5	4
6. Материалоемкость	0,05	5	4
ИТОГО	1		

В качестве второго варианта исполнения выбран вариант проведения процедуры с использованием неодимового лазера компании «ЛинЛайн».

$$I_{\text{исп1}} = 0,5 * 5 + 0,2 * 5 + 0,1 * 4 + 0,1 * 4 + 0,05 * 5 + 0,05 * 5 = 4,8$$

$$I_{\text{исп2}} = 0,5 * 3 + 0,2 * 4 + 0,1 * 3 + 0,1 * 4 + 0,05 * 4 + 0,05 * 4 = 3,4$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = 0,71$$

Использование предложенной технологии эффективнее по сравнению с уже существующей.

Исходя из раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» можно сделать выводы:

- Согласно экспертной оценке эффективности методика, разработанная кафедрой ЛиСТ, является инновационной среди существующих, а постоянное совершенствование позволяет держаться на рынке среди популярных поставщиков оборудования, которое является удобным и простым в использовании.
- Календарный план составлялся при помощи диаграммы Ганта, которая оптимизирует выполнение работы. По данным графика на выполнение исследования потребовалось 211 дней.
- Бюджет научного исследования составил 573562 рублей. Столь высокую сумму можно обосновать дорогой лазерной техникой.
- Определение экономической эффективности было анализировано путем сравнения двух методик исполнения процедуры: с использованием разработанного лазера и лазера фирмы «ЛинЛайн».. По анализам сравнительной эффективности разработки научного исследования показатель эффективности равен 0,71. Согласно полученным данным, исследования эффективен с точки зрения ресурсопотребления и экономически целесообразен.

Введение

Предметом исследования дипломной работы является оптимизация процесса удаления нежелательных татуировок с помощью неодимового лазера на основе методики оценки Кирби-Десаи.

Излучение данного лазера используется для удаления красящего пигмента под кожей. Рабочей зоной является кабинет клиники эстетической медицины или салона красоты. В большинстве случаев в клиниках используется лазерное оборудование разного уровня. При несоблюдении мер безопасности излучение лазерного оборудования может вызвать неприятные последствия: ожоги, гипопигментацию, травмы и рубцевание. Поэтому необходимо обеспечить условия, которые удовлетворят установленным правилам и минимизируют негативное воздействие как на врача - специалиста, так и на пациента при прохождении процедур с использованием лазерного оборудования.

В данном разделе проведен анализ вредных и опасных факторов среды, изучен регламент параметров лазерного излучения, а также изучены меры безопасности при использовании лазерного оборудования. Наиболее важным пунктом является обустройство кабинета для проведения лазерных операций, так как необходимы специальный ремонт помещения и правильное обустройство рабочего места.

В разделе рассмотрены пункты согласно нормам и установленным правилам, а также приведены ссылки нормативно – технической документации.

8. Анализ вредных факторов производственной безопасности

8.1. Физические факторы

Неодимовый лазер работает на длине волны 1064 нм, что соответствует инфракрасному диапазону. При работе с инфракрасным излучением не исключена травма глаз, также возникают биологические и химические нарушения организма человека, возможно изменение функциональности центральной нервной системы. Защита обеспечивается наложением специального экрана на источник излучения [27].

В целях безопасности специалисты лазерного оборудования снабжаются средствами индивидуальной защиты, в которые входят маски, очки, перчатки.

Большую роль играет недостаток естественного света и высокая пульсация светового потока, так как помещения, где постоянно пребывают люди, должно естественно освещаться [28]. Более того, вид помещения относится к лечебно – диагностическому, то есть работа требует сосредоточенности. Соответственно, недостаточное освещение будет вызывать напряжение глаз.

По характеру зрительной работы случай относится к наивысшей точности - первый разряд зрительной работы. Поэтому необходимо обеспечить хорошую освещенность рабочей зоны .

Коэффициент естественного освещения при комбинированном или верхнем освещении должен принимать значение 4 %, а при боковом освещении - 1,5%.

Работа проходит в специально оборудованном кабинете, поэтому рекомендуется использовать люминесцентные источники света. Минимальное значение освещенности составляет около 300 люкс, а коэффициент пульсации светового потока от 10 до 20% [29].

При работе следует учитывать уровень шума и вибрации. По виду трудовой деятельности работа связана с повышенной точностью и

сосредоточенностью, поэтому допустимый уровень шума составляет 50 дБА [30].

Допускается применение средств защиты от шума, вызванный системой охлаждения и самим лазером. Как правило, это специальный кожух [31].

Значительное влияние на работу в кабинете влияет микроклимат. Категория работы – Iб, то есть легкие физические работы, поэтому температура помещения варьируется от 20 до 25 °С в холодный период года, а в теплый – 20 – 28°С. Влажность должна составлять 40 – 60%. Скорость воздуха 0,2 м/с максимум [32].

8.2. Физиологические факторы

При работе не исключены нервно – психические перегрузки, так как происходит контакт с кожей. Не исключены случаи, когда результат несколько хуже, чем предполагалось, что, несомненно, вызывает стресс как пациента, так и врача - специалиста. В таком случае пациент перед процедурой удаления татуировки подписывает документ, принимая возможные последствия после процедуры.

В процессе работы происходят мышечные нагрузки, а так же напряжение на глаза. Поэтому рекомендуется делать перерывы между процедурой и выполнять зрительную гимнастику.

9. Анализ опасных факторов производственной безопасности

9.1. Физические факторы

Главным опасным фактором является излучение лазерного оборудования. Неодимовый лазер относится к 3R классу опасности. 3R класс опасности подразумевает лазерные устройства с повышенной опасностью, охватывает лазерные установки с достаточно высокой мощностью. Значительную опасность для кожи и глаз представляет прямой или диффузно – отраженный поток света. Поэтому необходимо использовать средства

индивидуальной защиты: для специалиста – защитные очки с оптическими светофильтрами, для пациента – при использовании лазерного оборудования с инфракрасным или ультрафиолетовым излучением применимы защитные очки с непрямой вентиляцией типа ЗН 22 – 72 – СЗС – 22 [33].

Существуют биологические эффекты от излучения лазерного оборудования, воздействующие на организм человека. Первичные эффекты вызывают кровоизлияние и ожоги, вторичные – побочные эффекты в виде аллергической реакции.

Особого внимания требует высокое напряжение в электрической цепи, поскольку такие лазеры, как правило, имеют напряжение в несколько киловольт. Требования электробезопасности оговорены в специальной документации. Защита подразумевает использование заземления [34].

9.2. Химические факторы

Химически опасных факторов не наблюдается, так как в качестве активной среды неодимового лазера выступает твердое тело. Во внешнюю среду испаряется лишь продукт взаимодействия лазерного излучения с биологической тканью, коими являются микроскопические частицы верхнего слоя кожи – эпидермиса.

10. Экологическая безопасность

Лазерное оборудование не оказывает негативного влияния на окружающую среду. После процедуры остаются только использованные перчатки и салфетки, которые утилизируются. Они относятся к отходам класса Б.

Отходы класса Б складываются в одноразовый пакет или твердый контейнеры желтого цвета или с желтой маркировкой [35].

11. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

К чрезвычайным ситуациям в кабинете лазерной терапии можно отнести:

- возгорание лазерного оборудования;
- поражение электрическим током;

Наиболее вероятной ЧС является возгорание лазерного оборудования.

Факторами возникновения возгорания являются: пламя и искры, высокая температура окружающей среды, токсичные продукты горения.

Предотвращение возгорания достигается остановкой образования источников зажигания в горючей среде. Для этого следует применять максимально негорючие материалов, поддерживать температуру и давление окружающей среды, а также, регулировать нагрев лазерного аппарата, удалять пожароопасные отходы, периодически очищать территорию, на которой находится аппарат. На лазерном аппарате в обязательном порядке должен быть предусмотрен рычаг аварийного отключения [36].

В случае возникновения чрезвычайной ситуации в первую очередь необходимо применить средства пожаротушения: огнетушитель, кошма, асбестовое полотно. Следует организовать эвакуацию людей при помощи автоматического оповещения. В случае необходимости применить средства коллективной защиты людей от пожароопасных факторов: респиратор.

Ограничение распространения пожара достигается использованием устройства аварийного отключения электропитания, применением противопожарных преград.

12. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Размещение лазерного оборудования и организация рабочих мест происходит согласно ССБТ ОСТ 42-21-16-86 [37], СанПиН 5804-91 [38] и ГОСТ Р-50723-94 [39].

В целях обеспечения безопасности необходимо выполнить ряд мер:

- В качестве напольного материала следует использовать специальный линолеум или дерево, дабы не образовывать статистическое электричество.
- В составе мебели не должно быть синтетических волокон.
- Матовое покрытие стен и потолка предотвратит отражение лазерного излучения.
- В качестве покрытия стен и потолка следует использовать негорючие материалы.
- Следует исключить зеркальные покрытия.
- Расположение элементов рабочего места должно быть организовано рационально, с учетом скоростных, силовых и физиологических возможностей человека.
- Необходимо выделить отдельное место для используемых средств при работе (перчатки, салфетки, очки и т.д.,)
- Обязательна маркировка рабочего кабинета. На двери кабинета размещается специальный знак лазерной опасности, знак и окантовка которого черного, а фон – желтого цвета [40].

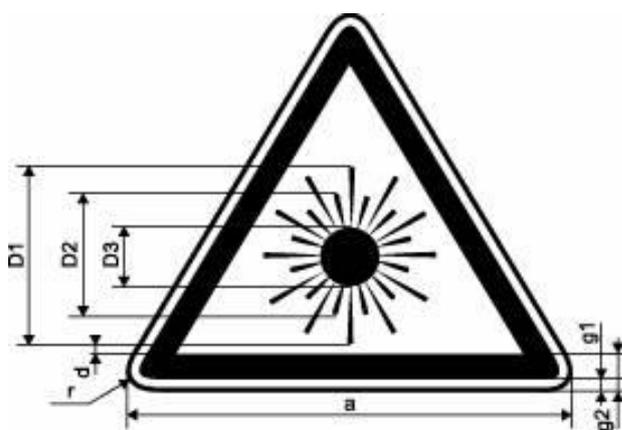


Рис. 27. – Знак лазерной опасности.

Рекомендуемые размеры для знака приведены в таблице ниже.

Таблица 37 – Рекомендуемые размеры знака [40].

a	G1	G2	r	D1	D2	D3	D*
25	0,5	1,5	1,25	10,5	7	3,5	0,5
50	1	3	2,5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7,5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

- Необходимо обеспечить вентиляцию помещения, обеспечивающий трехкратный обмен воздуха в час.
- Обязательно наличие техники безопасности, аптечки, инструкции по оказанию первой помощи, огнетушителя на рабочем месте и агитирующей информации в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Заключение

С началом нанесения татуировок появилась проблема – их выведение. На сегодняшний день удалось решить проблему эффективного и безопасного удаления нежелательных татуировок, однако продолжается борьба за более лучшую технологию, не имеющую аналогов.

Целью дипломной работы было исследование основных технических решений, направленных на разрушение красящего пигмента.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Изучены литературные источники, в том числе зарубежные, на основе которых были изучены основные моменты при удалении нежелательных татуировок: процесс удаления, используемые технологии. Также, изучены строение биологической ткани, фототипы кожи и механизм выведения татуировки.
- 2) Освоен принцип работы, а также изучены основные характеристики лазера, созданного сотрудниками кафедры ЛиСТ.
- 3) Изучен состав красящих пигментов, применяемых для нанесения татуировок.
- 4) Проанализирована методика оценки Кирби – Десаи, проведена детализация некоторых параметров.

На основе полученных данных была создана методика визуального оценочного определения количества процедур для удаления художественных татуировок, а также перманентного макияжа, которая станет фундаментальной основой и в дальнейшем может использоваться в клиниках эстетической медицины и салонах красоты (приложение Б).

Таким образом, в работе обоснована целесообразность использования созданного лазера совместно с разработанной шкалой, а проведенный эксперимент показал хорошие результаты.

Используемая литература

1. Прикладная лазерная медицина. Учебное и справочное пособие/ Берлиен Х. П., Мюллер Г. Й.// АО «Интерэкспорт» - 1997 – стр. 30 – 33, 42 -45, 326 – 329.
2. Физические основы применения лазеров в медицине. Учебное пособие/ Шахно Е. А.// ИТМО – 2012 – стр. 16 – 25, 28 – 44.
3. Мезороллеры. Структура кожи [Электронный ресурс] URL: http://mezoroll.ru/Structure_of_the_skin, свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
4. Market survey on toxic metals contained in tattoo ink's/ Forte G.// Science of the Total Environment – 2009 – P. 5997 – 6002.
5. Techniques and devices used for tattoo removal/ Verhaeghe E.// Dermatologic complications with body art – 2010 – P. 91 – 103.
6. Мезороллеры. Структура кожи [Электронный ресурс] URL: http://mezoroll.ru/Structure_of_the_skin, свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
7. High fluence, high beam quality Q – Switched Nd:YAG laser with optoflex delivery system for treating benign pigmented lesions and tattoo/ Cencic B.// Laser and Health Academy – 2010, Vol. 10 №1 – P. 9 – 18
8. Topical imiquimod in conjunction with Nd:YAG laser for tattoo removal/ Elsaie M.L.// Lasers Med Sci – 2009 – P.871 – 873
9. Determination of the thermal and physical properties of black tattoo ink using compound analysis/ Humphries A.// lasers Med Sci – 2013 – 1107 – 1109
10. Evaluation of the efficacy of tattoo removal treatments with Q – Switch laser/ Gorsic M.// Journal of the laser and health Academy – 2013 – Vol. 13, № 2 – P.21 -25

11. Основные принципы и биологические механизмы воздействия лазерного излучения на кожу [Электронный ресурс] URL: <http://www.martinex.ru>, свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
12. Handbook of lasers in dermatology/ Nouri K.// Springer – 2014 – P. 115 - 133
13. Tattoo removal lasers [Электронный ресурс] URL: <https://astanzalaser.com> , свободный – Яз. англ. Дата обращения 09.04.2016 г.
14. Lasers for tattoo removal: a review/ Elsaie M.L.// Lasers Medical Sci – 2010 – P.620 – 625
15. Laser Tattoo Removal: a review/ Choundhary S.// Laser Medical Science – 2010 – Vol.25, N1 – P.619 – 627.
16. Successful and rapid treatment of blue and green tattoo pigment with a novel picoseconds laser/ Brauer J. A.// Arch Dermatol – 2012 – P. 820 – 823.
17. Safety and effectiveness of black tattoo clearance in a pig model after a single treatment with novel 758 nm 500 picosecond laser/ Izikson L.// Lasers Surg. Med – 2010 – Vol.42 – P. 640 – 646.
18. The Kirby – Desai Scale: a proposed scale to assess tattoo removal treatments/ Kirby W.// J Clin Aesthetic Dermatol – 2009, Vol.3 – P.32 – 37
19. Красота и здоровье [Электронный ресурс] URL: <http://justbeauty.ru/> , свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
20. Encyclopedia of woman's health/ Loue S.// Reference work entry – 2004, P. 351 -353.
21. What were you inking? [Электронный ресурс] URL: <http://whatwereyouinking.com/common-questions> , свободный – Яз. англ. Дата обращения 09.04.2016 г.
22. Здоровье и красота кожи [Электронный ресурс] URL: <http://skindows.ru> , свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.

23. Фирма ЦОЛТ [Электронный ресурс] URL: <http://innolaser.ru> свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
24. Фирма Fotona [Электронный ресурс] URL: <http://medicallaser.ru> свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
25. Фирма ЛинЛайн [Электронный ресурс] URL: <http://www.linline-clinic.ru> свободный – Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
26. Фирма Astanza [Электронный ресурс] URL: <http://astanzalaser.com> свободный – Яз. англ. Дата обращения 09.04.2016 г.
27. Как проводится экранирование источников излучения [Электронный ресурс] URL: http://uchebnikionline.com/bgd/ohorona_pratsi_-_moskalova_vm/yak_provoditsya_ekranuvannya_dzherel_elektromagnitnih_viprominyuvan.htm, свободный, Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
28. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
29. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга // 2006 – М.: Знак. – С. 600-605
30. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности
31. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума Классификация
32. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
33. Защитные очки от лазерного излучения [Электронный ресурс] URL: <http://lasercomponents.ru/katalog-produktsii/lazery/zashchitnye-ochki/zashchitnye-ochki-mag.html>, свободный, Яз. рус. Дата обращения 09.04.2016 г.
34. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
35. СанПиН 2.1.7.728-99 "Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений"
36. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

- 37.ОСТ 42-21-16-86. Система стандартов безопасности труда, отделения, кабинеты физиотерапии. Общие требования безопасности
- 38.Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров
- 39.№ 5804-91 ГОСТ Р-50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий
- 40.ГОСТ Р 50723-94. Знак лазерной опасности и его рекомендуемые размеры

Приложение А
(справочное)

Таблица 5 – Состав красящего пигмента [4].

Состав красящего пигмента		
Цвет	Вещества	Примечание
Черный	Оксид железа (Fe_3O_4), (FeO), Углерод, Кампешевое дерево	Натуральный черный пигмент производится из магнетитовых кристаллов, аморфного углерода, вюстита. В кампешевое дерево используется экстракт из сердцевины, растет на Западе Индии.
Коричневый	Охра	Охра состоит из оксида железа (трехвалентного), смешанного с глиной. Само вещество обладает желтоватым цветом. При нагреве приобретает красный цвет.
Красный	Киноварь (HgS), Кадмий красный (CdSe), Оксид железа (Fe_2O_3), Нафтол	Оксид железа известен общей коррозией. Пигменты киновари и кадмия обладают высокой токсичностью. Наименьшее количество аллергических реакций вызывает нафтол.
Желтый	Кадмий желтый (CdS , CdZnS), Охра, Куркума желтая, Хром желтый, (PbCrO_4)	Чаще всего желтый пигмент вызывает аллергическую реакцию, так как для насыщенности используют большое его количество.

Продолжение таблицы 5:

Зеленый	Оксид хрома (Cr ₂ O ₃), Малахит [Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂], Ферроцианид	
Синий	Лазурь синяя, Кобальт синий, Cu - фталоцианин	Синий пигмент включает в себя карбонат меди(II), алюмосиликат натрия, оксид кобальта и оксид хрома. Самым безопасным синим пигментом является фталоцианин меди.
Фиолетовый	Марганец фиолетовый, Соли алюминия, Карбазол	
Белый	Карбонат свинца, Диоксид титана (TiO ₂), Сульфат бария (BaSO ₄), Оксид цинка	Некоторые белые пигменты получают из анатаза или рутила. Оксид титана является одним из наименее реакционноспособных пигментов.

Таблица 27 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _б	Б _в	К _ф	К _б	К _в
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Функциональная мощность	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
Энергоэкономичность	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,2
Количество процедур	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Травмирование биоткани	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
Побочные эффекты	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкуренто - способность продукта	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
Популярность на рынке	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
Цена	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Эксплуатационный срок	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
База клиентов	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
Инновации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Итого	1	48	40	54	3,95	3,7	4,55

Таблица 28 – матрица SWOT - анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>СС1. Новые методики и разработки</p> <p>СС2. Обучение специалистов работе с прибором</p> <p>СС3. Техническая поддержка</p> <p>СС4. Доставка по России и странам СНГ</p> <p>СС5. НИТПУ позволяет проводить лабораторные исследования и эксперименты для совершенствования методик и технологий</p>	<p>СлС1. Поставка комплектующих элементов из – за границы</p> <p>СлС2. Долгая доставка комплектующих элементов, и как следствие бездействие фирмы.</p> <p>СлС3. Малый штат сотрудников</p>
Возможности	<p>В3В4СС1СС2СС3СС5 - Сильные стороны позволяют осуществить возможности В3, В4.</p> <p>В2В3В4СС4 - СС4 позволяет реализовать возможности В2, В3 и В4.</p> <p>В1В2В3В4СС3 – сильная сторона не позволяет реализовать</p>	<p>СлС1СлС2СлС3В3В4 - Слабые стороны легко устранить возможностями В3 и В4.</p> <p>Другие слабые стороны почти не зависят от возможностей, так как слабые стороны подразумевают сложную доставку,</p>
<p>В1. Широкий диапазон использования данных лазеров</p> <p>В2. Разработка новшеств может увеличить базу клиентов</p> <p>В3. Совместные разработки с другими фирмами</p>		

<p>В4. Участие в международных конференциях</p>	<p>ни одну из возможностей, однако ее можно считать как сильной стороной, так и возможностью</p>	<p>а возможности – улучшение технологии.</p>
<p>Угрозы У1. Заинтересованность клиентов в продукции устоявшихся фирм У2. Фирмы – конкуренты У3. Появление новых технологий</p>	<p>У2С1С2С3 - Сильные стороны оказывают положительное влияние на исключение угрозы У2. У1У3С1С3С5 - Угрозы У1 и У3 устраняются сильными сторонами С1, С3 и С5.</p>	<p>У1У2У3СлС3 - слабая сторона оказывает незначительное влияние на угрозы У1, У2, У3, однако увеличение штата сотрудников будет способствовать увеличению продуктивности работы, тем самым повысив конкурентоспособность.</p>

Таблица 29 – Перечень этапов, работ и распределение обязанностей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, Инженер
Теоретическое и экспериментальное асколирования	5	Выбор моделей для исследования	Инженер
	6	Подготовка моделей исследования	Инженер
	7	Реализация моделей для исследования	Инженер
	8	Исследование метода оценки Кирби – Десаи	Инженер
	9	Разработка новой методики оценки	Инженер
	10	Проведение экспериментов	Руководитель, Инженер, сотрудники

Продолжение таблицы 29:

	11	Обработка результатов	Инженер, руководитель
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности результатов	Инженер
	13	Определение целесообразности созданной методики	Инженер
	14	Создание методики определения количества процедур для удаления татуировок	Руководитель, инженер

Таблица 30 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Название работы	Трудоемкость работ, чел-дн			Исполнители	Длит-ть работ в рабочих днях, T_p	Длит-ть работ в календарных днях, T_k
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
1	Составление и утверждение технического задания	1	1	1	Руководитель темы	1	2
2	Изучение поставленной задачи	5	7	5,8	Инженер	5,8	11
3	Проведение патентных исследований	2	4	2,8	Инженер	2,8	6
4	Выбор направления исследований	1	2	1,4	Инженер, руководитель	1,4	3
5	Выбор моделей для исследования	2	4	2,8	Руководитель, Инженер	2,8	6
6	Подготовка моделей исследования	5	7	5,8	Инженер	5,8	11
7	Реализация моделей для исследования	5	7	5,8	Инженер	5,8	11
8	Исследование метода оценки Кирби – Десаи	7	10	8,2	Инженер	8,2	16
9	Разработка новой методики оценки	15	20	17	Инженер	17	33

Продолжение таблицы 30:

10	Проведение экспериментов	30	70	46	Руководитель, Инженер, сотрудники	46	89
11	Обработка результатов	5	7	5,8	Инженер, руководитель	5,8	11
12	Оценка эффективности результатов	5	7	5,8	Инженер	5,8	11
13	Определение целесообразности созданной методики	2	3	2,4	Инженер	2,4	5
14	Создание методики определения количества процедур для удаления татуировок	2	2	2	Руководитель, инженер	2	4
ИТОГО:							211

Таблица 31 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работы	Исполнитель (ответственный)	Календарные дни, T_k	октябрь			ноябрь			декабрь			январь			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Руководитель	2			■																					
2	Инженер	11			■																					
3	Инженер	6						■																		
4	Руководитель/инженер	3						■																		
5	Инженер	11						■																		
6	Инженер	11						■																		
7	Инженер	11						■																		
8	Инженер	16									■															
9	Инженер	33									■						■			■						
10	Инженер/Руководитель/сотрудники	89															■			■						
11	Руководитель/инженер	11																					■			
12	Инженер	11																					■			
13	Инженер	5																								■
14	Руководитель/инженер	4																								■

-  - руководитель
-  - инженер
-  - Инженер/руководитель
-  Инженер/Руководитель/сотрудники

Приложение Б

Методика визуального оценочного определения количества процедур для удаления татуировок

Автор: Шаймадиева Д.

Данная методическая шкала предназначена для определения количества процедур удаления татуировок по следующему принципу:

1. Определяется фототип кожи пациента и фиксируется соответствующее количество баллов.
2. Учитывается месторасположение художественной татуировки или перманентного макияжа. Соответствующий балл фиксируется.
3. Определяется цвет используемого красящего пигмента. Соответствующий балл фиксируется.
4. Определяется количество нанесенных чернил. Соответствующий балл фиксируется.
5. В случае художественной татуировки учитывается период ношения. Соответствующий балл фиксируется.
6. Татуированный участок кожи осматривается на наличие повреждений и шрамов. Соответствующий балл фиксируется.
7. Учитывается многослойность татуировки и фиксируется соответствующее количество баллов
8. Все баллы суммируются.
9. Итоговое количество баллов определяет количество процедур, которые необходимы для полного удаления татуировки.

Формула для определения количества процедур:

$$N = P + M + C + Q + T + S + L,$$

где: P – фототип кожи,

M – месторасположение татуировки,

C – цвет красящего пигмента,

Q – количество нанесенных чернил,

T – период ношения татуировки,

S – наличие повреждений и шрамов,

L – наличие многослойной татуировки.

ПРИМЕР № 1

Таблица подсчета баллов



Рис.1. Нежелательная татуировка на пальце

Наименование	Баллы
<u>Тип кожи:</u> 2 тип – Светлокожий	2
<u>Месторасположение:</u> дистальный отдел	5
<u>Цвет:</u> темно – синий	1
<u>Количество чернил:</u> незначительное	3
<u>Период ношения татуировки:</u> 25 лет	0
<u>Наличие шрамов:</u> нет	0
<u>Наличие многослойной тату:</u> нет	0
<u>ИТОГО:</u>	11

Необходимое количество процедур: 11

ПРИМЕР № 2



Рис.2. Перманентный макияж бровей

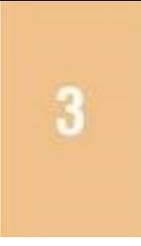
Таблица подсчета баллов

Наименование	Баллы
<u>Тип кожи:</u> 2 тип – Светлокожий	2
<u>Месторасположение:</u> брови	1
<u>Цвет:</u> красный	3
<u>Количество чернил:</u> минимальное	2
<u>Наличие шрамов:</u> нет	0
<u>Наличие многослойной тату:</u> нет	0
<u>ИТОГО:</u>	8

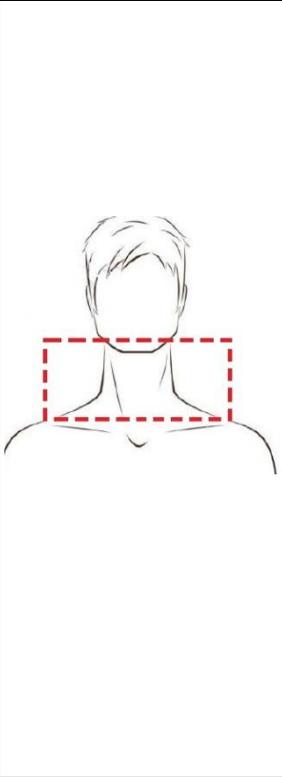
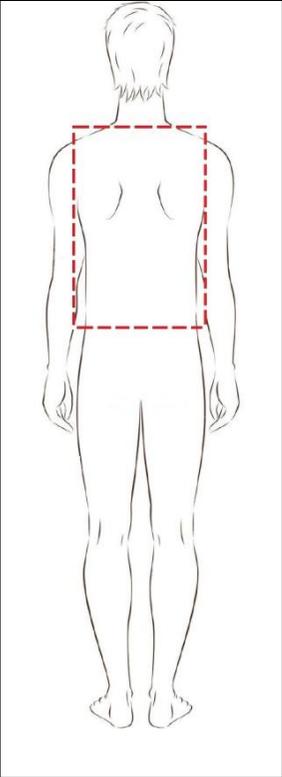
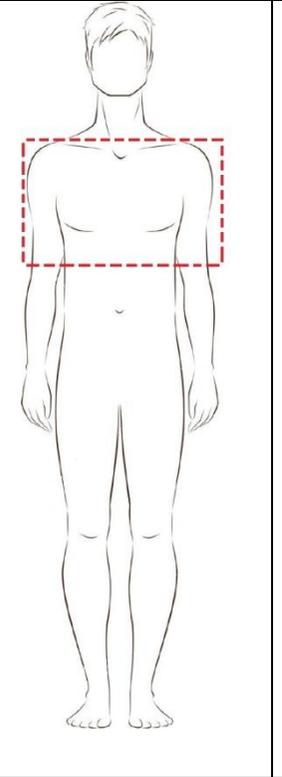
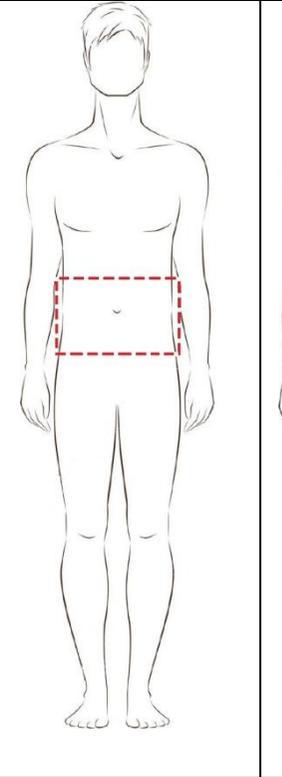
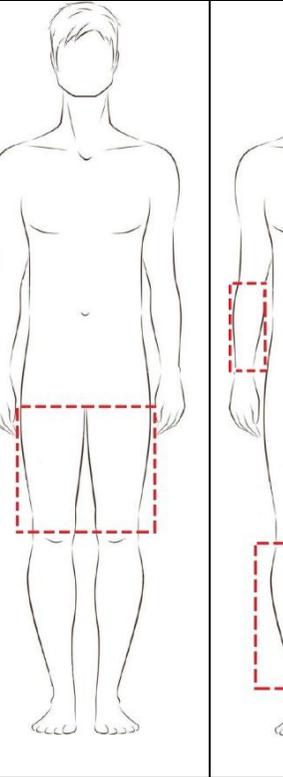
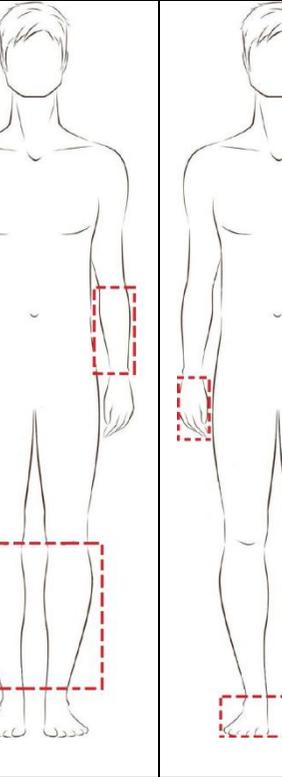
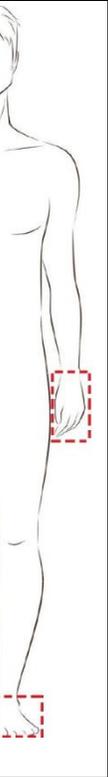
Необходимое количество процедур: 8

Художественная татуировка

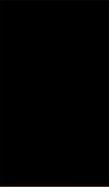
❖ ФОТОТИП КОЖИ

					
1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов

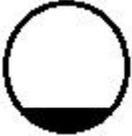
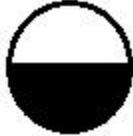
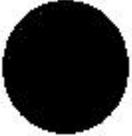
❖ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ ТАТУИРОВКИ

						
2 балла	2 балла	3 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов

❖ ЦВЕТ ТАТУИРОВКИ

			
Черный	В основном черный	Черный с примесью разных цветов	Разноцветный
1 балл	2 балла	3 балла	4 балла

❖ КОЛИЧЕСТВО ЧЕРНИЛ

		
Минимальное	Среднее	Максимальное
1 балл	2 балла	3 балла

❖ ПЕРИОД НОШЕНИЯ ТАТУИРОВКИ

0 -10 лет	11 – 20 лет	20 и более лет
2 балла	1 балл	0 баллов

❖ НАЛИЧИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ШРАМОВ

			
Нет	Незначительное	Умеренное	Значительное
0 баллов	1 балл	3 балла	5 балло

❖ НАЛИЧИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ТАТУИРОВКИ

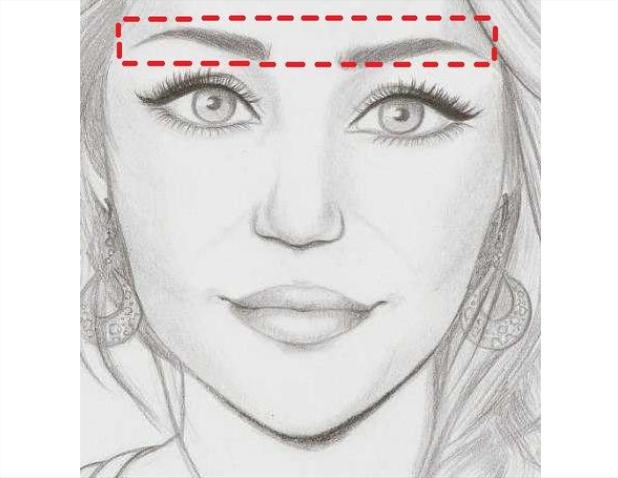
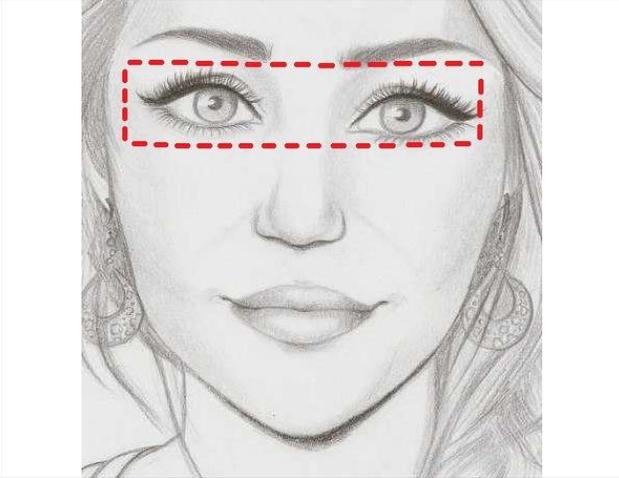
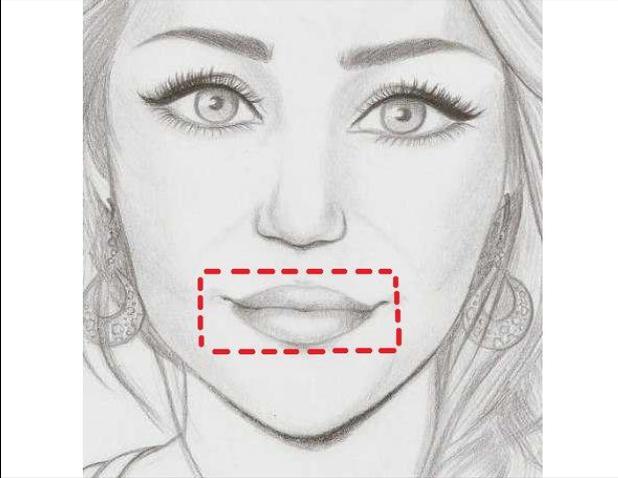
Да	Нет
2 балла	0 баллов

Перманентный макияж

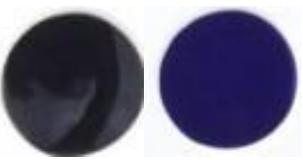
❖ ФОТОТИП КОЖИ

					
I	II	III	IV	V	VI
1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов

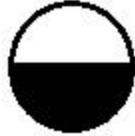
❖ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ ТАТУИРОВКИ

		
1 балл	1 балл	2 балла

❖ **ЦВЕТ ТАТУИРОВКИ**

					
Черный или синий	Коричневый	Красный	Рыжий	Бежевый	Многокомпонентный
1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов

❖ **КОЛИЧЕСТВО ЧЕРНИЛ**

		
Минимальное	Среднее	Максимальное
1 балл	2 балла	3 балла

❖ **НАЛИЧИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ШРАМОВ**

			
Нет	Незначительное	Умеренное	Значительное
0 баллов	1 балл	3 балла	5 баллов

❖ **НАЛИЧИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ТАТУИРОВКИ**

Да	Нет
2 балла	0 баллов

