

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

---

Институт Неразрушающего Контроля  
Направление подготовки – Биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка программы для бесконтактной навигации по плану хирургической операции</b>

УДК 004.923:617-089

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ51	Битуева Светлана Игоревна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры ПМЭ	Толмачев И.В.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Баннова К.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять глубокие специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в инновационной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной биомедицинской и экологической техники	Требования ФГОС (ОК-2, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа и синтеза с использованием специальных знаний, современных аналитических методов и моделей	Требования ФГОС (ОПК-1, 3; ПК-1 – 4), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Выбирать и использовать необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения инновационной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений	Требования ФГОС (ОК-9, ПК-10, 14, 18). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники конкурентоспособной на мировом рынке	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ПК-5 – 11, 14), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением глубоких специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов в сложных и неопределенных условиях	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-5, ПК-1 – 4). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать глубокие знания в области проектного менеджмента для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-14, 15). Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем активно осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении инновационных инженерных задач	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-3; ПК-3, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

P11	Демонстрировать глубокие знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2, 4; ОПК-4), Критерий 5 АИОР (п.5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки (специальность) -Биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ф.А.Губарев  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ДМ51	Битуева Светлана Игоревна

Тема работы:

**Разработка программы для бесконтактной навигации по плану хирургической операции**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

От 15.04.2016 г. № 2943/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или 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.).*

Среда разработки Unity3D;  
Система безмаркерного захвата Microsoft Kinect;  
Система захвата движения Leap Motion;  
Программное обеспечение для 3D моделирования:  
3D Slicer, Gimias;

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки 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></p>	<p>1. Аналитический обзор области применения Leap Motion в хирургии</p> <p>2. Требования к интерфейсу программного комплекса для сопровождения операций</p> <p>3. Разработка интерфейса управления для навигации по плану хирургической операции;</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Баннова Кристина Алексеевна</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Ермакова Янина Викторовна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Обзор литературы</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Ст. преподаватель кафедры ПМЭ</p>	<p>Толмачев И.В.</p>	<p>К.М.Н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1ДМ51</p>	<p>Битуева Светлана Игоревна</p>		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ДМ51	Битуевой Светлане Игоревне

<b>Институт</b>	Неразрушающего контроля	<b>Кафедра</b>	Промышленной и медицинской электроники
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Биотехнические системы и технологии

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</i>	<i>Затраты на выполнение НИР включает в себя затраты на необходимое оборудование для научных работ, основную и дополнительную заработные платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Предпроектный анализ</i>	<i>Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации</i>
2. <i>Инициация проекта</i>	<i>Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИР, трудозатраты и функции исполнителей проекта</i>
3. <i>Планирование управления научно-техническим проектом</i>	<i>Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов</i>
4. <i>Оценка сравнительной эффективности исследования</i>	<i>Расчёт интегрального показателя эффективности НИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. <i>Карта сегментирования рынка</i>
2. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИИ</i>
4. <i>Календарный план проекта</i>
5. <i>Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Ганта)</i>
6. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Баннова Кристина Алексеевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ДМ51	Битуева Светлана Игоревна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ДМ51	Битуева Светлана Игоревна

<b>Институт</b>	Институт неразрушающего контроля	<b>Кафедра</b>	Промышленной и медицинской электроники
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Биотехнические системы и технологии

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Разработка программы для бесконтактной навигации по плану хирургической операции Область применения -хирургия.</i>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение показателей микроклимата производственных помещений;</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Превышение уровня шума;</li> <li>– Превышение допустимого уровня электромагнитного поля.</li> <li>– Психофизиологический фактор</li> <li>– Электрический ток</li> </ul>
<i>2. Экологическая безопасность</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (отходы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (отходы)</li> </ul>
<i>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Возможные ЧС на объекте: пожар</li> </ul>
<i>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Специальные правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Мезенцова И.Л.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ДМ51	Битуева Светлана Игоревна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 с., 31 рис., 18 табл., 58 источников, 1 прил.

Ключевые слова: визуальное сопровождение, бесконтактный интерфейс, Leap Motion, Kinect, человеко-компьютерные взаимодействия.

Объектом исследования является информационная система.

Цель работы – Разработать программное приложение для бесконтактной навигации по плану хирургической операции с использованием систем безмаркерного видеозахвата движений

В процессе исследования проводились работы по разработке сценария для планирования и сопровождения хирургических операций

В результате исследования разработан сценарий для сопровождения хирургической операции состоящий из пакетных модулей для среды Unity, были сформированы системы жестов для управления сценарием.

### ***Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки***

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты Национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
2. ГОСТ Р 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
3. ГОСТ Р 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
4. ГОСТ Р 2.316 – 2008 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
5. ГОСТ Р 7.05 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

***Безмаркерный захват:*** управление программным обеспечением посредством движения рук пользователя на расстоянии от 0,5 до 3 м до сенсора без какие-либо датчиков, фиксирующих движение.

***CAD (Computer-Aided Design)*** - автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования.

***CAM (Computer-Aided Manufacturing)***-технологии изготовления изделий на станках с ЧПУ.

## *Оглавление*

Введение.....	11
1.1.Актуальность .....	14
1.2.Обзор литературы .....	15
1.3. Существующие аналоги .....	22
2. Материалы и методы .....	29
2.1. Kinect .....	29
2.2 Leap Motion .....	31
2.3. DICOM изображения .....	33
2.4. Этапы построения 3D моделей.....	35
2.5. Программы для построения 3D моделей.....	38
2.5.1. Slicer 3D.....	38
2.5.2.Gimias .....	39
2.6. Unity 3D .....	40
3.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	42
4.1. Предпроектный анализ .....	42
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	42
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	43
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	43
4.2 Инициация проекта .....	46
4.2.1 Цели и результаты проекта .....	46
4.2.2 Организационная структура проекта .....	47
4.2.3 Ограничения и допущения проекта .....	48
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	48
4.3.1 План проекта.....	48
4.3.2 Бюджет научного исследования .....	51
4.3.3. Расчет заработной платы.....	52
4.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	54
4.3.5.Отчисления на социальные нужды .....	54
4.3.6. Накладные расходы.....	55
4.3.7. Расчет общей себестоимости разработки .....	55

4.4. Оценка сравнительной эффективности исследования .....	56
4.5. Вывод.....	58
Список публикаций.....	60

## *Введение*

Развитие технологий медицинской визуализации привело к их активному внедрению в процесс планирования и сопровождения хирургических операций. Для визуализации необходимых результатов визуализирующей диагностики во время операции используются специализированные мониторы. Результаты визуализирующих диагностик позволяют правильно определить последовательность действий, учитывая анатомические особенности пациента в процессе оперативного вмешательства. В ходе операции хирург помимо исходных медицинских изображений может взаимодействовать с реконструированными анатомическими 3D моделями, или иными 3D моделями. Необходимые 3D модели предварительно создаются при помощи специальных программ на основании полученных DICOM изображений зоны интереса пациента.

Самый эффективный способ манипулирования изображениями в условиях асептики-жесты. Бесконтактный интерфейс может позволить манипулировать хирургу непосредственно необходимыми изображениями не нарушая стерильности. Не решенной до конца задачей остается управление планом операции в условиях асептики. В большинстве случаев для масштабирования, поворота, изменения контрастности изображения и переключения между изображениями используются стандартные устройства ввода - клавиатура и мышь, что может нарушить условия асептики. В данном проекте будут разработаны инструменты для создания плана операции и управления построенными моделями в условиях асептики на основе безмаркерного видеозахвата.[1]

Для автоматизированного трехмерного моделирования необходимо использовать эффективные и проверенные методы и технологии системы CAD/CAE/CAM. Рассматриваемые технологии используются в медицине, например, проектирование ортезов, фиксаторов используемые для заживления

переломов, вместо гипса, в челюстно-лицевой хирургии, для создание эталонного «образца».

Благодаря современным технологиям, построенную 3D модель можно распечатать на 3D принтере и использовать в дальнейшем, так и можно изготовить на станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

Идет речь о технологиях CAM/ CAD. Созданная компьютерная 3D модель может быть передана на станок с ЧПУ для ее автоматизированного изготовления. [2] CAD (Computer Aided Design) – технологии компьютерного проектирования изделий, CAM (Computer Aided Machinery) - технологии изготовления изделий на станках с ЧПУ.[3]

В процессе диагностики, лечения, хирургического вмешательства, с использованием 3D-визуализации, можно выделить следующие этапы:

1. Сбор анамнеза (клинические анализы и начальная диагностика);
2. Уточненная диагностика на базе методов лучевой диагностики;
3. Визуализация патологии и создание 3D-моделей анатомических структур пациента;
4. Планирование лечения, оперативного вмешательства, подбор инструментов и оснастки для выполнения операций;
5. Выполнение операции, интраоперационное сопровождение и фиксация хода операции;
6. Оценка результатов и принятие решения о дальнейших действиях по реабилитации пациента.

3D – визуализация обычно используется для решения задач со второго до пятого этапа. В основе 3D визуализации лежит инженерный анализ (reverse engineering). Инженерный анализ – процесс восстановления исходников из конечного продукта из физических моделей или продуктов. Позволяет существенно сократить время прохождения продукта от стадии проектирования до конечного результата. Процесс инженерного анализа делиться на две фазы: оцифровка, или получение необходимых данных зон интереса и трехмерное моделирование объекта на основе данных оцифровки. Поверхности

определенные по данным оцифровки, обрабатываются и превращаются в твердотельную модель, которую необходимо экспортировать в STL, либо OBJ файл.

**Цель работы:** Разработать программное приложение для бесконтактной навигации по плану хирургической операции с использованием систем безмаркерного видеозахвата движений

**Задачи:**

1. Проведение аналитического обзора использования бесконтактного управления в хирургии
2. Формулирования требований к интерфейсу программного комплекса
3. Разработка интерфейса управления для навигации по плану хирургической операции

## *1.1. Актуальность*

В наше время существует множество методов лучевой диагностики результаты применения которых помогают в хирургических операциях. Но хирургам не удобно рассматривать снимки во время операции, даже установленные мониторы не дают 100% мобильности для рассмотрения той или иной области какого-либо снимка, так как это зачастую происходит с помощью медсестры, которая переключает/масштабирует снимки. Для решения задачи доступа к медицинским данным в условиях асептики разрабатывается аппаратно-программный комплекс для помощи хирургу во время проведения операции. Комплекс представляет собой систему отображения набора анатомических компьютерных 3D моделей зоны интереса на дисплее в хирургической операционной. Данные анатомические модели получаются в результате предварительной реконструкции на основе сегментации медицинских изображений, таких модальностей как компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии, позитронно-эмиссионная томография и др.

Поддержка проведения хирургического вмешательства включает в себя также систему захвата движения, предназначенную для бесконтактного управления, за счёт жестов оператора, необходимым набором объектов изображения и видео на дисплее. Система позволяет управлять положением набора 3D моделей, DICOM изображений, их масштабом и прозрачностью отдельных моделей, контрастностью двумерных изображений, также имеет возможность перемещаться между наборами 3D моделей и других объектов изображений зоны интереса проведения хирургической операции.

## *1.2. Обзор литературы*

В настоящее время обычный просмотр необходимых изображений во время хирургической операции требует непосредственного физического контакта с устройством ввода (мышь или сенсорный экран). Такие контакты могут нарушить асептические условия и затрачивают дополнительное время. Данную проблему может решить недавно появившееся контроллер, Leap Motion, которое обеспечивает взаимодействие с компьютером без какого-либо физического контакта, представляет большой интерес в области хирургии, но исполнение является ключевой задачей для разрабатываемого комплекса [4].

Доступ к цифровым изображениям в операционной открывает новые возможности для безопасности пациентов и высокоточного хирургического управления, но обычно требует физического контакта через сенсорный экран или мышь. Во время операции, полагаясь ассистирующих членов команды или меняя перчатки каждый раз, когда необходимо использовать компьютер, хирург отвлекается, тем самым прерывает рабочий процесс, что может привести к увеличению времени операции с более высоким риском инфицированием пациента. Бесконтактные системы управления полезны там, где контакт между хирургом и компьютером является элементом риска в операционной. Бесконтактная система управления - идеальное решение. Поэтому представляют большой интерес такие недавно появившиеся устройства, как Leap Motion, которые позволяют осуществлять взаимодействие с компьютером без какого-либо физического контакта. [5]

Программное обеспечение такое как, Carestream Vue PACS v11.3.4, позволяет отображать медицинские изображения и обеспечивает постпроцессинг. Обычно активируется с помощью мыши, и позволяет выполнять следующие основные функции [6]:

- простой щелчок левой кнопкой мыши: выбор функции;
- удерживая левый клик и перемещая мышь: активация функции, изменение последовательности изображений;

- удерживание правой кнопки мыши и перемещение мыши: прокрутка изображений;

- двойной щелчок левой кнопкой мыши: полноэкранное отображение изображения в режиме презентации из нескольких окон.

Leap Motion, используемое с предлагаемой настройкой, позволяет перемещать курсор с раскрытой правой ладонью, как на рисунке 1.



Рисунок 1. Раскрытая ладонь, жест для перемещения курсора

Каждый жест отвечает за определенную команду:

- Расправленные пальцы активируют щелчок левой кнопки мыши;
- Перемещение указательного пальца при расправленных пальцах отвечает двойным щелчком левой кнопки мыши (Рисунок 2);



Рисунок 2. Отведенный указательный палец, жест отвечающий за двойной щелчок мыши

- Перемещение пальцев правой руки вместе перемещает курсор на изображение помещается на изображение;
- Расправленная левая рука и движением правой руки в вертикальной плоскости выполняется прокрутка;
- Перемещение указательного пальца при расправленных пальцах (двойной щелчок мыши) на необходимое изображение переводит в режим презентации (изображение поверх всех окон);
- Перемещение правой руки в горизонтальной плоскости позволяет выбрать другое исследование (данные другого пациента);

Так же интерфейс программы позволяет создать вкладки с наиболее часто используемыми функциями, что упрощает использование за счет сокращения числа манипуляций.

Для использования в операционной Leap Motion необходимо поместить его в стерильный прозрачный пакет, такие как для ультразвукового зондового оборудования. Во избежание нарушения режимов асептики, стерильный прозрачный пакет следует перемотать лентой или жгутом как изображено на рисунке 3[7].



Рисунок 3. Leap Motion в стерильном пакете

Kinect имеет большую рабочую зону и необходимо выполнять широкие жесты, уступает, контроллеру Leap Motion который в свою очередь способен распознавать движения пальцев.

Leap Motion имеет ряд преимуществ по сравнению с системой Kinect:

- сокращение рабочего пространства;
- высокая точность;
- уменьшение массогабаритных показателей, что позволяет размещать контроллер даже на край операционного стола;
- движения рук и пальцев менее утомительны, чем широкие жесты;
- общая стоимость, включая конфигурационное программное обеспечение, менее 100 евро;

Большая точность Leap Motion объясняется следующим:

- площадь обнаружения меньше 8 кубических футов (0,277 м<sup>3</sup>), что эквивалентно кубу с краем 23,6 дюйма (60 см);
- частота обновления изображения 200 Гц (против 30 Гц у Kinect);
- камеры с высоким разрешением (2 инфракрасных камеры с разрешением 1,3 мегапикселя против 1 инфракрасной камеры 0,3 мегапикселя у Kinect)[8];

Точность и надежность Leap Motion проанализированы. Стандартное отклонение в статических измерениях составляет от 0,0081 до 0,49 мм, а точность высокая, ниже 0,2 мм. Экспериментальные результаты с Kinect показывают, что случайная погрешность измерения глубины увеличивается с увеличением расстояния до датчика и колеблется от нескольких миллиметров до около 4 см в максимальном диапазоне датчика. Но, с другой стороны, эта высокая точность Leap Motion сказывается на загруженность центрального процессора (от 60% до 100% CPU), потому что он должен обрабатывать  $2 \times 200$  изображений по 1,3 мегапикселя каждый в секунду [9].

В публикациях сообщается об использовании Leap Motion в операционной, установка и использование устройства очень проста. Что касается жесты Leap

Motion, есть два варианта: либо использовать предварительно настроенное программное обеспечение, либо настроить свои собственные жесты. Предварительно настроенные программы доступны в магазине AirSpace. Даже если есть преимущество в простоте использования, отсутствие стандартизации жестов является препятствием, поскольку каждое программное обеспечение требует обучения заново. Например, щелчок левой кнопкой мыши может быть вызван перемещением пальца между большим и указательным пальцами (программное обеспечение mudra), вертикальным движением указательного пальца (программное обеспечение Airinput) или указательным пальцем, выходящим за вертикальную плоскость Leap Motion (виртуальная «сенсорная» поверхность, программное обеспечение Touchless и Pointable). [10]

Медицинские изображения (результаты МРТ и тому подобное) стали неотъемлемой частью сопровождения операции. Благодаря своим возможностям, на данный момент Leap Motion исследуют в различных областях медицины, такие как, хирургия, стоматология, так как практически при любом оперативном вмешательстве хирургу необходимо видеть необходимые данные. Гильермо М. Роза и Мария Л. Элизондо в своей статье используют контроллер Leap Motion в сопровождении с программным обеспечением для визуализации Carestream CS 3D v3.1.9 использовались чтобы манипулировать предварительной 3D-моделью планируемого имплантата и делать цифровые рентгенограммы во время операции. Предложенная система также интегрировала датчик цифровой рентгенографической системы (DRSS) (Kodak RVG5100, Carestream Health Inc., Рочестер, США), чтобы обеспечить возможность интраоперационной внутриротовой рентгенографии [11].

Предварительное тестирование было проведено двумя хирургами с доступом ко всем видам поддерживаемых цифровых изображений, имитирующих типичные ситуации в области стоматологической хирургии. На этом этапе позиции всех составляющих были откалиброваны и скорректированы. Попробовав разные позиции, было выбрано окончательное расположение контроллера, учитывая, что пространство взаимодействия

контроллера позволило оператору передвигать свои руки удобным способом, чтобы избежать усталости во время жестов. Были испытаны различные условия освещения для проверки влияния на производительность контроллера. Проверялась скорость передачи данных по универсальной последовательной шины (USB). Различные настройки управления Leap Motion были протестированы для плавного и стабильного взаимодействия, а предлагаемая система была установлена со скоростью 42 кадра в секунду с временем обработки 23,2 мс; Использовалось приложение Touchless в расширенном режиме [12].

Вышеупомянутая система позволила интраоперационное бесконтактное управление во время операции (рисунок 4).

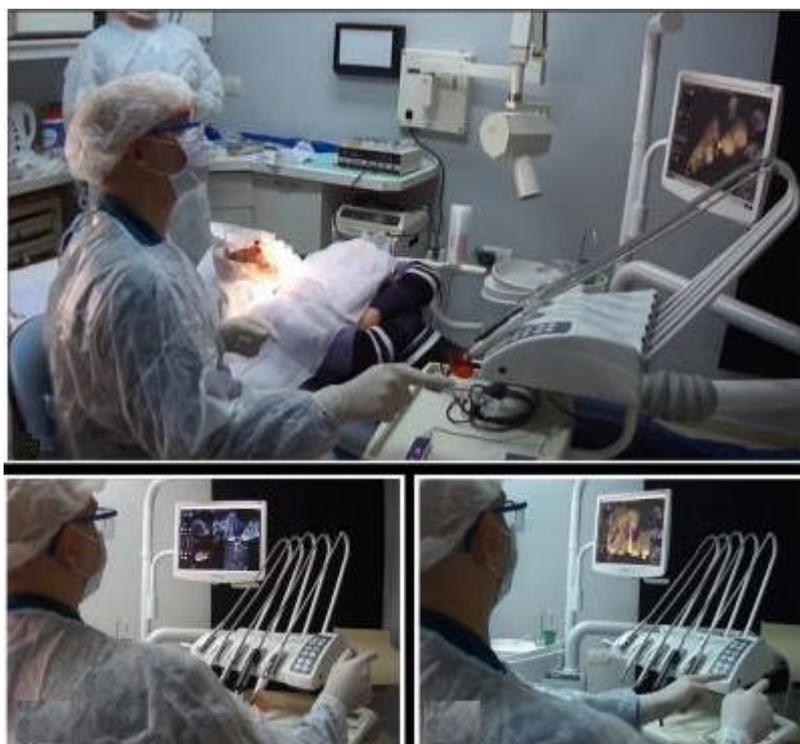


Рисунок 4. Использование Leap Motion во время стоматологической операции

Когда оператор наводил один или два пальца на экран, система нарисовала курсор на экране, чтобы оператор мог указать пункты или кнопки в программном обеспечении. Функции, которые требовали двух точек управления (изменение масштаба, масштабирования или вращения), можно было контролировать двумя пальцами одной руки или одним пальцем каждой из двух рук. Используя этот жест руки, хирург смог перемещаться по окнам, увеличивать и уменьшать

масштаб, манипулировать различными изображениями и фрагментами, а также использовать инструменты визуализации, такие как регулировка контраста или яркости изображения, улучшение изображения и измерение. Во время процедур имплантации зубов можно было перемещать и поворачивать модель 3D имплантатов. Кроме того, система использовалась для манипулирования (увеличения или уменьшения контрастности) новых интраоперационных цифровых рентгеновских изображений для подтверждения правильного положения хирургических направляющих и окончательного положения имплантатов или для рентгенологической оценки результатов процедур.

Основываясь на экспериментальных данных, следует заметить, что комбинированная система работает очень хорошо, и оказалось, что она очень полезна в управлении системой, не касаясь чего-либо и поддерживает условия асептики в хирургической среде. Период привыкания к системе бесконтактного управления не очень велик; Это может зависеть от того, как пользователь привыкает к другим устройствам многоточечного ввода, таким как сенсорные экраны, но для использования во время операции рекомендуется, чтобы пользователь проводил несколько тренировок (4-6 сеансов по 30 минут каждый). С небольшими тренировками для пользователя, без сомнения, будет проще и быстрее, чем менять стерильные перчатки или иметь помощника вне стерильной среды [13].

Leap Motion - точное устройство, настраиваемое и экономичное, позволяющее управлять программным обеспечением жестом, и оно определенно вписывается в операционную.

Бесконтактное управление производит революцию в человеко-машинных взаимодействиях; Она только началась и, вероятно, будет развиваться в течение следующих 20 лет. Пользовательские интерфейсы становятся менее заметными, так как компьютеры технологии развиваются большими темпами, и это потенциально может приблизить людей и технологии. Вклад этой революционной новой технологии является и будет чрезвычайно важен в области здравоохранения и имеет огромный потенциал во многих отраслях

хирургии, а также в повседневной клинической практике. Что более важно: это будет очень полезно для диагностики и лечения ряда заболеваний и улучшения ухода за людьми, что является нашей конечной и самой большой медицины [14].

### *1.3. Существующие аналоги*

Т. А. Траваглини, в статье сравнивал Leap Motion с Geomagic Touch (ранее Sensable Phantom Omni) [15]. Phantom Omni Geomagic Touch (ранее Sensable Phantom Omni) - это профессиональное тактильное устройство среднего класса (между менее дорогим 3D-системами Touch и более премиальным Geomagic Touch X) [16].

Geomagic Touch используется в исследованиях, 3D-моделировании. Что позволяет пользователям свободно лепить трехмерную глину, улучшать, изменять научные или медицинские модели, увеличивать производительность при интерактивном обучении и легко маневрировать механическими компонентами для создания проектов более высокого качества [17].

Geomagic Touch представляет собой моторизованное устройство, рисунок 5, которое за счет обратной связи к руке пользователя, позволяя им чувствовать виртуальные объекты и создавать ощущения прикосновений к реальности, когда пользователь манипулирует экранными 3D-объектами. Ведущие компании интегрируют Geomagic Touch и haptics в свою работу, чтобы достичь убедительных решений, используя реалистичное чувство осязания.



Рисунок 5. Geomagic Touch

Haptic устройства играют важную роль во многих медицинских учебных и исследовательских приложениях. Используя Geomagic Touch, хирурги могут планировать и репетировать, работая на виртуальной модели пациента с реалистичной реакцией тканей и точными хирургическими инструментами. И медицинское обучение на основе учебных программ с использованием Touch обеспечивает важный опыт для студентов в доклинических условиях.

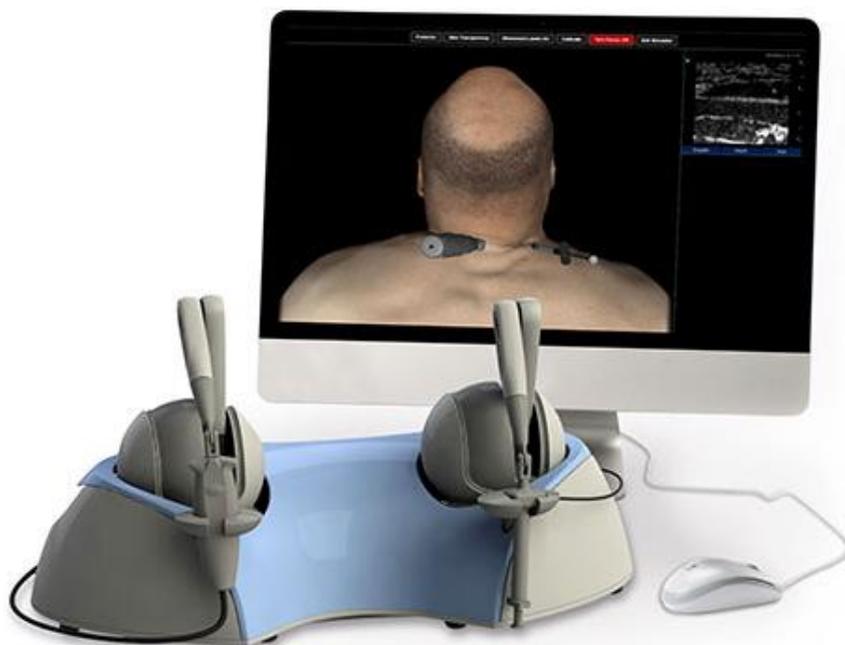


Рисунок 6. Использование Geomagic Touch для проведения операций на фантоме. Физическая область, (на которой располагается устройство на столе): ~ 160x120x70 мм, вес (только устройство) 1,785 килограмм, диапазон движения: движение руки на запястье, распознавание положения [Stylus gimbal] x, y, z (цифровые кодеры) [Точность, крен, рыскание ( $\pm 5\%$  потенциометров линейности) поддерживаемый интерфейс IEEE-1394 FireWire: 6-контактный, 6-контактный, поддерживаемые платформы персональный компьютер с процессорами Intel или AMD [18].

Хирургическая задача, представляющая интерес в статье Т. А. Траваглини, - резекция опухолей гипофиза с использованием концентрического трубчатого робота, доставленного через нос. Эндоскопические методы трансплантации являются сложными для хирурга из-за ограниченного пространства внутри

ноздри и проблемы ручного манипулирования множеством инструментов в ней для выполнения тонкой хирургической процедуры.

Установка, используемая в экспериментах, показан на рисунке 7, и он представляет собой концентрический трубчатый робот, состоящий из трех телескопических предварительно подготовленных труб, изготовленных из суперэластичного нитинола. Он имеет три трубки диаметром 2,4, 1,7 и 1,2 мм, каждый из которых может быть телескопически выдвинут и с осевым вращением у основания. Робот также имеет осевое запястье, что позволяет ему поворачивать трансфеноидальную кюретку.

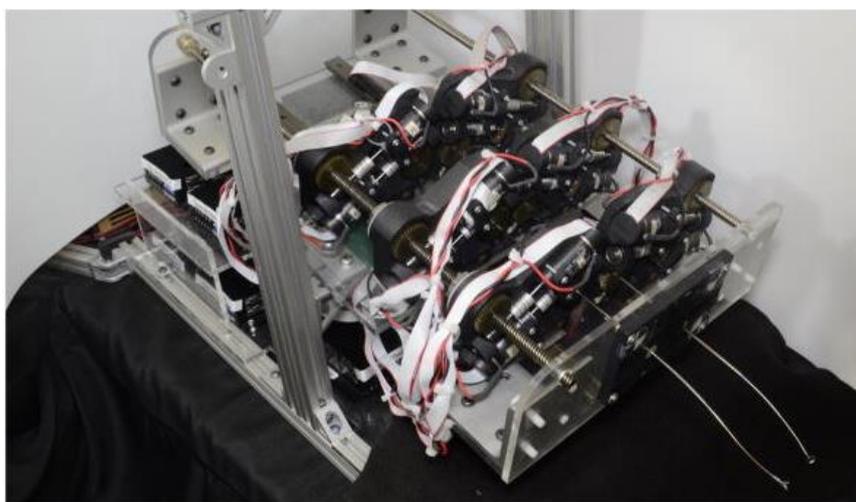


Рисунок 7. Концентрический трубчатый робот

Leap Motion был использован для измерения положения центра кисти, углов крена, тангажа и угла поворота вокруг этой точки, и они были сопоставлены непосредственно с кончиком робота с концентрической трубкой. Когда хирург хотел переместить робота, не вращая кюретку, хирург просто отрегулировал необходимое положение жестом своей руки. Так же переориентирование кюретки, то есть угол крена регулируется с помощью жестов. Движения рук были уменьшены, чтобы уменьшить дрожь и обеспечить точные движения в маленьком рабочем пространстве гипофиза. Стандартный 4 мм, 30 ° эндоскоп обеспечивал визуализацию места хирургического вмешательства. Экспериментальная установка была показана на рисунке 8.

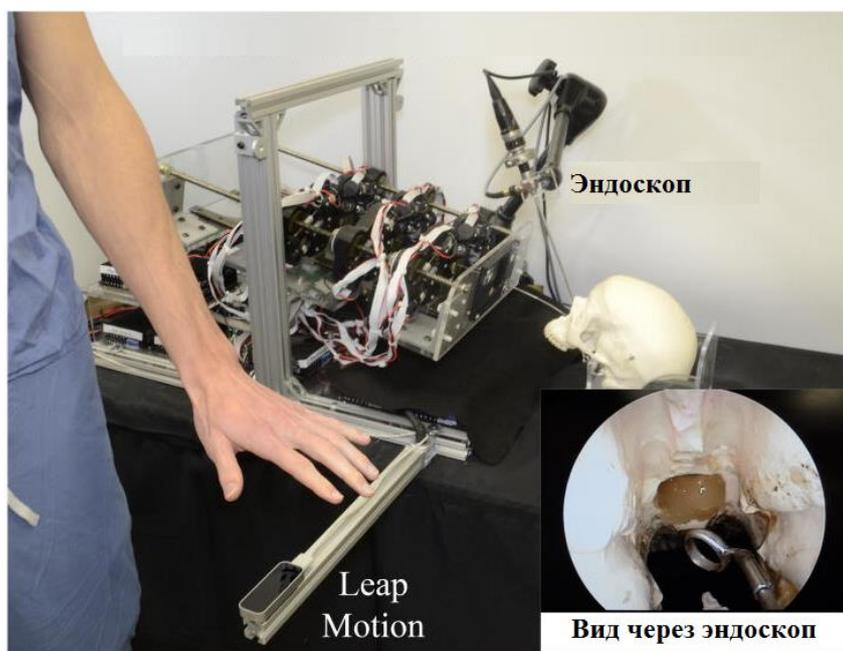


Рисунок 8. Экспериментальная установка с использованием Leap Motion

Используя установку, показанную на рисунке 10, соавтор Филип Свани и соавтор и нейрохирург Кайл Уивер выполнили в общей сложности 16 резекций опухолей гипофиза в форме фантома. Измерили время, необходимое для завершения процедуры и количество удаленной опухоли. Последнее измерялось взвешиванием черепа до введения фантомной опухоли, взвешиванием его снова после введения опухоли и взвешиванием ее в последний раз после резекции. Средний процент удаления составил  $78,5 \pm 10,9\%$ , а среднее время завершения удаления составило  $12,4 \pm 2,0$  минуты.

Результаты исследования, хотя отнюдь не окончательное утверждение о ценности отслеживания рук в качестве главного интерфейса, действительно показывают, по крайней мере, один конкретный сценарий, в котором, он достаточно хорошо работает, чтобы хирург мог выполнить поставленную перед ним задачу. В будущем можно с уверенностью сказать, что отслеживание рук является отличным решением для создания эффективных и недорогих основных интерфейсов для хирургических роботов.

Также, как аналог, чаще всего рассматривают Kinect, который ранее, до выпуска Leap Motion, участвовал в экспериментах по бесконтактному управлению. Швейцарская группа исследователей хирургов использует Osirix и

Microsoft Kinect для выполнения бесконтактного управления в операционном зале и во время вскрытия. Это решение, имеет ряд не доработок, устранение которых способствуют улучшению работы [19].

Рольф Випфли, Виктор Дюбуа-Феррьер в своей статье исследуют три различных режима манипуляций изображениями, которые можно использовать в условиях хирургии [20]:

- 1) Манипуляция жестами с использованием Kinect;
- 2) Устные инструкции к третьему лицу, ответственному за манипулирование изображениями;
- 3) С помощью мыши;

В эксперименте приняли участие 30 врачей и студентов старших курсов медицинских университетов. Эффективность, то есть короткое время, прошедшее на тестовых сценариях, был самым высоким

- с помощью мыши  $M = 109.10s$ ,  $SD = 25,96$ ;
- управление жестами  $M = 214.97s$ ,  $SD = 46,29$ ;
- устные инструкции  $M = 246.33$  с,  $SD = 76,50$ ;

Исследование показало, что управление жестами работает лучше, чем устные инструкции к человеку, но не лучше, чем использование мыши. Но сложные условия использования мыши в стерильной операционной в дальнейшем будут способствовать использованию интерфейсов жестов.

Системы бесконтактного управления на основе контроллера Kinect имеет следующие недостатки [21]:

- Рабочее пространство, в котором должен быть выполнен жест, является значительным большим;
- Рабочее пространство между устройством и пользователем должно оставаться свободным;
- Хирург должен выйти из рабочей зоны Kinect, чтобы прекратить работу с системой или должен перейти на голосовые команды для активации или деактивации устройства;

- Вокальный контроль имеет несколько ограничений;
- Цена Kinect составляет около 10490 рублей;
- Рабочее расстояние ~1,2 метра

Но не смотря на данные недостатки, устройство Kinect, в экспериментах, показало себя достаточно эффективным. Из-за большой рабочей зоны с помощью Kinect тяжело управлять 3D-моделями, так как такое управление требует более точных жестов, которые с легкостью распознает Leap Motion.

Во время экспериментов, сопровождающей программой использовали Osirix. Osirix программное обеспечение обработки изображений предназначенное для DICOM изображений (".dcm" / ".dcm" расширения) производимое оборудованием, которое выдает на выходе изображения (мрт, кт, pet, pet-ct, spect-ct, узи и так далее) [22].

Программное обеспечение OsiriX было специально разработано для навигации и визуализации мультимодальных и многомерных изображений: Просмотрщик 2D, 3D просмотрщик, 4D просмотрщик (3D серии с временными измерениями, например, Кардио-КТ) и 5D просмотрщик (3D серии с временными и функциональными измерениями, например: Кардио-РЕТ-КТ).

3D просмотрщик предлагает все современные режимы рендеринга: Мультипланарная реконструкция (МПП), рендеринг поверхности, рендеринг объема и проекция максимальной интенсивности (ПМИ). Все эти режимы поддерживают 4D данные и способны производить смешение изображений между двумя различными сериями (поддержка отображения РЕТ-СТ и СПЕКТ-СТ). OsiriX это в тоже время рабочая станция DICOM PACS для изображений и программного обеспечения обработки изображения для медицинских исследований (радиология и ядерная томография), функциональная визуализация, 3D изображения, конфокальная микроскопия и молекулярное изображение. OsiriX в настоящее время разрабатывается и поддерживается компанией Pixmeo (расположенной в Женеве компанией из Швейцарии).

OsiriX доступен в 32-битном и 64-битном формате. 64-битная версия позволяет загружать неограниченное количество изображений, превышающих

лимит в 4-ГБ для 32-битных программных компонентов. 64-битная версия также полностью оптимизируется для многоядерных процессоров Intel, предлагающих наилучшую работоспособность для 3D рендеринга [23].

Также, в качестве сопровождающей программы использовали программу Carestream CS. Программное обеспечение Carestream CS обладает передовыми алгоритмами и приложениями, поэтому врачи могут предоставлять более точные диагнозы и планировать лечение. Данное программное обеспечение чаще всего используют в моделирование имплантатов, эндодонтия, ортогнатическая хирургия и ортодонтия [24].

Рассмотренные выше программы имеют недостатки:

- Годовая подписка OsiriX стоит -41 839 рублей;
- Во время обработки информации занимает много оперативной памяти, вызывая тем самым торможение персонального компьютера;

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Kinect

Появление технологии безмаркерного видеозахвата позволяет реализовать недорогие системы управления изображениями. Наиболее часто для этой цели используется сенсор Microsoft Kinect - бесконтактный сенсорный игровой контроллер, разработанный фирмой Microsoft для игровой консоли Xbox 360, состоящий из аппаратной и программной части, адаптирован для компьютеров под управлением ОС Windows,

Kinect основан на добавлении периферийного устройства к игровой приставке Xbox 360, позволяющий пользователю взаимодействовать с ней через устные команды, позы тела и показываемые объекты или рисунки без помощи контактного игрового контроллера. [25].



Рисунок 9. Камера Kinect

Это горизонтально расположенный блок на круглой подставке. Который может располагаться над экраном или ниже его. Размеры — 25 см в длину и 4 см в высоту. Kinect состоит из двух сенсоров глубины, цветной видеокамеры и микрофонной решетки [26]. Программное обеспечение обрабатывает и осуществляет полное 3-х мерное распознавание мимики лица, движений тела, и распознает голос. Микрофонная решетка позволяет определять локализацию источника звука и имеет систему подавления шумов. Датчик глубины состоит из инфракрасного прожектора, и монохромной КМОП матрицы, с помощью этих двух устройств Kinect получает трёхмерное изображение при любом типе освещения. Диапазон глубины и программа настраиваются, автоматически

калибруется датчик с учётом окружающих условий, например, мебели, которая находится в комнате.

Инфракрасный проектор (IR Emitter) излучая лучи, которые отражаясь от объектов попадают в инфракрасный приемник (IR Depth Sensor), который в свою очередь, регистрирует отраженные инфракрасные лучи, тем самым и определяет расстояние от датчика до объекта создавая матрицу расстояний.

Камера имеет разрешение 640x480 при 30 кадрах в секунду. Цветная камера (Color Sensor) захватывает видео с разрешением 1280x960 при 12 кадрах в секунду. Вертикальный угол обзора 43°, горизонтальный - 57°. Формат изображения может быть RGB или YUV.

В набор микрофонов (Microphone Array) входит четыре микрофона которые могут определять источник звука и обеспечивают подавление шумов. Так же имеется привод наклона (Tilt Motor) -это механический привод, который дает возможность программно корректировать наклон устройства по вертикальной оси в диапазоне  $\pm 27^\circ$ .

Выполненная программная часть позволяет полностью распознавать трехмерные движения тела (Skeletal Tracking), мимику лица (Face Tracking) и речь (Speech Recognition). Для доступа к возможностям устройства используется специальный пакет разработчика Kinect for Windows SDK.

## 2.2 Leap Motion

**Leap Motion** (рус. *Скачкообразное движение*) — это разрабатываемая технология, основанная на захвате движения, для человеко-компьютерного взаимодействия [27].



Рисунок 10. Leap Motion

The Leap — это небольшое USB-устройство, разработанное для стола пользователей, рабочей частью располагается вверх, тем самым создавая 3D-область взаимодействия объёмом около  $227 \text{ дм}^3$  (то есть мнимом кубе со стороной 61 см). Внутри этой области The Leap отслеживает движение пальцев и рук, карандашей, ручек, палочек для еды с большой точностью.

Область видимости устройства составляет 120 градусов в глубину (по оси Z) и 150 градусов в ширину (по оси X). Высота видимости (по оси Y), максимально 25 см и ее можно изменять в настройках программного обеспечения, которое идет в комплекте. Внутри находятся две инфракрасные камеры и три мощных инфракрасных светодиода. Инфракрасные (ИК) диоды подсвечивают руки, а инфракрасные камеры делают их захват передавая изображения программному обработчику Leap Motion. На программном уровне в бой вступают математические алгоритмы, которые выделяют контуры рук, и отслеживают координаты пальцев. Начиная с версии SDK 2.0., Leap Motion научился выделять составные части руки, проще говоря алгоритм определяет кости рук и запястье, отслеживает их перемещение в пространстве. Таким

образом, открываются новые горизонты для расширения базы распознаваемых жестов [28].

Контроллер способен отслеживать движения пальцев с точностью до 0,01 мм. Это не только гарантирует идеальное выполнение команд, но и позволяет рисовать мелкие детали или с ювелирной точностью двигать по экрану персонажа компьютерной игры.

Габариты контроллера- 76\*30,4 \* 12,7мм, вес 45г. Благодаря габаритом аппаратной части, Leap Motion Controller является более мобильным, чем Kinect.

Kinect распознает жесты с большой амплитудой (взмах рукой), в то время как Leap Motion более чувствителен и способен распознавать движение пальцев. Поэтому Kinect в данном разрабатываемом комплексе будет ответственен за переключениями между “сценами” (например, DICOM изображения, 3D-модель), а Leap Motion для более детального изучения той или иной “сцены”.

### 2.3. DICOM изображения

DICOM (англ. *Digital Imaging and Communications in Medicine*) — отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов [29].

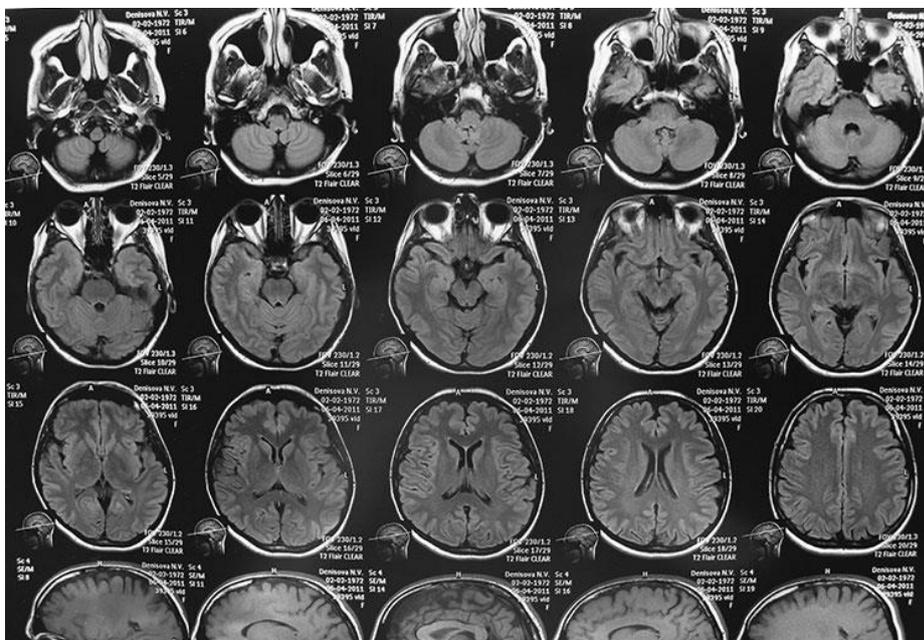


Рисунок 11. DICOM изображения

DICOM – это стандарт обработки, хранения, печати и передачи информации в системах медицинской визуализации. Он включает описание формата файлов и сетевой протокол. Сетевой протокол использует TCP/IP в своей основе для коммуникации между системами. Также, системы, поддерживающие чтение и запись файлов DICOM, могут обмениваться между собой файлами в формате DICOM. Владельцем стандарта является американская организация National Electrical Manufacturers Association (NEMA). Он разрабатывается комитетом стандарта DICOM, состоящим из нескольких рабочих групп (WG).

DICOM позволяет осуществлять интеграцию сканеров, серверов, рабочих станций, принтеров, и сетевого оборудования множества различных производителей в единую систему PACS (picture archiving and communication system, система архивации и передачи изображений). Различные устройства поставляются совместно с документом, называемым DICOM conformance

statement (описание соответствия стандарту), который описывает, как и какие функции выполняет поставляемое устройство. [30].

Стандартом DICOM определено два информационных уровня:

- файловый уровень — *DICOM File* — объектный файл с теговой организацией для представления кадра изображения (или серии кадров) и сопровождающей/управляющей информации (в виде DICOM тегов);
- сетевой (коммуникационный) — *DICOM Network Protocols* — для передачи DICOM файлов и управляющих DICOM команд по сетям с поддержкой TCP/IP.

DICOM File представляет собой объектно-ориентированный файл с теговой организацией. Информационная модель стандарта DICOM для DICOM файла четырёхступенчатая [31]:

- пациент → исследование → серия → изображение (кадр или серия кадров).

Файловый уровень стандарта DICOM 3.0 редакции включает в себя:

1. Атрибуты и демографические данные пациента;
2. Модель и фирму производителя аппарата, на котором проводилось обследование;
3. Атрибуты медицинского учреждения, где было проведено обследование;
4. Атрибуты персонала, проводившего обследование пациента;
5. Вид обследования и дата/время его проведения;
6. Условия и параметры проведения исследования пациента;
7. Параметры изображения или серии изображений, записанных в DICOM-файле;
8. Уникальные ключи идентификации Unique Identifier (UID) групп данных, описанных в DICOM-файле;

9. Изображение, серию или набор серий, полученных при обследовании пациента;
10. Представление, в первую очередь, PDF-документов в DICOM-файле;
11. Представление DICOM-записи на оптические носители, включая DVD формат;
12. DICOM-протокол для передачи/приема по TCP/IP компьютерным сетям.

#### *2.4. Этапы построения 3D моделей*



Рисунок 12. Информационное сопровождение хирургической операции

Как показано на рисунке 12, в системе можно выделить шесть основных этапов. На первом этапе происходит формирование набора медицинских изображений для оцифровки зоны интереса пациента. Для этого необходимо большое количество снимков (срезов) объекта с разных ракурсов, для чего используется ряд методов визуализации, таких как компьютерная, магнитнорезонансная, позитронно-эмиссионная томография, рентген, ультразвук [32, 33]. Следует отметить, что качество и точность реконструируемой 3D-модели зоны интереса будут напрямую зависеть от качества полученных первичных медицинских изображений, поэтому необходимо уделить максимально пристальное внимание выбору визуализации и оборудования, а также составлению корректной процедуры первичного

сканирования. Полученный набор 2D-срезов, в подавляющем большинстве современных аппаратов для медицинской визуализации, сохраняется в формате DICOM [33]. На втором этапе набор полученных 2D-изображений в DICOM-формате подвергается обработке с целью улучшения их качества, а именно для повышения контрастности и четкости, фильтрации шумов и так далее. Для задач улучшения качества первичных медицинских изображений применяются адаптивные фильтры изображений, многоуровневые нелинейные операторы, Фурье-дескрипторы и гибридные фильтры [34].

После улучшения качества набора 2D-изображений, на третьем этапе, происходит регистрация улучшенных медицинских изображений с целью их приведения к единой системе координат и выполнения сегментации, для формирования точной анатомической компьютерной 3D-модели. В настоящее время разработано большое количество алгоритмов сегментации с применением методов, основанных на использовании локальных порогов и оттенков серого, на гистограммах, пиксельной корреляции, наращивании областей, сжатии, дереве квадрантов, дифференциальных уравнениях в частных производных и многих других [35,36]. На четвертом этапе, представленном на рисунке 14, реконструированная 3D - модель используется хирургом либо вспомогательным персоналом для детального осмотра зоны интереса с целью анализа ее геометрических размеров, расположения органов друг относительно друга, выявления аномалий и отклонений в строении. Для более точной диагностики зон интереса с мелкими органами, например, кровеносными сосудами, требуются медицинские изображения высокого пространственного разрешения. Следует отметить, что кроме диагностики, проводимой человеком, перспективной задачей является разработка методов автоматического сравнения сформированной компьютерной 3D-модели зоны интереса пациента с заранее подготовленными наборами 3D-моделей, соответствующих органам с патологиями и без таковых. В результате подобного сравнения автоматически формируется диагноз пациента, который в дальнейшем может быть верифицирован врачом. После реконструкции компьютерной 3D-модели и

формирования диагноза, на пятом этапе, происходит импортирование модели в CAD-систему для предоставления хирургу возможности проведения манипуляций над ней с целью планирования оптимального хирургического вмешательства. При необходимости, если того требует, характер травмы или патологии пациента, в CAD-системе по полученной 3D-модели зоны интереса возможна разработка идеальной, персонифицированной 3D-модели имплантата.

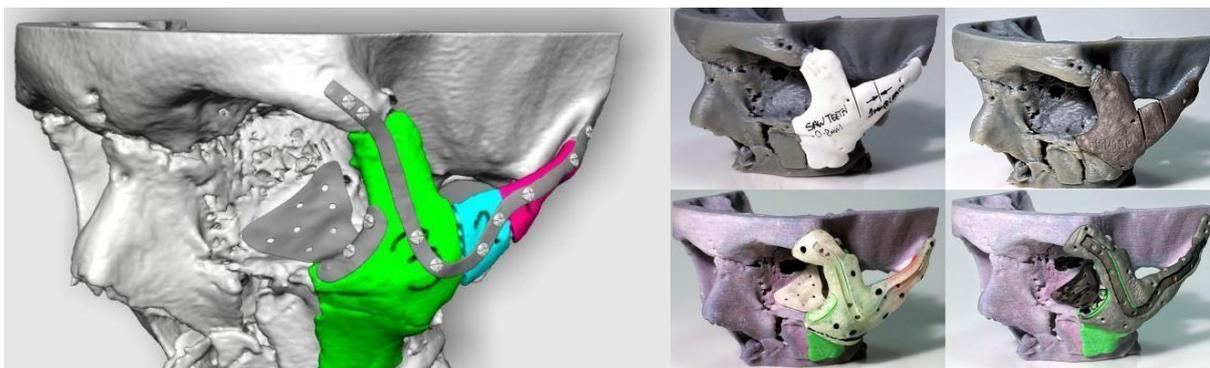


Рисунок 13. 3D модель

На заключительном этапе компьютерная 3D-модель зоны интереса пациента, а при необходимости и модель имплантата, может быть создана с использованием современных систем быстрого прототипирования.

## 2.5. Программы для построения 3D моделей

### 2.5.1. Slicer 3D

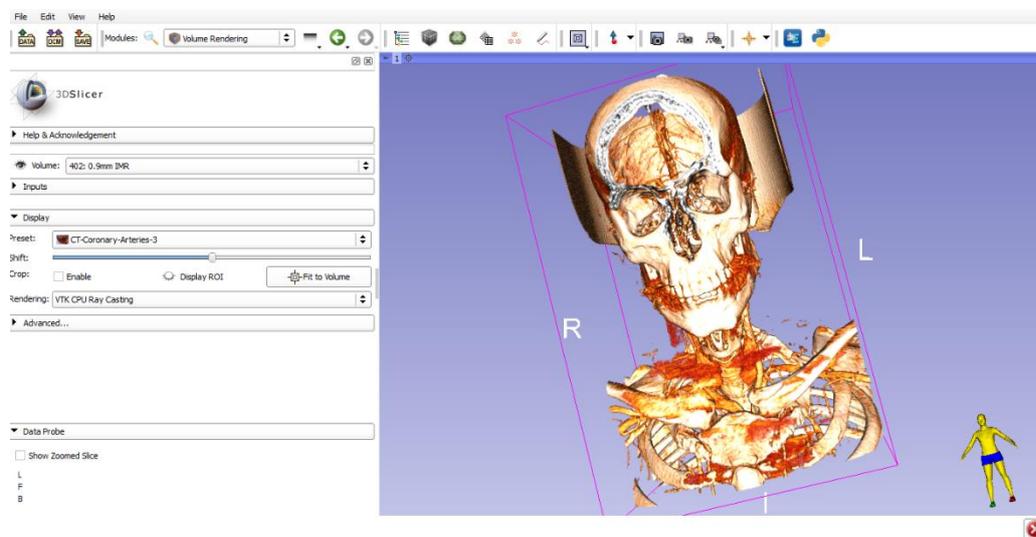


Рисунок 14. Интерфейс программы 3D Slicer

3D-Slicer – общедоступный свободный пакет программ для анализа изображений и научных визуализаций. 3D-Slicer можно использовать во множестве медицинских исследований, а также его можно легко расширить для более интерактивных инструментов и инструментов пакетной обработки данных. Так как 3D-Slicer имеет открытую лицензию, значит, ограничений в использовании программного обеспечения нет. [37]

3D-Slicer может быть легко расширен для развития интерактивных и пакетных инструментов обработки для различных приложений. 3D-Slicer может обеспечивать регистрацию изображений, интерфейс для внешних устройств, GPU с поддержкой объема, наряду с другими возможностями, обработку DTI (диффузионная трактография). 3D Slicer имеет модульную организацию, которая позволяет легко добавлять новые функциональные возможности и предоставляет ряд общих возможностей, не доступных в конкурирующих инструментах. Интерактивные возможности визуализации 3D-Slicer включают в себя возможность отображения произвольно ориентированных кусочков изображения, создание поверхности и высокую производительность визуализации объема. 3D-Slicer также поддерживает широкий набор аннотаций

Slicer составлен для использования на различных платформах, включая Windows, Linux и Mac OS X. [38]

### 2.5.2. *Gimias*

Gimias – это программа ориентированная для построения биомедицинских изображений и 3D- моделирования. У программы открытый исходный код, плагины, позволяющие расширять возможности. Ориентирован на создание научно - исследовательских и клинических 3D моделей. Gimias нашел свое применение в визуализации кровеносных сосудов, кардиологии, неврологии [39].

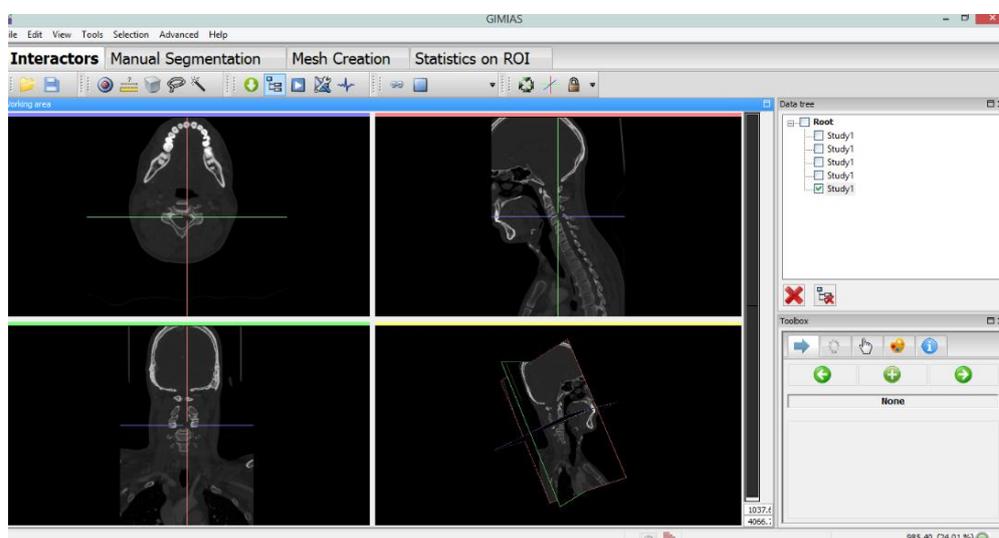


Рисунок 15. Интерфейс программы Gimias

GIMIAS имеет графический интерфейс для медицинского анализа изображений и моделирования. Особенности GIMIAS:

- Поддержка различных методов визуализации;
- Визуализация биомедицинских данных 2D и 3D;
- Несколько поддерживаемых форматов: DICOM , VTK, STL;
- Movie: воспроизведение, пауза, регулировка скорости;
- Клиническая навигация рабочего процесса, которая может помочь пользователю перемещаться от данных пациента к полезной информации для лечения пациентов.
- Другие дополнительные инструменты для сегментации изображений, обработки сетки и сигнала навигации.

GIMIAS это гибкая среда разработки, которая позволяет создавать медицинские модели, исследования, фантомы, используя различные подключаемые плагины, которые могут быть загружены. Программное обеспечение доступно на Windows , и Linux , 64-бит и 32-бит [40].

## *2.6. Unity 3D*

Исходя из выше описанных методов и материалов, может сформулировать требования, которым должен отвечать пакет компоновки сцен:

1. Возможность с нуля создать трехмерную модель любой сложности и возможность импорта готовой модели;
2. Возможность создать трехмерную сцену используя модели пакета Slicer3D, GIMIAS;
3. Поддержка устройства ввода Microsoft Kinect, Leap Motion ;

На данный момент отвечает всем требованиям, unity 3D который представляет собой инструмент для разработки двух - и трёхмерных приложений, работающий под операционными системами Windows, OS X, Linux. Приложения созданные с помощью Unity работают под многими операционными системами, например как: Windows, OS X, Windows Phone, Android, Apple iOS, Linux, а также на игровых приставках Wii, PlayStation 3, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One. Unity3D позволяет нам создавать трехмерные сцены достаточной сложности, используя модели в формате пакета Gimias и 3DSlicer и создавать исполняемые файлы. [41]

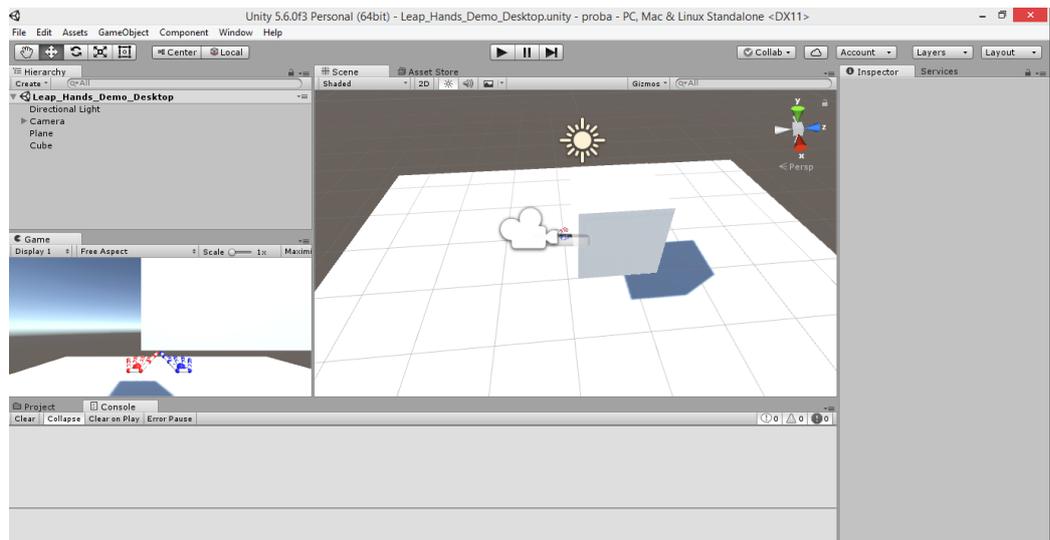


Рисунок 16. Интерфейс программы Unity 3D

Редактор Unity обладает простым Drag&Drop интерфейсом, состоящий из различных окон, которые легко настраиваемые. Движок поддерживает три сценарных языка: C#, JavaScript(модификация), Boo (диалект Python). Расчёты физики производит физический движок PhysX от NVIDIA.

Проект в Unity делится на сцены (уровни) — отдельные файлы, содержащие свои игровые миры со своим набором объектов, сценариев, и настроек. Сцены могут содержать в себе как, собственно, объекты (модели), так и пустые объекты — объекты, которые не имеют модели («пустышки»). Объекты, в свою очередь содержат наборы компонентов, с которыми и взаимодействуют скрипты. Также Unity поддерживает физику твёрдых тел и ткани, а также физику типа Ragdoll (тряпичная кукла). В редакторе имеется система наследования объектов; дочерние объекты будут повторять все изменения позиции, поворота и масштаба родительского объекта. Скрипты в редакторе прикрепляются к объектам в виде отдельных компонентов [42].

### 3. *Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение*

Цель раздела – комплексное описание и проведения анализа финансовоэкономических аспектов выполненной работы. Необходимо провести расчет полных денежных затрат на исследование, а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

#### 4.1. *Предпроектный анализ*

##### 4.1.1 *Потенциальные потребители результатов исследования*

Разрабатываемый программный комплекс предназначен для единственной области применения -это медицина, а точнее хирургия.

Исходя из вышеописанного можно составить карту сегментирования рынка

Таблица 4.1. -Карты сегментирования рынка

	Для чего используется	
	Исследования	Сопровождение операций
Физические лица		
Научно – исследовательские центры		
Медицинские учреждения		



Сегмент освоен  
 Сегмент освоен слабо  
 Сегмент не освоен или информация не найдена

Несмотря на эти данные, для реализации и внедрения устройства имеется большой потенциал, так как данное устройство облегчит для хирургов проведение операций и не будет нарушать условие асептики в операционных.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Во всем мире нет коммерческих аналогов разрабатываемого комплекса. В США есть аналог только на научно-исследовательском этапе это Kinect Fusion, а также как иностранный аналог Leap Motion с программным обеспечением Osirix а в России таковых нет.

Разрабатываемый комплекс является перспективным, поскольку позволяет врачам управлять необходимыми 3D-моделями, DICOM изображениями, не нарушая условия асептики.

#### **4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации**

При разработке оборудования полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации и выявить возможность ее самостоятельного проведения или завершения. Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 4.2 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (4.1.1.)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Таблица 4.2 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

<b>Наименование</b>	<b>Степень проработанности научного проекта</b>	<b>Уровень имеющихся знаний у разработчика</b>
1.Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.Определены перспективные направления коммерциализации	4	3
3.Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2

4.Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5.Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8.Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>27</b>	<b>26</b>

На основе данных, представленных в таблице 4.2, можно говорить о том, что проект не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

Проводить анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения удобно с помощью оценочной карты (таблица 4.3). Это необходимо для оценки сравнительной эффективности научной разработки и определения направления ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1.3, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для разрабатываемого комплекса являются: Leap Motion с использованием программного обеспечения Osirix, Kinect Fusion

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.2)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 4.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений(разработок)

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
	критерия	$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
3. Помехоустойчивость	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
4. Энергоэкономичность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
5. Надежность	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
6. Уровень шума	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
7. Безопасность	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
9. Простота эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06
11.Массогабаритные параметры устройства	0,02	3	3	3	0,06	0,06	0,06
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	2	0,16	0,12	0,08
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	3	2	0,06	0,09	0,06
3. Цена	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12

4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,02	1	3	3	0,02	0,06	0,06
7. Наличие сертификации разработки	0,09	2	5	5	0,18	0,45	0,45
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>71</b>	<b>65</b>	<b>59</b>	<b>4,14</b>	<b>3,66</b>	<b>3,41</b>

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод, что разрабатываемый комплекс на данном этапе достаточно конкурентоспособен. Разрабатываемый проект является перспективным, поскольку главными его преимуществами являются высокая надёжность его работы, простота в использовании и доступность.

## **4.2 Инициация проекта**

### **4.2.1 Цели и результаты проекта**

В таблице 4.4 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 4.4 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель по проекту	Повышения уровня квалификации благодаря работе в научной сфере.
Организация заказчик	Использование результатов интеллектуальной деятельности для повышения конкурентоспособности организации
Спонсор проекта	Развитие российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 4.5 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 4.5. – Цели и результаты проекта

<b>Цели проекта:</b>	разработка программы для безконтактной навигации по плану операции
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение готового и рабочего прототипа комплекса
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Хорошая отзывчивость, точность и работоспособность системы
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Хорошая отзывчивость
	Точность распознавания жестов
	Работоспособность системы

#### ***4.2.2 Организационная структура проекта***

В таблице 4.6 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 4.6 – Рабочая группа проекта

<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудозатраты, день</b>
1. Научный руководитель	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта, помощь при освоении новых технологий, участие в обсуждениях по результатам работы	20
2. Студент	Обзор литературы о существующих технологиях использования контроллеров для сопровождения хирургических операций, освоения методики построения 3D моделей, необходимая настройка устройства, изучения программы для осуществления управления 3D моделями, участие в обсуждениях по результатам работы	75
<b>ИТОГО:</b>		95

### **4.2.3 Ограничения и допущения проекта**

Данные об ограничениях и допущениях проекта представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/допущения</b>
1. Бюджет проекта	50168 р.
1.1. Источник финансирования	Кафедра медицинской и биологической кибернетики, СибГМУ
2. Сроки проекта	01.03.2016-15.06.2017
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.03.2017
2.2. Дата завершения проекта	17.06.2017
3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное время работы за ПК, связанное с вредным влиянием ЭМ излучения

## **4.3 Планирование управления научно-техническим проектом**

### **4.3.1 План проекта**

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения.

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ. В таблице 5.8 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Целесообразно применять линейное планирование с построением диаграммы Ганта, представленной в таблице 5.9. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Код работы (из ИСР)	Вид работы	Исполнители	Период работы научного руководителя		Период работы инженера	
			Начало, дата	Длительность, дни	Начало, дата	Длительность, дни
1	Постановка задачи	НР	09.01.2017	1	-	-
2	Анализ технического задания (ТЗ)	НР, С	27.02.2017	1	27.02.2017	3
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	С	-	-	05.03.2017	10
4	Изучение методы 3D-моделирования	С	-	-	15.03.2017	3
5	Изучения программ для 3D-моделирования	С	-	-	18.03.2017	8
6	Выбор платформы для реализации проекта	С	-	-	25.03.2017	3
7	Поиск пакетов алгоритмов и объектов для решения задач визуализации	НР, С	10.04.2017	3	28.03.2017	12
8	Написание скриптов для определения сценариев поведения объектов	НР, С	13.04.2017	1	13.04.2017	1
9	Испытание полученных результатов	НР, С	14.05.2017	10	14.04.2017	41
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	С	-	-	25.05.2017	10
11	Сдача разработки и отчета о работе	НР, С	04.06.2017	11	04.06.2017	11

В таблице 4.9, которая представляет собой диаграмму Ганта, приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 4.9. – Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Постановка задачи	1	-	■													
Анализ технического задания (ТЗ)	1	3			■											
Подбор и изучение литературы по теме исследования	-	10				■	■									
Изучение методы 3D-моделирования	-	3					■									
Изучения программ для 3D-моделирования	-	8					■	■								
Выбор платформы для реализации проекта	-	3						■								
Поиск пакетов алгоритмов и объектов для решения задач визуализации	3	12						■	■	■						
Написание скриптов для определения сценариев поведения объектов	1	1							■							
Испытание полученных результатов	10	41							■	■	■	■	■	■	■	
Оформление расчетно-пояснительной записки	-	10													■	■
Сдача разработки и отчета о работе	11	11													■	■

■ - НР (Научный руководитель); ■ - С (Студент)

### 4.3.2 Бюджет научного исследования

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

#### *Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия*

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из стоимости приобретения и платы за транспортировку. Транспортно – заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 4.10.

Таблица 4.10. – Специальные оборудования, комплектующие изделия

<b>Наименование материалов</b>	<b>Цена за ед., руб.</b>	<b>Количество</b>	<b>Сумма, руб.</b>
Kinect	7790	1 шт	7790
Leap Motion	4990	1 шт	4990
Компьютер	34999	1 шт	34999
<b><i>Всего за материалы:</i></b>			47779
<b><i>Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)</i></b>			2389
<b><i>Итого по статье С<sub>м</sub></i></b>			50168

### 4.3.3. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада (МО) исполнителя.

$$C_{ЗП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.3.1)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.3.2)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.3.3)$$

Где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней.

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	110	110
Количество нерабочих дней: - выходные дни - праздничные дни	20 3	32 3
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	87	75

Для учета премий в составе заработной плате, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$ ;  $K_{\text{р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от базовой суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ .

Вышеуказанное значение  $K_{\text{доп.ЗП}}$  применяется при 6-ти дневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае  $K_{\text{и}}=1,592$

Расчеты затрат на заработную плату приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Средняя дневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/п, руб.
Научный руководитель	23264	912,3	20	1,669	30452,5
Инженер	14874	583,2	75	1,592	69634,8
Итого:					100086,5

#### **4.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала**

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.3.4)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.13 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.13 – Заработная плата исполнителей НИР

<b>Заработная плата</b>	<b>Научный руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Основная зарплата	30452,5	69634,8
Дополнительная зарплата	3045,2	6964,3
Зарплата исполнителей	33497,7	76608,1
<i>Итого по статье С<sub>зн</sub></i>	110105,8	

#### **4.3.5. Отчисления на социальные нужды**

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды, такие как ПФ страх который равен – 22%, ФФОМС – 5,1%, ФСС по временной нетрудоспособности и в связи с материнством- 2,9%, ФСС НС -0,2%-8,5%(в данном случае берем 0,2% так как при разработке нет опасных факторов). Следовательно, общий коэффициент отчисления будет равен 30,2%

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.3.5)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды,

$$C_{\text{ВНЕБ}} = 0,302 \cdot (110105,8) = 33251,9 \text{ рублей}$$

#### 4.3.6. Накладные расходы

В данную статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, содержание, эксплуатацию, ремонт оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Коэффициент накладных расходов составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{НАКЛ}} = k_{\text{НАКЛ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}), \quad (4.3.6)$$

где  $k_{\text{НАКЛ}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{НАКЛ}} = 0,8 \cdot (110105,8) = 88084,6 \text{ рублей} \quad (4.3.7)$$

#### 4.3.7. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 4.14 - Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма,руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	0
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	110105,8
Дополнительная заработная плата	$C_{\text{доп}}$	10009,5
Отчисления на социальные нужды	$C_{\text{соц}}$	33251,9
Накладные расходы	$C_{\text{накл}}$	88084,6
<b>Итого:</b>		241451,8

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 241451,8$  рублей

#### 4.4. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (5.4.1)$$

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.4.2)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Leap Motion+Osirix	Kinect Fusion
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	3

3.Помехоустойчивость	0,2	4	4	4
4.Энергосбережение	0,15	4	4	4
5.Надежность	0,3	5	4	4
6.Материалоемкость	0,1	2	2	2
ИТОГО	1	24	22	20

$$I_{\text{тп}}=0,1*4+0,15*5+0,2*4+0,15*4+0,3*5+0,1*2=4,25,$$

$$I_{\text{р+о}}=0,1*4+0,15*4+0,2*4+0,15*4+0,3*5+0,1*2=4,1,$$

$$I_{\text{кф}}=0,1*3+0,15*3+0,2*4+0,15*4+0,3*3+0,1*2=3,25,$$

Следовательно, интегральный показатель равен 4,25. Текущий проект имеет самый высокий интегральный показатель, что указывает на то, что среди существующих аналогов лучше на данный момент пока что нет.

#### **4.5. Вывод**

Эффективность данного проекта заключается в том, что эта работа позволяет уменьшить риски операционных ошибок, а также нежелательных исходов операций. Разрабатываемый комплекс позволяет сократить время подготовки, а также упростить процесс информационного сопровождения хирургического вмешательства, и соответственно уменьшить стоимость лечения.

Проведя предпроектный анализ, была составлена карта сегментирования рынка, из которой видно, что основная ниша — это хирургия. Так же был проведен анализ конкурентных технических решений рассматривали существующие аналоги текущего проекта, такие как, Leap Motion совместно с программным обеспечением Osirix, Kinect Fusion. Была составлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений, вывод из которой можно сделать, что разрабатываемый комплекс конкурентоспособен, даже лучше некоторых аналогов.

В инициации проекта была представлена информация о заинтересованных сторонах проекта, то есть это, руководитель проекта, исполнитель по проекту, организация/заказчик, спонсор проекта. Представили иерархию целей проекта и критерий достижения целей, привели информацию о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатрат каждого. Так же были рассмотрены ограничение и допущения проекта, такие как, бюджет-50168р, сроки проекта 01.03.2017-15.06.2017, дата утверждения плана управления проектом-01.03.2017 и дата завершение проекта-17.06.2017, а также ограничение по времени работы за персональным компьютером (данное ограничение связано с негативным влиянием ЭМ излучения на человека).

Зная информацию о рабочей группе проекта, ролях, функциях, был составлен календарный план, в котором были приведены основные этапы и содержания работ с распределением ответственных исполнителей, так же

была составлена диаграмма Ганта, на которой можно наглядно увидеть занятость исполнителей на том или ином этапе.

Так же был проведен расчет бюджета научного исследования, который составил 50168 рублей. Статья расходов включает заработную плату научного руководителя и исполнителя проекта – 100085,5 рублей. Рассчитали дополнительную заработную плату научно-производственного персонала, которая составила 110105,8 рублей. Был произведен расчет отчислений во внебюджетные фонды, это 30,2% с основной и дополнительной зарплатой, что составляет 33251,9 рублей. Произведя расчет общей себестоимости разработки, которая включает в себя затраты на материалы и покупные изделия, основную заработную плату, дополнительную заработную плату, отчисления на социальные нужды, а также накладные расходы (которые составили 88084,6 рубля), получается 241451,8 рубля. Что является самым дешевым среди аналогов.

Проведя оценку сравнительной эффективности исследования, интегральный показатель текущего проекта составил 4,25, в то время как интегральные показатели конкурентов составили Leap Motion с программным обеспечением Osirix 4,1 и Kinect Fusion 3,25, следует сделать вывод, что данная разработка является самой дешевой и эффективной на сегодняшний момент. Так же, при использовании в дальнейшем, разрабатываемого комплекса, не будет затратным, так как не требуется расходных материалов, замену составляющих (провода). Используемые устройства достаточно надежны для долгой эксплуатации.

### *Список публикаций*

Битуева С.И., Щаденко С.В., Использование трехмерной реконструкции для планирования и сопровождения хирургических операций// IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием "Инженерия для освоения космоса" фгаоу во "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" Институт неразрушающего контроля, Томск 2016 год;