

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică

Departamentul Ingineria Software și Automatică

Programul de studii Automatică și Informatică

Admis la susținere

Şef departament ISA:

conf. univ., dr. I. Fiodorov

“____” mai 2022

Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computinizate în timp real

3D modeling of hematoma based on real-time computed tomography data

Proiect de licență

Student: *Drouță*

**Diulgher Artiom,
student gr. AI-183**

Coordonator: *M. Balabanov*

**Balabanov Anatoli, conf.
academic RAŞN., dr. hab,**

Consultanți: *Palea moșcovei*

**Popovici Nadejda,
asist. univ., mag,**

Izvoreanu

**Izvoreanu Bartolomeu,
conf. univ., dr.**

Chișinău, 2022

6. Lista consultanților:

Consultant	Capitol	Confirmarea realizării activității	
		Semnătura consultantului (data)	Semnătura studentului
N. Popovici	Fiabilitatea și eficiența tehnico-economică a proiectului	<i>N. Popovici</i>	<i>D. Dumitru</i>
B. Izvoreanu/ I. Cojuhari	Controlul calității, Standarde	<i>B. Izvoreanu</i>	<i>D. Dumitru</i>

7. Data înmânării caietului de sarcini 10.09.2021

Coordonator *Balabanov Anatoli*

semnătura

Sarcina a fost luată pentru a fi executată de către studentul *Diulgher Artiom*

D. Dumitru 23.05.2022

semnătura, data

PLAN CALENDARISTIC

Nr. crt.	Denumirea etapelor de elaborare/proiectare	Termenul de realizare a etapelor	Nota
1	Создание структуры проекта	02.11.21	9%
2	Изучение исходных данных	24.12.21	15%
3	Изучение методов создания 3D модели	20.01.22	20%
4	Создание грубой 3D модели	10.02.22	30%
5	Изучение алгоритмов сглаживания модели	21.02.22	50%
6	Решение задачи о наилучших точках	25.03.22	80%
7	Надежность и технико-экономическая эффективность проекта	15.04.22	90%
8	Завершение оформления отчета пояснительной записки	06.05.22	100%

Student *Diulgher Artiom*

D. Dumitru

semnătura

Conducător de proiect/teză de licență *Balabanov Anatolii*

semnătura

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Ingineria Software și Automatică
Programul de studii Automatică și Informatică

AVIZ
la proiectul/teza de licență

Titlul: Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computirizate în timp real.

Studentul ***Diulgher Artiom*** grupa AI-183

1. Actualitatea temei: Тема дипломной работы предназначена для создания Программного обеспечения информационного инструмента для быстрой диагностики гематомы головного мозга на этапе предварительной обработки результатов КТ и обеспечения хирурга он-лайн информацией о текущем состоянии гематомы в процессе операции. Скорость диагностики может быть критически важна как для самого пациента, так и для хирурга.

2. Caracteristica proiectului/tezei de licență: Создание программного обеспечения для создания и анализа 3D компьютерной модели гематомы головного мозга.

3. Analiza prototipului: Программное обеспечение представляет собой серию программ, написанных на языке программирования Python.

4. Estimarea rezultatelor obținute: В дипломном проекте была создана действующая программа, способная построить 3D компьютерную динамическую модель гематомы мозга, хорошего визуального и пользовательского качества с возможностью просмотра (вращения) «картинки» в желательном ракурсе, и с минимальной потерей полезной информации.

5. Corectitudinea materialului expus: Материал написан в соответствии с стандартами написания дипломной работы в Республике Молдова

6. Calitatea materialului grafic: Модели, изображенные на рисунках, достаточно информативны, и представляются в разных ракурсах.

7. Valoarea practică a proiectului/tezei: Дипломант консультировался со специалистами-хирургами для создания удобного пользовательского интерфейса, а так же им был написан большой объем программного кода.

8. Observații și recomandări: Программное обеспечение может быть улучшено внедрением алгоритмов на основе нейронной сети.

9. Caracteristica studentului și titlul conferit: Дипломант Дюльгер Артем показал себя, как хорошо знающий теорию и практику программист. Он творчески воспринимает новые технологии и умеет их использовать их в процессе программирования.

Lucrarea în forma electronică corespunde originalului prezentat către susținere publică.

Coordonatorul proiectului/tezei de licență

Academic. RAŞN., dr. hab., prof. Balabanov Anatolii,

(titlul științifico-didactic, titlul științific, semnătura, data, numele, prenumele)

Declarația studentului

Subsemnatul Diulgher Ardiam declară pe proprie răspundere, că lucrarea de fată este rezultatul muncii mele, realizată pe baza propriilor cercetări și pe baza informațiilor obținute din surse care au fost citate și indicate consoară normelor etice în note și în bibliografie.

Declar, că lucrarea mi-a mai fost prezentată sub această formă la nici o instanță de învățământ în vederea obținerii titlului indicat licențiat

Semnatura autorului 

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	6
1.1 Введение	7
1.2 Получение DICOM файлов	7
1.3 Анализ DICOM файлов	7
1.4 Извлечение изображений из DICOM файлов.....	9
1.5 Идентификация области гематомы на изображении.....	10
2 ПОСТРОЙКА 3D МОДЕЛИ ГЕМАТОМЫ.....	11
2.1 Введение	11
2.2 Чтение области гематомы из изображений	12
2.3 Построение грубой 3D модели гематомы	13
2.4 Сглаживание 3D модели гематомы.....	15
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШИХ ТОЧЕК ДОСТУПА К ГЕМАТОМЕ	22
3.1 Описание инструментов доступа и удаления гематомы.....	22
3.2 Определения поля доступа инструментов.....	23
3.3 Идентификация направления доступа к гематоме	24
3.4. Определение объёма гематомы	27
3.5 Определение максимального доступного объема гематомы для одной точки...	28
3.6 Определение максимального доступного объема гематомы для двух точек	29
4 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАН КОМПЬЮТЕРА	31
5 РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	35
6 НАДЕЖНОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	
ПРОЕКТА	38
6.1 Надежность системы	38
6.2 Материальные и нематериальные активы.....	41
6.3 Прямые затраты	41
6.4 Затраты на оплату труда.....	42
6.5 Косвенные затраты	43

Mod.	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	UTM 0714.6.002 ME			
Elaborat	A. Diulgher	<i>Диулгер</i>				Litera	Coala	Coli
Conducător	A. Balabanov	<i>Балабанов</i>					10	58
Consultant	N. Popovici	<i>Попович</i>			Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computiziratate în timp real			
Contr. norm.	B. Izvoreanu	<i>Изворяну</i>			UTM FCIM AI - 183			
Aprobat	I. Fiodorov							

Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computirizate în timp real

Student:

**Diulgher Artiom,
student gr. AI-183**

Conducător:

**Balabanov Anatolii,
academic RASN., dr. hab.**

Chișinău, 2022

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică

Departamentul Ingineria Software și Automatică

Programul de studii Automatică și Informatică

Admis la susținere

Şef departament ISA:

conf. univ., dr. I. Fiodorov

“___” mai 2022

Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computirizate în timp real

3D modeling of hematoma based on real-time computed tomography data

Proiect de licență

Student:

**Diulgher Artiom,
student gr. AI-183**

Coordonator:

**Balabanov Anatoli, conf.
academic RAŞN., dr. hab,**

Consultant:

**Popovici Nadejda,
asist. univ., mag,**

**Izvoreanu Bartolomeu,
conf. univ., dr.**

Chișinău, 2022

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Ingineria Software și Automatică
Programul de studii Automatică și Informatică**

Aprob
Şef departament ISA:
conf. univ., dr. I. Fiodorov

„____” __ mai ____ 2022

CAIET DE SARCINI pentru proiectul/teza de licență al studentului

Diulgher Artiom

- 1. Tema proiectului/tezei de licență** Modelarea 3D ahematomei în baza datelor tomografice computirizate în timp real **confirmată prin hotărârea**.

Consiliului facultății nr. 2 din „29” octombrie 2021.

- 2. Termenul limită de prezentare a proiectului/tezei de licență „10” mai 2022.**

- 3. Date inițiale pentru elaborarea proiectului/tezei de licență**

В качестве начальных данных для работы были использованы снимки компьютерной томографии в виде DICOM файлов, хранящихся на CD дисках.

4. Conținutul memoriului explicativ

1. Введение.
2. Постановка задачи.
3. Обработка исходных данных.
4. Определение наилучших точек доступа к гематоме.
5. Вывод информации на экран компьютера.
6. Руководство пользователя ПО.

5. Conținutul părții grafice a proiectului

Изображения, таблицы.

6. Lista consultanților:

Consultant	Capitol	Confirmarea realizării activității	
		Semnătura consultantului (data)	Semnătura studentului
N. Popovici	<i>Fiabilitatea și eficiența tehnico-economică a proiectului</i>		
B. Izvoreanu/ I. Cojuhari	<i>Controlul calității, Standarde</i>		

7. Data înmânării caietului de sarcini 10.09.2021

Coordonator Balabanov Anatoli

semnătura

Sarcina a fost luată pentru a fi executată de către studentul Diulgher Artiom

semnătura, data

PLAN CALENDARISTIC

Nr. crt.	Denumirea etapelor de elaborare/proiectare	Termenul de realizare a etapelor	Nota
1	Создание структуры проекта	02.11.21	9%
2	Изучение исходных данных	24.12.21	15%
3	Изучение методов создания 3D модели	20.01.22	20%
4	Создание грубой 3D модели	10.02.22	30%
5	Изучение алгоритмов сглаживания модели	21.02.22	50%
6	Решение задачи о наилучших точках	25.03.22	80%
7	Надежность и технико-экономическая эффективность проекта	15.04.22	90%
8	Завершение оформления отчета пояснительной записи	06.05.22	100%

Student Diulgher Artiom

semnătura

Conducător de proiect/teză de licență Balabanov Anatolii

semnătura

DECLARAȚIA

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Ingineria Software și Automatică
Programul de studii Automatică și Informatică

AVIZ
la proiectul/teza de licență

Titlul: Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computirizate în timp real.

Studentul ***Diulgher Artiom***

grupa AI-183

- 1. Actualitatea temei:** Тема дипломной работы предназначена для создания Программного обеспечения информационного инструмента для быстрой диагностики гематом головного мозга на этапе предварительной обработки результатов КТ и обеспечения хирурга он-лайн информацией о текущем состоянии гематомы в процессе операции. Скорость диагностики может быть критически важна как для самого пациента, так и для хирурга.
- 2. Caracteristica proiectului/tezei de licență:** Создание программного обеспечения для создания и анализа 3D компьютерной модели гематомы головного мозга.
- 3. Analiza prototipului:** Программное обеспечение представляет собой серию программ, написанных на языке программирования Python.
- 4. Estimarea rezultatelor obținute:** В дипломном проекте была создана действующая программа, способная построить 3D компьютерную динамическую модель гематомы мозга, хорошего визуального и пользовательского качества с возможностью просмотра (вращения) «картинки» в желательном ракурсе, и с минимальной потерей полезной информации.
- 5. Corectitudinea materialului expus:** Материал написан в соответствии с стандартами написания дипломной работы в Республике Молдова
- 6. Calitatea materialului grafic:** Модели, изображенные на рисунках, достаточно информативны, и представляемы в разных ракурсах.
- 7. Valoarea practică a proiectului/tezei:** Дипломант консультировался со специалистами-хирургами для создания удобного пользовательского интерфейса, а так же им был написан большой объем программного кода.
- 8. Observații și recomandări:** Программное обеспечение может быть улучшено внедрением алгоритмов на основе нейронной сети.
- 9. Caracteristica studentului și titlul conferit:** Дипломант Дюльгер Артем показал себя, как хорошо знающий теорию и практику программист. Он творчески воспринимает новые технологии и умеет их использовать их в процессе программирования.

Lucrarea în forma electronică corespunde originalului prezentat către susținere publică.

Coordonatorul proiectului/tezei de licență

Academic. RASN., dr. hab., prof. Balabanov Anatolii, _____

(titlul științifico-didactic, titlul științific, semnătura, data, numele, prenumele)

<i>Mod.</i>	<i>Coala</i>	<i>Nr. document</i>	<i>Semnăt.</i>	<i>Data</i>	UTM 0714.6.002 ME			
Elaborat	A. Diulgher				Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computinizate în timp real	<i>Litera</i>	<i>Coala</i>	<i>Coli</i>
Conducător	A. Balabanov						10	58
Consultant	N. Popovici					UTM FCIM		
Contr. norm.	B. Izvoreanu					AI - 183		
Aprobat	I. Fiodorov							

АННОТАЦИЯ

Тема: Моделирование 3D гематомы на базе компьютерной томографии в реальном времени.

Автор: Дюльгер Артём.

Структура работы:

1. Обработка исходных данных.
2. Определение наилучших точек доступа к гематоме.
3. Вывод информации на экран компьютера.
4. Руководство пользователя программного обеспечения.

Ключевые слова:

1. Гематома.
2. Компьютерная томография.
3. 3D модель.
4. Программное обеспечение.

Целью работы является создание программное обеспечение по моделированию и анализу гематомы головного мозга. Программа должна выполнять быструю диагностику пациента по данным компьютерной томографии. Полученный инструмент в виде программного обеспечения должен существенно ускорить процесс и качество диагностики патологии типа гематомы.

Для разработки проекта использовались программирования, моделирования, а также методы, связанные с математикой, в частности, с геометрией. Программирование осуществлялось на языке Python. Это дало доступ для использования большого количества библиотек, используемых об научной деятельности. Было использовано большое количество алгоритмов для работы с 3D моделями. Необходимо было решать такие задачи, как нахождение пересечения 3D моделей, компьютерное зрение и др.

В результате получено программное обеспечение с запрограммированными в себе методами и алгоритмами построения и анализа гематомы головного мозга. Программа работает быстро и преимущественно безотказно. Она доступна для последующих модификаций с целью её улучшения. В частности, возможно внедрение нейросети, способное эффективнее идентифицировать не только изображения, но и сами 3D модели в пространстве. Так же рекомендуется подобрать более эффективные аналоги использованных алгоритмов для коммерческого использования.

REZUMATUL

Tema: Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computirizate în timp real.

Autor: Diulgher Artiom.

Structura lucrării:

1. Prelucrarea datelor initiale.
2. Determinarea celor mai bune puncte de acces la hematom.
3. Afişarea informaţiilor pe ecranul unui calculator.
4. Manual de utilizare software.

Ключевые слова:

1. Hematoma.
2. Tomgrama computerizata.
3. Model 3D.
4. Software.

Scopul lucrării este de a crea software pentru modelarea și analiza hematomului cerebral. Programul ar trebui să efectueze un diagnostic rapid al pacientului conform tomografiei computerizate. Instrumentul rezultat sub formă de software ar trebui să accelereze semnificativ procesul și calitatea diagnosticării patologiilor precum hematom.

Pentru dezvoltarea proiectului s-au folosit programarea, modelarea, precum și metodele legate de matematică, în special, de geometrie. Programarea a fost efectuată în Python. Acest lucru a oferit acces la utilizarea unui număr mare de biblioteci utilizate pentru activități științifice. Un număr mare de algoritmi au fost utilizati pentru a lucra cu modelele 3D. A fost necesar să se rezolve probleme precum găsirea intersecției modelelor 3D, viziunea computerizată etc.

Ca urmare, s-a obținut un software cu metode și algoritmi programati pentru construirea și analiza hematomului cerebral. Programul este rapid și în mare parte fără probleme. Este disponibil pentru modificări ulterioare pentru a-l îmbunătăți. În special, este posibilă introducerea unei rețele neuronale care poate identifica mai eficient nu numai imaginile, ci și modelele 3D în sine în spațiu. De asemenea, se recomandă selectarea unor analogi mai eficienți ai algoritmilor utilizati pentru uz comercial.

ANNOTATION

Topic: 3D modeling of hematoma based on real-time computed tomography data.

Author: Diulgher Artiom.

Structure of the project:

1. Handling of initial data.
2. Determination of the best access points to the hematoma.
3. Displaying information on a computer screen.
4. Software user manual.

Key words:

1. Hematoma.
2. Computed tomography.
3. 3D model.
4. Software.

The aim of the work is to create software for modeling and analysis of brain hematoma. The program should perform a quick diagnosis of the patient according to computed tomography. The resulting tool in the form of software should significantly speed up the process and quality of diagnosing pathologies such as hematoma.

For the development of the project, programming, modeling, as well as methods related to mathematics, in particular, to geometry, were used. Programming was carried out in Python. This gave access to use a large number of libraries used for scientific activities. A large number of algorithms have been used to work with 3D models. It was necessary to solve such problems as finding the intersection of 3D models, computer vision, etc.

As a result, software with programmed methods and algorithms for constructing and analyzing brain hematoma was obtained. The program is fast and mostly trouble-free. It is available for subsequent modifications to improve it. In particular, it is possible to introduce a neural network that can more effectively identify not only images, but also the 3D models themselves in space. It is also recommended to select more efficient analogues of the used algorithms for commercial use.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	6
1.1 Введение.....	7
1.2 Получение DICOM файлов.....	7
1.3 Анализ DICOM файлов.....	7
1.4 Извлечение изображений из DICOM файлов	9
1.5 Идентификация области гематомы на изображении	10
2 ПОСТРОЙКА 3D МОДЕЛИ ГЕМАТОМЫ	11
2.1 Введение.....	11
2.2 Чтение области гематомы из изображений.....	12
2.3 Построение грубой 3D модели гематомы	13
2.4 Сглаживание 3D модели гематомы	15
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШИХ ТОЧЕК ДОСТУПА К ГЕМАТОМЕ	22
3.1 Описание инструментов доступа и удаления гематомы	22
3.2 Определения поля доступа инструментов	23
3.3 Идентификация направления доступа к гематоме.....	24
3.4. Определение объёма гематомы	27
3.5 Определение максимального доступного объема гематомы для одной точки..	28
3.6 Определение максимального доступного объема гематомы для двух точек	29
4 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАН КОМПЬЮТЕРА	31
5 РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	35
6 НАДЕЖНОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	
ПРОЕКТА	38
6.1 Надежность системы.....	38
6.2 Материальные и нематериальные активы.....	41
6.3 Прямые затраты.....	41
6.4 Затраты на оплату труда	42
6.5 Косвенные затраты.....	43

Mod.	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	UTM 0714.6.002 ME			
Elaborat	A. Diulgher					Litera	Coala	Coli
Conducător	A. Balabanov						10	58
Consultant	N. Popovici				Modelarea 3D a hematomei în baza datelor tomografice computiziratate în timp real			
Contr. norm.	B. Izvoreanu				UTM FCIM AI - 183			
Aprobat	I. Fiodorov							

6.6 Амортизация активов.....	44
6.7 Стоимость производства и экономико-финансовые показатели	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
БИБЛИОГРАФИЯ	47

Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	Coala
					11

ВВЕДЕНИЕ

Посттравматическая гематома головного мозга – это произошедшее вследствие травмы головы (черепно-мозговой травмы) скопление крови между мозговыми оболочками или внутри головного мозга. В результате удара, ушиба и т.п. головной мозг с ускорением движется взад-вперед в закрытой полости черепа и ударяется о стенки черепа, в результате чего мозговые оболочки и кровеносные сосуды рвутся, между их слоями появляются кровоизлияния, и образуется гематома.

Головной мозг расположен в закрытой полости черепной коробки, и большой объем гематомы оказывает давление на мозг, препятствуя нормальному функционированию мозга. Обычно после травмы головы человек теряет сознание или его сознание нарушено, зрачки не реагируют на свет или реагируют слабо, возникают нарушения дыхания, больной может впасть в кому.

Большая гематома давит на мозг и может вызвать отек мозга и повышение внутричерепного давления. Для спасения человеческой жизни гематому необходимо удалить как можно скорее. Оставление без врачебной помощи может закончиться смертью [9].

Информационные технологии (ИТ) в современном мире применяются повсеместно. Здравоохранение не стало исключением. Современные ИТ разработки оказывают положительное влияние на развитие новых способов организации медицинской помощи населению. Большое количество стран уже давно активно используют новые технологии в сфере здравоохранения. Проведение телеконсультаций пациентов и персонала, обмен информацией о больных между различными учреждениями, дистанционное фиксирование физиологических параметров, контроль за проведением операций в реальном времени – все эти возможности дает внедрение информационных технологий в медицину. Это выводит информатизацию здравоохранение на новый уровень развития, положительно сказываясь на всех аспектах его деятельности.

Особенно полезными достижения ИТ становятся для самих врачей. Новые технологии позволяют помочь им быстрее поставить диагноз, точнее изучать различные патологии, отдельные части человеческого тела. Современные аппараты компьютерной томографии, магнитно-резонансная томография, ультразвуковое исследование позволяют извлечь огромное количество информации о пациенте. Работа программистов – эту информацию быстро и точно обработать и предоставить врачам. Программист может написать программное обеспечение, способное на основе полученных данных построить модель патологии, органа или любой другой части тела. Врач же в свою очередь получит доступ к тому, что в ином случае ему было бы не доступно. При этом всё происходит быстро.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	12
					UTM 0714.6.002 ME	

Одним из проблемных объектов лечения в человеческом организме является головной мозг. В нем встречаются такие патологии, как опухали, гематомы, кисты, инфекционные заболевания и др. Все из них причиняют огромный дискомфорт человеку, а также приводят к дисфункциям различных частей тела из-за повреждения или сдавливания самого мозга. Еще больше подобных случаев возникает в старости человека. Для лечения подобных заболеваний необходимо чаще всего хирургическое вмешательство, что наносит дополнительный ущерб организму, что можно уменьшить. Вопрос уменьшения ущерба организму во время операций стоит особенно остро для пациентов в возрасте, когда регенеративная функция организма низка. Необходимо произвести максимально малые рассечения на коже человека, проделать максимально малое отверстие в черепной коробке и удалить максимальный большой объем нежелательного объекта в черепной коробке. Для решений подобной задачи может быть достаточна математика, но для быстрого её решения необходимы достижения ИТ. На примере такой патологии, как гематома головного мозга в этой работе будет продемонстрировано, как с помощью достижений ИТ можно автоматизировать некоторые процессы лечения патологии.

Гематома, или внутричерепное кровоизлияние — серьезная патология, способная стать причиной повреждения нервной ткани, нарушению кровоснабжения головного мозга и дислокации структур головного мозга (смещение одних структур мозга относительно других). Это происходит вследствие повышения внутричерепного давления после кровоизлияния в полость черепа. Выделяют 4 типа гематом головного мозга (рисунок В.1):

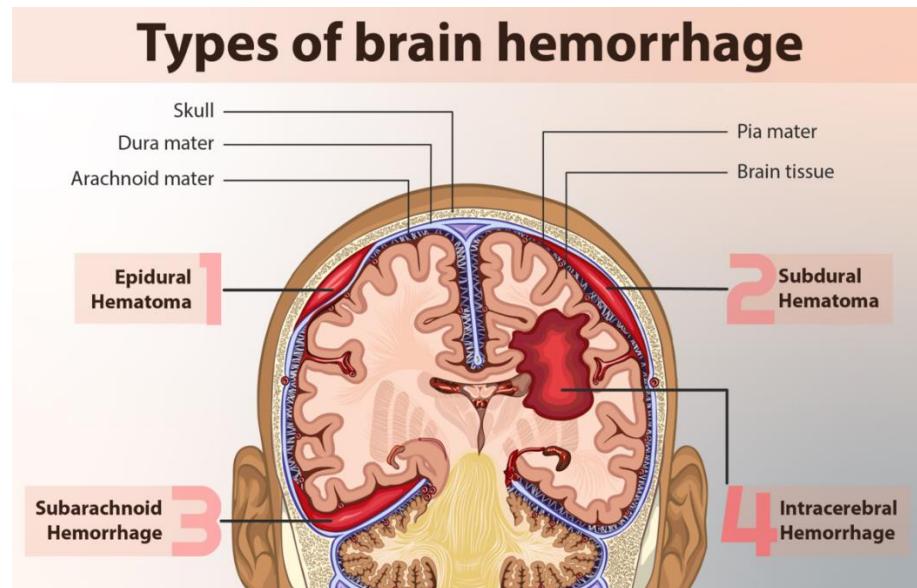


Рисунок. В.1. Типы гематом головного мозга [10]

1. Эпидуральная – формируется между черепом и твёрдой оболочкой мозга.
2. Субдуральная – формируется между веществом головного мозга и его твердой оболочкой.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					13

3. Субарахноидальная – в подпаутинном пространстве.

4. Внутримозговая – образуется в тканях головного мозга, не выходя за его пределы [1].

Лечения таких заболеваний нуждается в хирургическом вмешательстве.

В этой работе будет рассмотрена эпидуральная гематома, а точнее – её хронических видов, тех, что имеют больше 21 дня. Такие гематомы лучше видны на снимках компьютерной томографии (КТ), что делает их идентификацию более простой.

Согласно данным журнала Journal of Neurosurgery (JNS) [3], каждый год 69 млн. человек получают травму головного мозга, из которых 0.2-0.6% приводят к возникновению эпидуральной гематомы [2]. Такое большое количество случаев забирает огромное количество часов хирургов на подготовку к операции. Эта работа предлагает способ существенно облегчить и ускорить диагностику и подготовку.

В этой работе предстоит автоматизировать процесс диагностики и подготовки к операции по удалению эпидуральной гематомы головного мозга в её хроническом виде. Необходимо реализовать программное обеспечение (ПО), с простым и удобным интерфейсом. Программа должна обрабатывать снимки КТ. На основе полученных данных программа должна построить 3D модель гематомы. Так же нужно предоставить инструмент для определения наилучшей точки доступа к гематоме по наибольшему объема вещества, которое можно будет удалить. Программа должна быстро и точно выдавать результаты в удобном для пользователя формате. Необходимо написать инструкцию по использования реализованного ПО.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	14
					UTM 0714.6.002 ME	

1 ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

1.1 Введение

В качестве исходных данных для проекта используются снимки КТ. Компьютерная томография (КТ) – это специальный метод, в котором используется рентгеновское излучение. С его помощью тело человека послойно просвечивают рентгеновскими лучами. У детей и подростков с онкологическими заболеваниями врачи используют компьютерную томографию для предварительной диагностики и для контроля за результатами лечения, а также при планировании операции и лучевой терапии (облучение). Исследование назначается самостоятельно или дополнительно к МРТ (магнитно-резонансная томография). Также оно используется для неотложной диагностики, т.к. результаты компьютерной томографии можно получить достаточно быстро.

Во время исследования пациент лежит неподвижно. Рентгеновский луч направляется компьютером и вращается вокруг него, просвечивая тело с разных сторон. Рентгеновские снимки выполняются с разных ракурсов, из них складывается единая картина. За считанные секунды компьютер обрабатывает информацию тысяч снимков. Изображения на этих снимках делаются с различных поперечных срезов тела, с шагом в сантиметр или миллиметр. Затем высокоточное детальное изображение распечатывают. Для некоторых ситуаций, например, когда планируется сложная операция, полученную информацию переводят в трёхмерное изображение (3D).

Так же, как и на рентгеновских снимках, кости и структуры, в которых содержится кальций, видны в белом цвете; мягкие ткани (например, сердце) – в оттенках серого; а ткани, близкие по плотности к воздуху (как, например, лёгкие, кишечник) отображаются чёрным цветом [12].

Для записи результатов сканирования КТ подходят четыре типа дисков. Небольшой объем информации записывают на CD-R, CD-RW носители. Если количество снимков превышает 1500, то используются DVD-R, DVD-RW накопители, отличающиеся большей вместимостью.

В некоторых клиниках диск с результатами входит в стоимость оказанных услуг, выдается пациенту после прохождения исследования. Современное оборудование позволяет копировать полученные изображения на USB-флешки. Эти моменты необходимо уточнить у администратора записываясь на процедуру. Заключение о состоянии здоровья выдается врачом — рентгенологом письменно.

В качестве исходных данных будут использоваться снимки компьютерной томографии. Это наиболее доступный метод диагностики эпидуральной гематомы.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	UTM 0714.6.002 ME	15

RadiAnt DICOM Viewer - визуализатор изображений формата DICOM-PACS. Данный формат, как правило, используются в медицинских учреждениях для хранения результатов рентгена, УЗИ и других исследований. Помимо самих снимков подобные файлы также позволяют хранить пояснительные документы, измерения, пометки и численные обозначения.

Программа предлагает сразу несколько режимов просмотра изображений и позволяет вносить некоторые "косметические" изменения. Так, например, визуализатор может отобразить снимок в негативе, раскрыть его на полный экран и добавить до двадцати изображений для визуального сравнения. Программа автоматически ассоциирует с собой поддерживающие форматы, позволяя открывать их двойным кликом. Также доступ к изображениям можно получить традиционным способом: нажав на клавишу "Открыть" и указав путь к самому файлу или архиву, в котором он содержится (программа умеет распаковывать ZIP).

В программе реализованы функции плавного масштабирования, панель с настройками параметров цвета, клавиши поворота изображения и ползунок для настройки длины просматриваемого сегмента. Также стоит выделить добавление аннотаций и экспорт снимка в более привычные форматы JPEG/BMP. При использовании второй функции экспортируется исключительно графическая информация без обозначений и пометок.

1.2 Извлечение файлов dicom из диска

Файл DICOM - изображение медицинского характера, сохраненное в формате DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Это отраслевой формат, являющийся стандартом для хранения и распространения медицинских снимков. Файл DICOM может содержать одно или несколько изображений, например, результаты МРТ или ультразвукового обследования, а также информацию о пациенте [5].

Обычно такие файлы выдаются пациенту в качестве результата произведение КТ, в виде CD диска. Один из таких дисков был нам предоставлен Институтом Неврологии и Нейрохирургии в Кишинёве. Диск имеет структуру, продемонстрированную на рисунке 1.1.

В этом диске находятся данные о КТ двух пациентов, которые расположены в папках PA1 и PA2 соответственно. Отсюда можно извлечь снимки – горизонтальные сечения головы пациентов.

1.3 Анализ dicam файлов

Для этой дипломной работы используются снимки пациента PA1. Они находятся в папках SE1 и SE2 соответственно. В папке SE1 находится 36 снимков с шагом сечения 5.07 мм, а в SE – 144 снимка с шагом 1.259 мм. Для того, чтобы визуализировать снимки, можно воспользоваться программой RadiAnt DICOM Viewer (рисунок 1.2).

Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	Coala	16
					UTM 0714.6.002 ME	

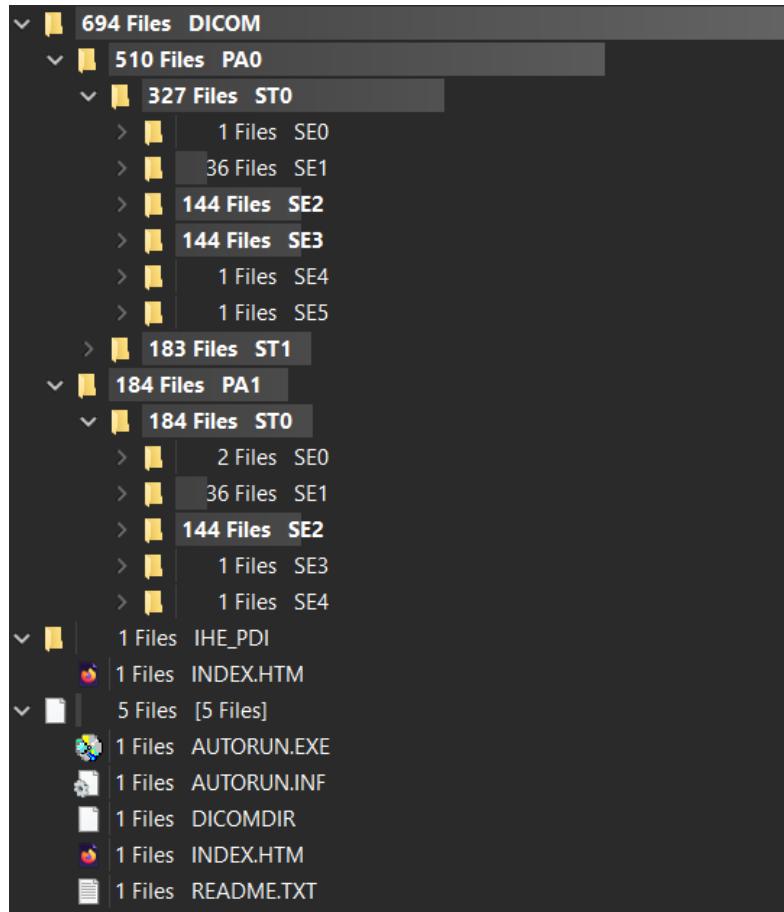


Рисунок 1.1. Структура диска с данными о КТ

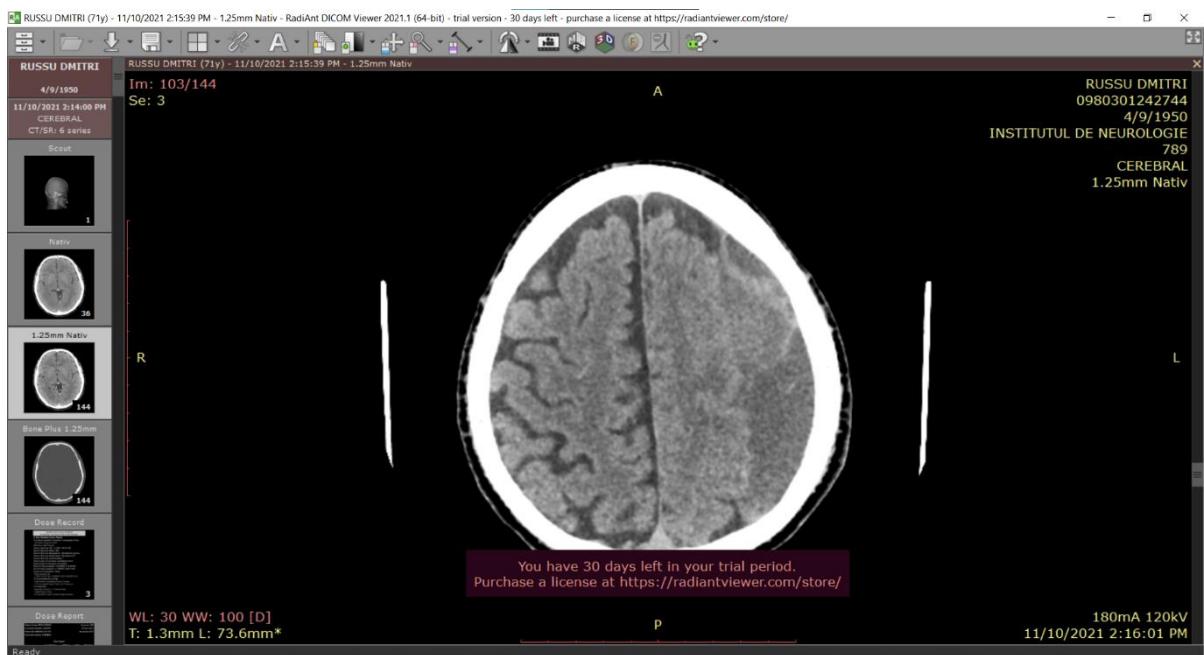


Рисунок 1.2. Интерфейс программы RadiAnt DICOM Viewer с визуализацией одного из снимка КТ пациента

Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						17

DICOM файлы состоят из тегов с мета-информацией о снимке, пациенте, некоторых настройках томографа, а так же прочая информация. Для этой работы необходимо извлечь следующие тэги и их значения (рисунок 1.1):

Таблица 1.1. Используемые тэги из DICOM файлов

Тэг	Формат данных	Описание
Image Position	$\{x \ y \ z\}$, x, y, z – 16-битные числа	Координаты снимков в пространстве томографа
Pixel Data	$\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$, a_n – 16-битные числа	Массив значений пикселей снимка

1.4 Извлечение изображений из dicom файлов

Для того, чтобы извлечь изображения можно воспользоваться двумя способами: ручным

- через интерфейс RadiAnt DICOM Viewer, и программным – написав программу для конвертации DICOM файлов в простое png изображения. Так как работа посвящена автоматизации процессов, то мы прибегнем ко второму способу. Это и положит начало разработки ПО.

Для разработки ПО в этой работе будет использован скриптовый язык программирования

- Python. Программы, написанные на этом языке не самые быстрые, но для моделирования процессов в этой работе этот язык будет достаточен. К тому же этот язык имеет тесную связь с наукой из-за множества реализованных библиотек, так или иначе связанных с исследованиями.

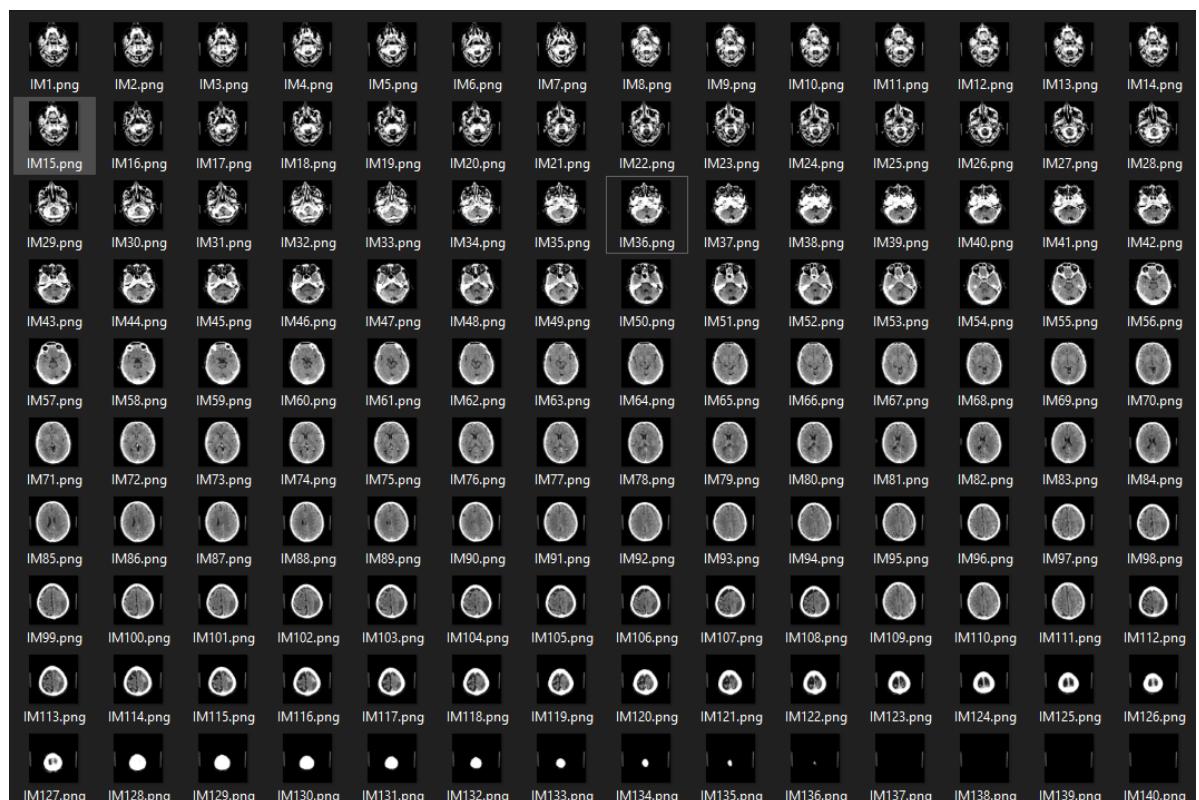


Рисунок 1.3. Изображения КТ в папке

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						18

Для извлечения изображений из DICOM файлов используется библиотека pydicom. Так, файлы DICOM загружаются в программу, конвертируются в png файлы и сохраняются в виде изображений в отдельной папке (рисунок 1.3).

1.5 Идентификация гематомы на изображениях КТ

После того, как изображения КТ были получены, необходимо идентифицировать. Это можно сделать вручную, специалисту, либо натренированной нейронной сети. Второй вариант, к сожалению, невозможен, так как для тренировки нейронной сети необходим большой массив данных. Некоторый объем из них можно найти на сайте Kaggle [6], выложенного в рамках конкурса по идентификации типа гематомы. Работа такой сложности может быть предложена для полноценной реализации темы дипломной работы, но за рамки текущей работы эта идея выходит.

Воспользуемся ручным способом. Для этого изображения с видимой гематомой переносятся в отдельную папку. Далее необходимо воспользоваться редактором изображений и пометить гематому каким-то цветом. Был выбран зелёный. Полученный результат можно увидеть на рисунке 1.5.

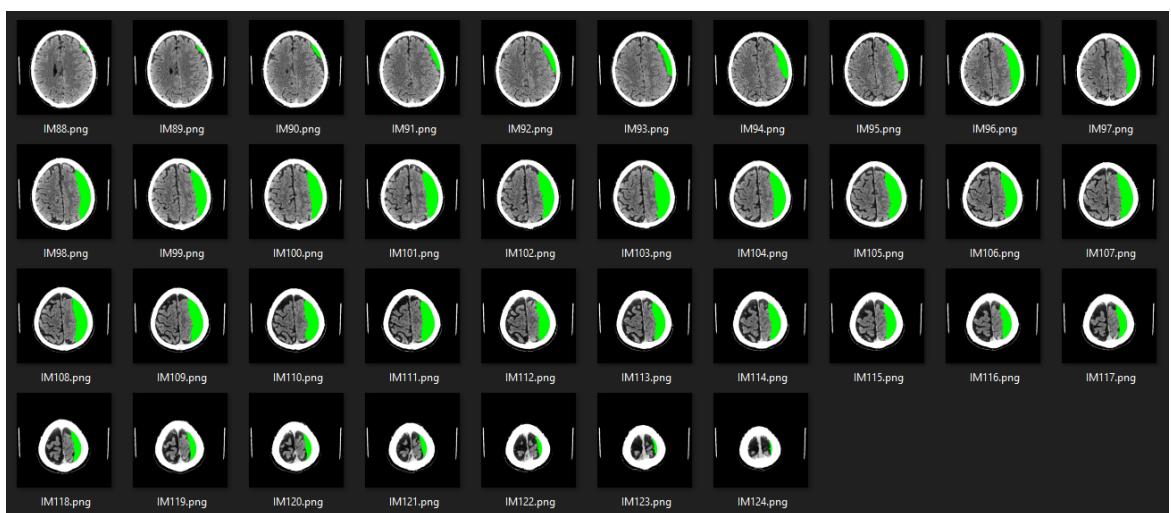


Рисунок 1.5. Папка с помеченными изображениями КТ

Ручной метод хоть и кажется долгим, но со временем специалист будет делать эту работу всё быстрее. Для КТ с 144 снимками может уйти 15 минут, с 36 снимками – 4 минуты.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						19

2 ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛИ ГЕМАТОМЫ

2.1 Введение

Эта глава будет посвящена созданию 3D модели гематомы. 3D модель – это объемное цифровое изображение необходимого объекта, как реального, так и вымышленного. Создание 3D моделей происходит в специальном программном обеспечении для 3D моделирования или программно. Функционал таких программ может незначительно отличаться. Существуют программы, ориентированные на проектирование инженерных 3D моделей, есть ПО непосредственно для моделирования органических объектов, а также приложения для 3D визуализации и анимации. Строгой классификации программное обеспечение не подвержено, но большинство приложений содержит определенные функции, направленные на выполнение конкретных задач.

3D моделирование – это процесс создания объемного цифрового изображения требуемого объекта. В зависимости от конкретных целей, могут различаться и требования к 3Д-моделированию. То есть, в разработке компьютерных игр применяются одни законы построения 3D моделей, которые могут не пригодится при создании 3D моделей для 3Д-печати. Поверхность 3Д модели представляет собой набор геометрических фигур – треугольников или прямоугольников, совокупность которых и формирует необходимый объект.

Моделирование будет происходить на языке программирования Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, ориентированный на повышение производительности разработчика, читаемости кода и его качества, а также на обеспечение переносимости написанных на нём программ. Язык является полностью объектно-ориентированным в том плане, что всё является объектами. Необычной особенностью языка является выделение блоков кода пробельными отступами. Синтаксис ядра языка минималистичен, за счёт чего на практике редко возникает необходимость обращаться к документации. Сам же язык известен как интерпретируемый и используется в том числе для написания скриптов. Недостатками языка являются зачастую более низкая скорость работы и более высокое потребление памяти написанных на нём программ по сравнению с аналогичным кодом, написанным на компилируемых языках, таких как C или C++.

Стоит отметить, что эта тема стала наиболее трудоемкой и времязатратной. Для построения модели выделяется отдельная подпрограмма, которая будет обрабатывать уже помеченные снимки КТ. Её задача – сгенерировать 3D модель объекта в формате vtk (Visualization Toolkit), чтобы с ней потом можно было работать.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	20
					UTM 0714.6.002 ME	

2.2 Чтение области гематомы из изображений

Необходимо программно определить помеченную часть изображения КТ. Для этой операции используется библиотекой Python – cv2. OpenCV – это библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом) – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Реализована на C/C++, также разрабатывается для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua и других языков. Может свободно использоваться в академических и коммерческих целях – распространяется в условиях лицензии BSD [7].

Эта библиотека поможет определить контуры помеченной части и предоставить их в виде многоугольника. Логика просто – удаляются все непомеченные части и применяется алгоритм нахождения контуров.

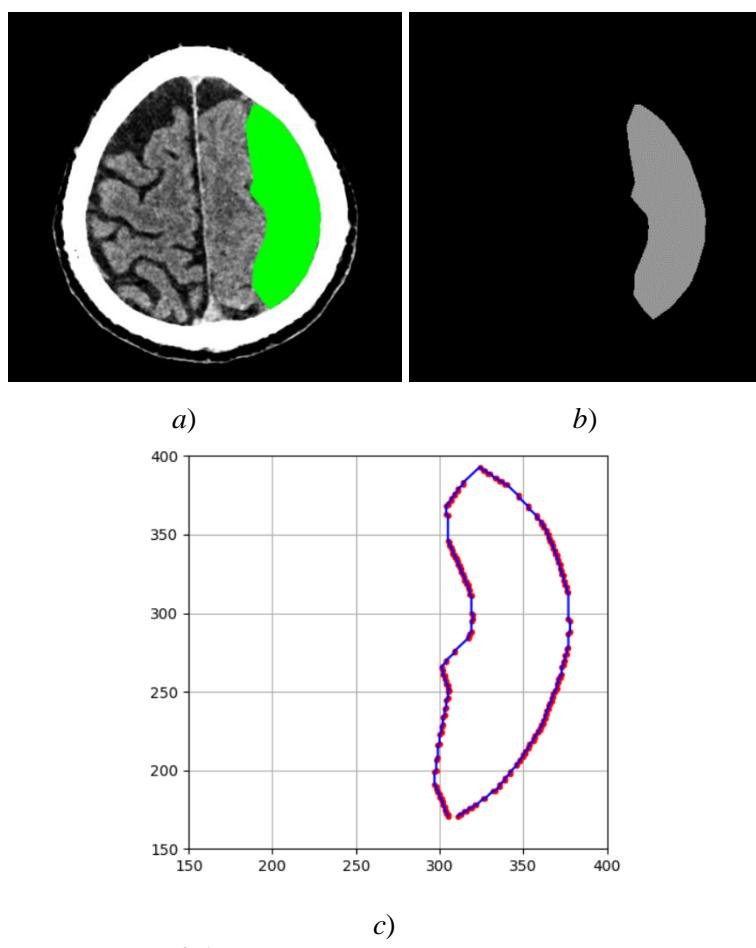


Рисунок 2.1. Этапы получения контуров гематомы:
a) исходное изображение,
b) изображение после очистки;
c) график полученного многоугольника (перевернутого)

На рисунке 2.1 показаны этапы нахождения контура помеченной части. На рисунке 2.1, b показано изображение КТ после удаления непомеченной части. Изображение так же

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					21

обесцвечивается, это требуется алгоритмом нахождения контуров. На рисунке 2.1, с показан график, нарисованный с помощью библиотеки matplotlib [8]. График представляет собой разомкнутый контур гематомы. Он получился перевернутым – это побочный эффект алгоритма, который будет нивелирован в дальнейшем. Красным цветом изображены вершины многоугольника, а синим – его стороны. Многоугольник хранится в виде массива координат вершин, и в таком же виде будет использован в следующем этапе. Такая операция проводится со всеми помеченными изображениями КТ.

2.3 Построение грубой 3D модели гематомы

Теперь, имея набор вершин, описывающих форму гематомы, можно приступить к созданию её 3D модели. Необходимо соединить вершины контуров, находящихся на соседних слоях снимков КТ. Это можно сделать простым способом:

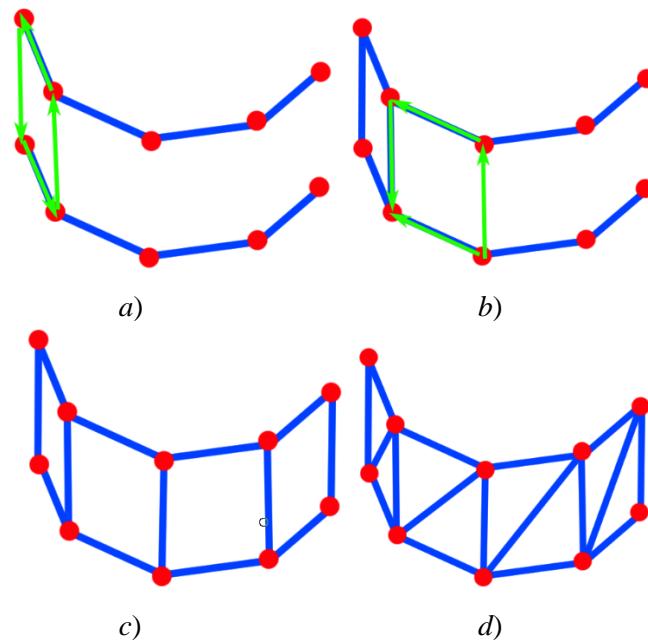
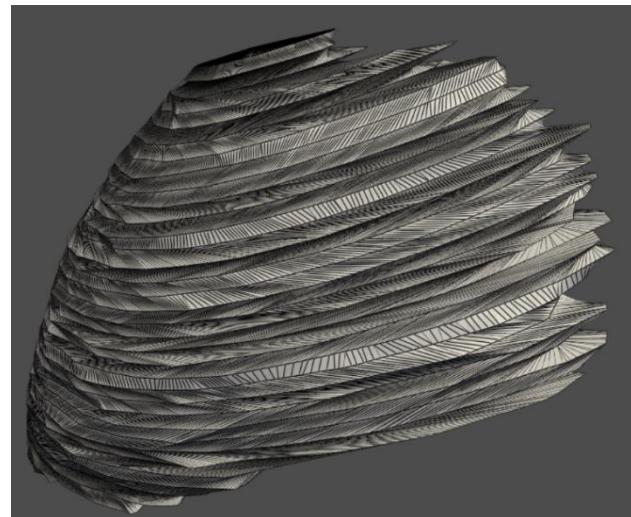


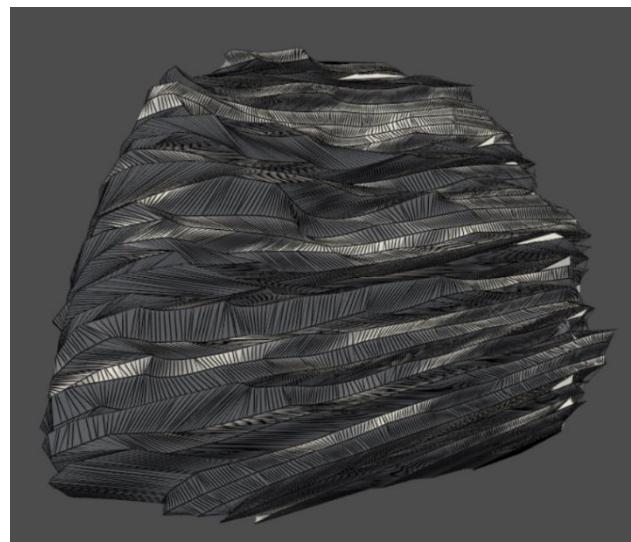
Рисунок 2.2. Этапы соединения вершин в 3D модели;

- демонстрация того, как будут соединяться два многоугольника;
- стадия, при которой по две вершины уже соединены;
- стадия с завершённым соединением вершин многоугольников;
- треангулированный вид полученной модели.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					UTM 0714.6.002 ME



a)



b)



c)

Рисунок 2.3. Полученная 3D модель:

a) вид спереди;

b) вид сзади;

c) приближенный участок модели

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					23

UTM 0714.6.002 МЕ

На рисунке 2.2 изображен алгоритм того, как из контуров отдельных снимков собирается 3D модель гематомы. При этом каждый шаг достигается путём соединения 4 вершин, которые определяют один четырехугольный полигон. При соединении необходимо учитывать последовательность, как показано зелёными стрелками. После проведения серии таких шагов получаем рисунок *c*, с которым уже можно работать. Но для работы с инструментами программирования необходимо привести модель к треангулированному виду, то есть разделить каждый четырехугольный полигон на два треугольных.

Однако, уже на этапе *a* возникает проблема: не получиться соединить все вершины многоугольников, так как каждый многоугольник имеет разное количество вершин. Для решения этого проблемы можно добавить в каждый многоугольник такое количество вершин, чтобы все многоугольники имели их равное количество. Это можно достичь, применив следующий алгоритм:

1. Определяется полигон с наибольшим количеством вершин.
2. Для каждого многоугольника добавляется вершина в самый в участок с между самыми отдалёнными вершинами, пока их количество не будет равно количеству вершин в самом большом многоугольнике.

Теперь, имея полигоны с равными количествами вершины можно соединить их.

На рисунке 2.3 представлена полученная модель гематомы. Видно, что поверхность модели имеет довольно хаотичный рельеф, далёкий от идеала. Основная причина кроется в недостатке алгоритма, который был применён в предыдущем параграфе. Хоть полигоны и получили недостающие вершины, указатели на «первую» вершину многоугольника сдвинулся. Из-за этого можно наблюдать текстуру объекта, представленную на рисунке *c*. Похоже, что вершины многоугольников соединились не самым удачным способом. Необходимы дополнительные алгоритмы сглаживания, чтобы улучшить качество модели.

2.4 Сглаживание 3D модели гематомы

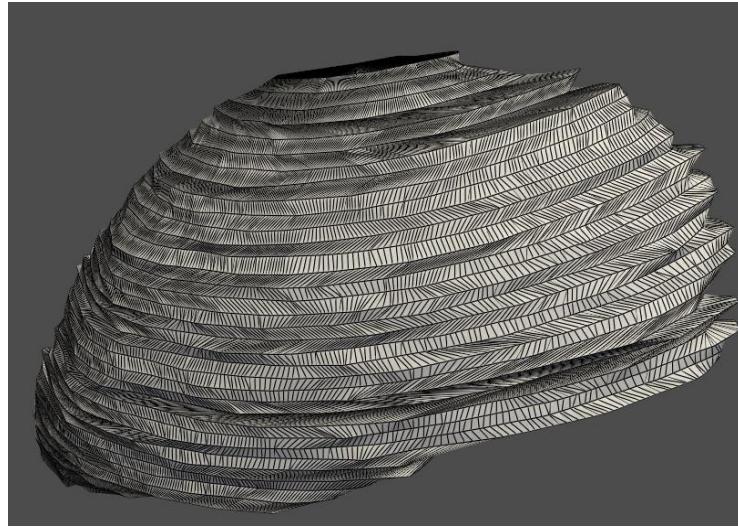
В предыдущем параграфе была получена модель гематомы, но её качество не позволяют проводить над ней какие-либо полезные действия. Её необходимо сгладить. Глядя на изображение, представленное на рисунке 2.3, *b* можно заметить, что если сдвинуть указатели на вершины одного многоугольника, то получится удачнее соединить его с другим многоугольником. Алгоритм сдвига будет выглядеть следующим образом:

1. Вычислить среднюю арифметическую наклона каждой линии, образованной соединением соответствующих двух вершин из следующего и предыдущего многоугольников.

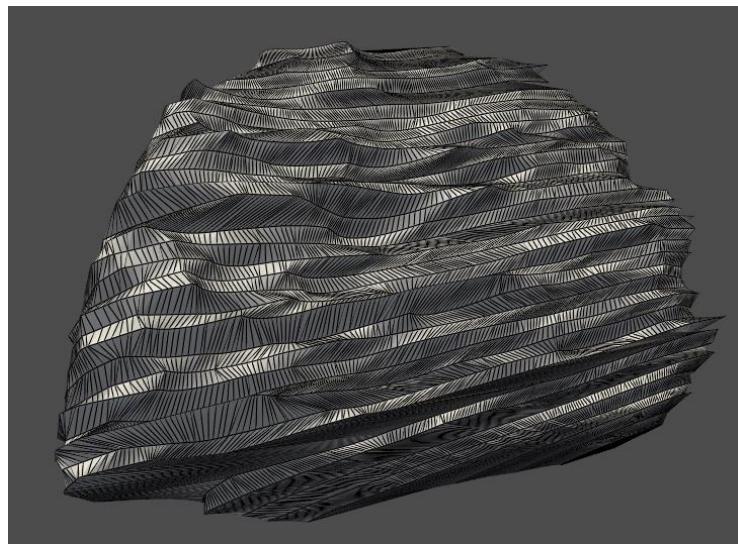
Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	24
					UTM 0714.6.002 ME	

2. Сдвигать указатели влево и вправо до определённой величины до тех пор, пока средняя арифметическая наклонов линий между текущим и следующим многоугольником не будут максимально близки к наклону, вычисленному в шаге 1.

3. Снова применить алгоритм из предыдущего параграфа и построить модель.



a)



b)

Рисунок 2.4. Полученная 3D модель после сдвигов вершин:

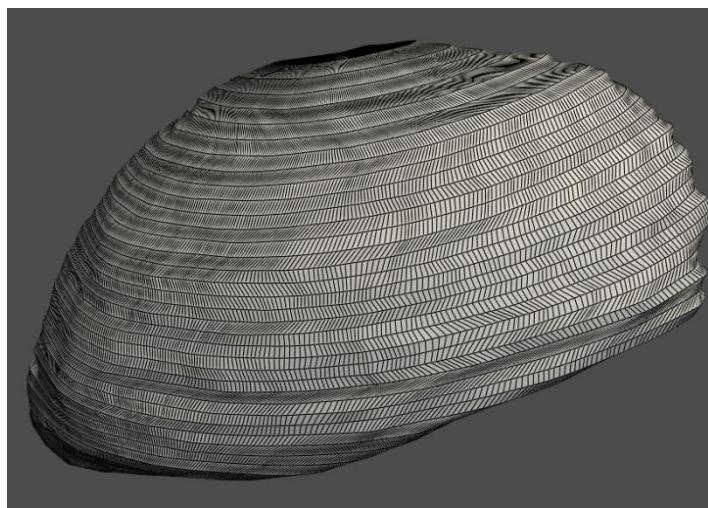
- a) вид спереди;
- b) вид сзади

На рисунке 2.4 изображена модель после сдвигов вершин. Она уже лучше подходит для анализа, однако некоторые проблемные участки все же остались. Средствами обычной математики такую проблему решить довольно сложно, поэтому необходимо использовать комбинацию алгоритмов для сглаживания этих участков.

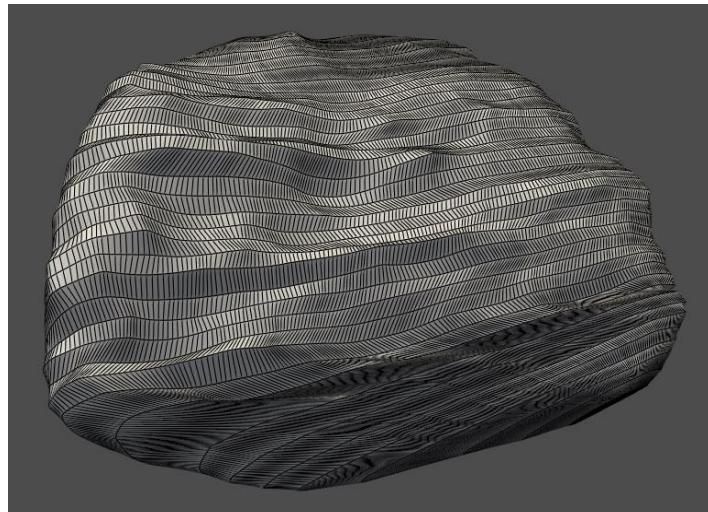
Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	25
					UTM 0714.6.002 ME	

Тут необходимо воспользоваться библиотекой `pyvista`. `PyVista` (ранее `vtki`) – это вспомогательный модуль `Visualization Toolkit` (`VTK`), который использует метод, отличный от интерфейса `VTK`, через `NumPy` и прямой доступ к массиву. Этот пакет предоставляет хорошо документированный интерфейс `Pythonic`, который может отображать мощный сервер визуализации `VTK` для облегчения быстрого прототипирования, анализа и интеграции визуализации наборов пространственных справочных данных.

Этот модуль можно использовать для научного рисования презентаций и исследовательских работ, а также других вспомогательных модулей для модулей `Python`, связанных с сеткой.



a)



b)

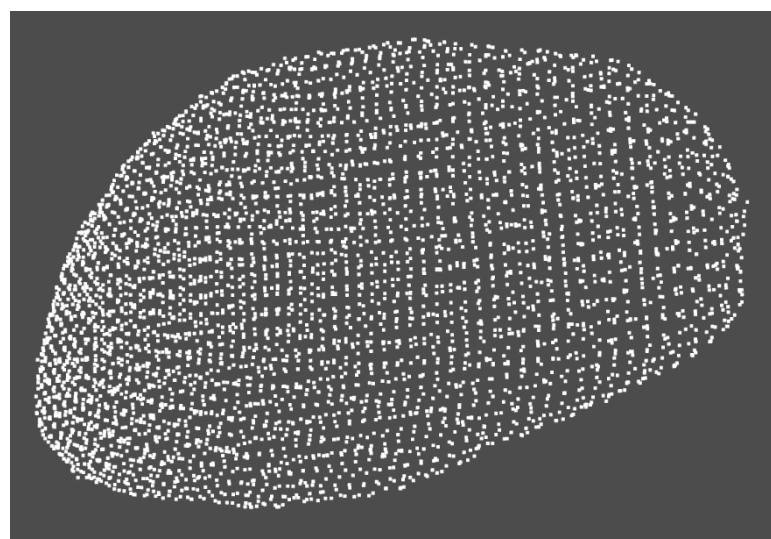
Рисунок 2.5. Полученная 3D модель после сдвигов применения алгоритма сглаживания Лапласа:
a) вид спереди;
b) вид сзади

Воспользуемся функцией библиотеки `pyvista` – `smooth`. Эта функция реализует алгоритм сглаживания Лапласа. Это итеративный алгоритм, он может помочь решить текущую проблему,

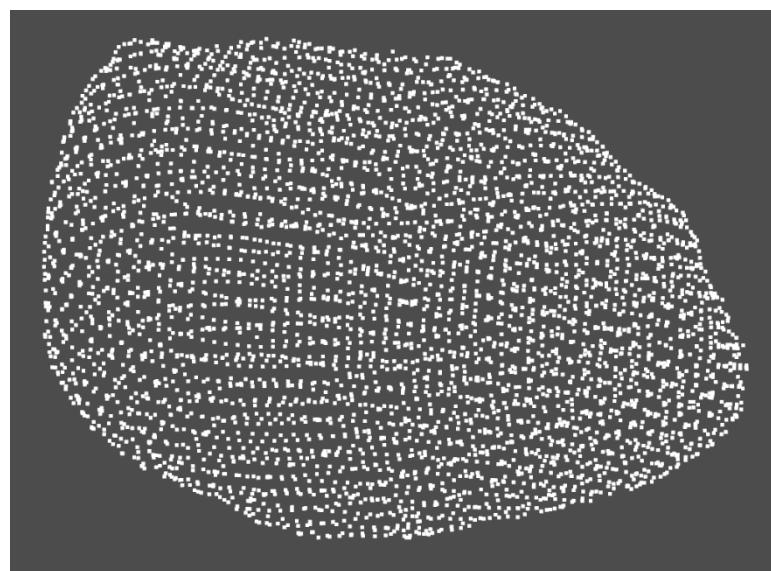
<i>Mod</i>	<i>Coala</i>	<i>Nr. document</i>	<i>Semnät.</i>	<i>Data</i>	<i>Coala</i>
					UTM 0714.6.002 ME
26					

но при большом количестве итераций модель будет слишком сглаживаться, стремясь приобрести сферовидную форму, теряя при этом полезную информацию о модели. Для текущей задачи было решено пробным методом произвести 150 итераций.

После применения алгоритма сглаживания получаем модель, изображенную на рисунке 2.5. Модель получилась с более гладким рельефом. Теоретически, эта модель уже пригодна к анализу, однако есть две проблемы. Первая – подобная модель все еще может содержать в себе проблемные участки, наличие которых не гарантирует корректное выполнение анализа объекта. Вторая проблема – это огромное количество вершин, что делает процесс анализа долгим, измеряемым часами. В некоторых участках, как, например в верхних и нижних полюсах модели, плотность вершин можно разредить, тем самым уменьшив время анализа.



a)



b)

Рисунок 2.6. Модель, представленная в виде облака точек:

- a) вид спереди;
- b) вид сзади

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						27

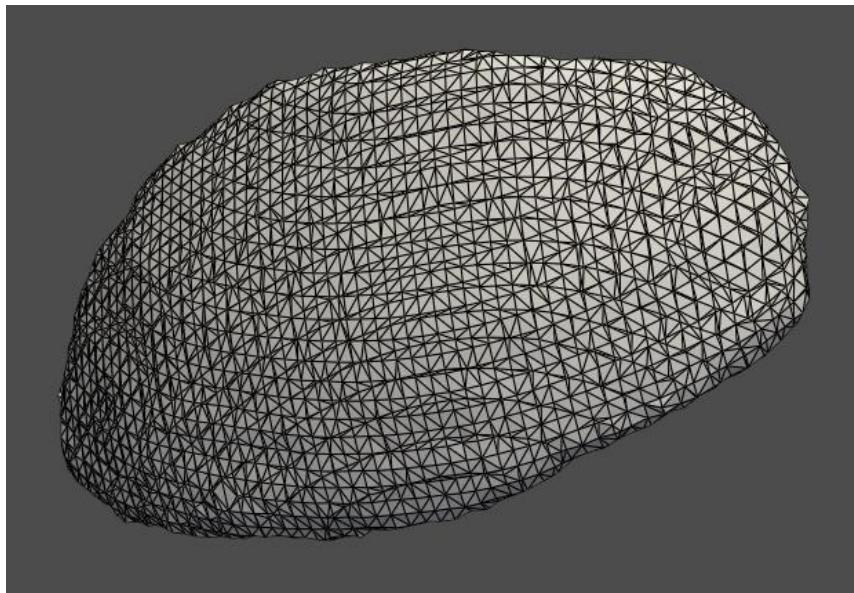
Используется еще один метод обработки модели – реконструкция поверхности модели. В компьютерной графике и компьютерном зрении, трехмерная реконструкция – это процесс получения формы и облика реальных объектов. Процесс может быть выполнен пассивными, либо активными методами. В случае, если форма модели может меняться во времени, говорят о не жесткой или пространственно-временной реконструкции.

Существует множество алгоритмов реконструкции поверхности, в этой работе будут применены алгоритмы из библиотеки для Python – open3d. Open3D — это библиотека с открытым исходным кодом, которая поддерживает быструю разработку программного обеспечения, работающего с 3D-данными. Внешний интерфейс Open3D предоставляет набор тщательно отобранных структур данных и алгоритмов как на C++, так и на Python. Серверная часть оптимизирована и настроена на распараллеливание. Open3D был разработан с чистого листа с небольшим и тщательно продуманным набором зависимостей. Его можно настроить на разных платформах и скомпилировать из исходного кода с минимальными усилиями. Код чистый, последовательно оформленный и поддерживается с помощью четкого механизма проверки кода. Open3D использовался в ряде опубликованных исследовательских проектов и активно развертывается в облаке. Другими словами, это доступная библиотека, содержащая в себе огромное количество инструментов обработки моделей.

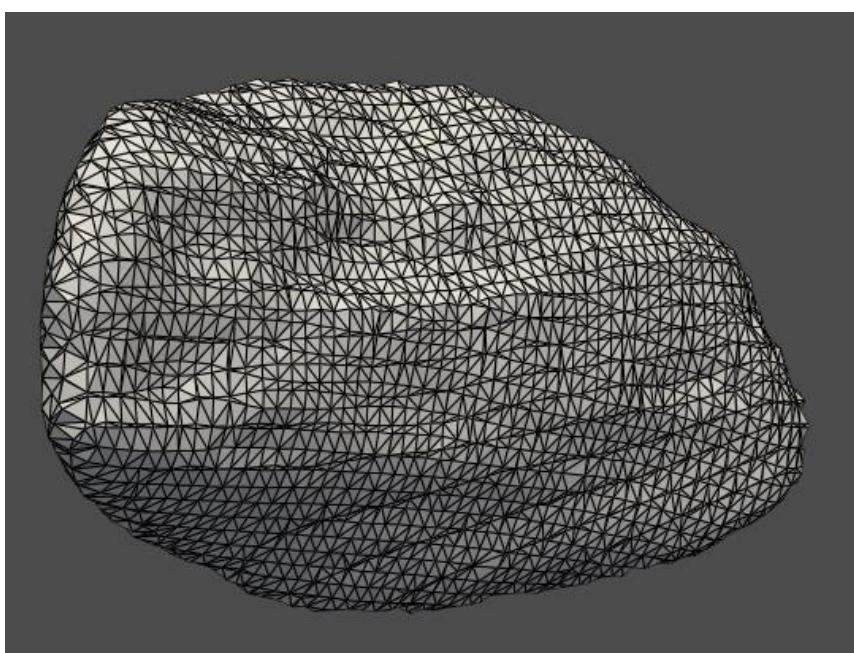
Алгоритм, который тут используется называется алгоритмом «поворота шара» или альфа-сфер [8]. К написано в книге [8], можно интуитивно представить альфа-форму следующим образом: представим себе огромную массу мороженого, содержащую точки S в виде кусочков твердого шоколада (рисунок 2.6). Используя сферическую ложку для мороженого, мы вырезаем все части блока мороженого, до которых можем дотянуться, не натыкаясь на кусочки шоколада, тем самым даже вырезаем отверстия внутри (например, части, недоступные простым движением ложки снаружи). В конечном итоге мы получим (не обязательно выпуклый) объект, ограниченный шапками, дугами и точками. Если мы теперь выпрямим все круглые грани в треугольники и отрезки, мы получим интуитивное описание того, что называется альфа-формой S (рисунок 2.7).

Алгоритм реализован в функции `create_from_point_cloud_alpha_shape` библиотеки open3d. Для использования функции сперва необходимо сгенерировать облако точек, которое можно получить с помощью функции `sample_points_poisson_disk`, передав в неё модель, представленную на рисунке 2.5. Для упрощения анализа была взята десятая часть точек первичной модели. Точки берутся равномерно по плотности в пространстве.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	28
					UTM 0714.6.002 ME	



a)



b)

Рисунок 2.7. Реконструированная модель с помощью алгоритма «поворота шара»:
 а) вид спереди;
 б) вид сзади

Алгоритм, который тут используется называется алгоритмом «поворота шара» или альфа-сфер [8]. К написано в книге [8], можно интуитивно представить альфа-форму следующим образом: представим себе огромную массу мороженого, содержащую точки S в виде кусочков твердого шоколада (рисунок 2.6). Используя сферическую ложку для мороженого, мы вырезаем все части блока мороженого, до которых можем дотянуться, не натыкаясь на кусочки шоколада, тем самым даже вырезаем отверстия внутри (например, части, недоступные простым движением

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					29

ложки снаружи). В конечном итоге мы получим (не обязательно выпуклый) объект, ограниченный шапками, дугами и точками. Если мы теперь выпрямим все круглые грани в треугольники и отрезки, мы получим интуитивное описание того, что называется альфа-формой S (рисунок 2.7).

Алгоритм реализован в функции `create_from_point_cloud_alpha_shape` библиотеки `open3d`. Для использования функции сперва необходимо сгенерировать облако точек, которое можно получить с помощью функции `sample_points_poisson_disk`, передав в неё модель, представленную на рисунке 2.5. Для упрощения анализа была взята десятая часть точек первичной модели. Точки берутся равномерно по плотности в пространстве.

Наконец, получается модель гематомы, представленную на рисунке 2.7. Как и ожидалось, полигоны равномерно распределены по поверхности модели. Однако, как и любой алгоритм сглаживания, использованный алгоритм пренебрег некоторым количеством полезной информации, которые описывали более детальный рельеф модели. Это не сильно критично, так как для анализа будет использована сферовидная часть поверхности модели гематомы, которая прилегает к черепной коробке. Конечно, этот побочный эффект можно снизить, подобрав более удачные параметры для вышеупомянутых функций, но это потребовало бы больше времени, и, возможно, сопровождающие программы. Во всяком случае главная задача выполнена – модель с большой вероятностью пригодна для анализа.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	30
					UTM 0714.6.002 ME	

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШИХ ТОЧЕК ДОСТУПА К ГЕМАТОМЕ

В этой главе будет рассмотрен процесс анализа 3D модели гематомы с целью нахождения наилучших точек доступа к гематоме. Другими словами, необходимо найти участок или точку на гематоме со стороны черепной коробки, через которую будет получен максимальный обзор в полость самой гематомы. Это задача минимумов и максимумов, которая будет решаться итеративным методом. Пусть и не самый быстрый метод, но понятный и легко воспроизводимый.

3.1 Описание инструментов доступа и удаления гематомы

Для моделирования обзора в полости гематомы необходимо изучить инструменты, которые хирург будет использовать во время проведения операции. В ходе операции используется большой набор инструментов, но для этой работы необходимо обратить внимание на те, которые погружаются в черепную коробку и требуются некоторого объема в самой полости гематомы.

Обратим внимание на инструмент, необходимый для фотодинамической диагностики – Оптику HOPKINS 2 прямого видения 0°, крупноформатную (рисунок 3.1). Ограничимся на этом инструменте, так как что находится в поле досягаемости этого прибора, то будет досягаемо и для остальных инструментов.



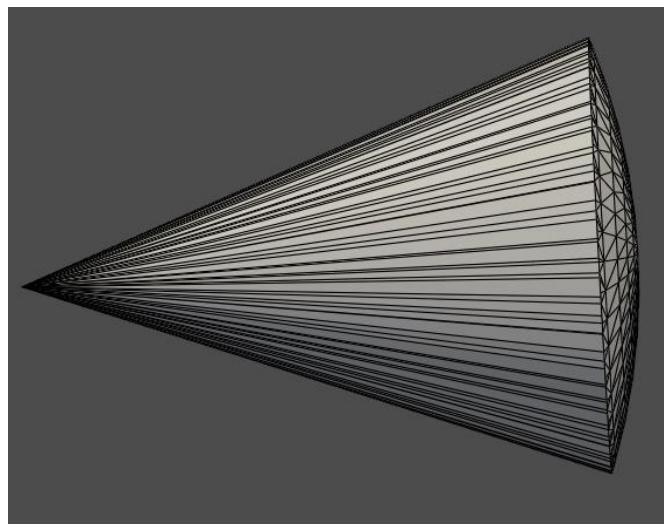
Рисунок 3.1. Оптика HOPKINS 2 прямого видения

На приборе видна часть, похожая на металлический стержень. Это та часть, которая будет погружаться в гематому для фотодинамической диагностики. Стержень может иметь длину в 18 см. и диаметр в 4 мм. Используя эти размеры будет происходить анализ. Диаметром можно пренебречь – стержень достаточно тонки, а другие вариации диаметров не входят в рассмотрение этой работы.

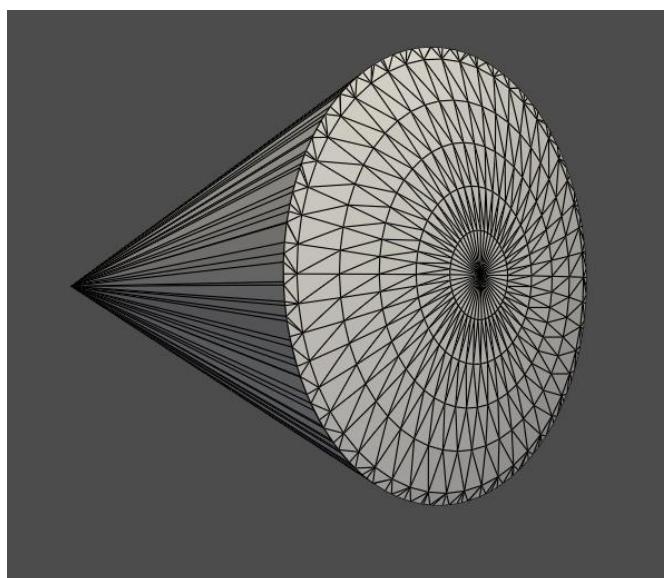
Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	31
					UTM 0714.6.002 ME	

3.2 Определения поля доступа инструментов

Зная, что из себя представляют инструменты для произведения хирургической операции, можно задуматься о том, к какому объему гематомы будет получен доступ. Поле доступа можно представить в виде конусообразной фигуры со сфeroобразным основанием. Если закрепить стержень с одного конца так, чтобы он мог вращаться в поле сектора с фиксированным углом, то поле, которое коснётся стержень будет выглядеть, как вышеописанная фигура.



a)



b)

Рисунок 3.2. Представление обзора хирургических инструментов:

a) вид сбоку;

b) вид сзади

На рисунке 3.2 изображена фигура, о которой идет речь. Градус покрытия данной сферы – 20° . Этую фигуру можно получить, если из центра сферы пустить конус. При этом вершина

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					UTM 0714.6.002 ME

конуса и центр шара должны совпадать. Пересечением этих двух фигур окажется изучаемая фигура.

Данная фигура была получена, используя вышеннаписанную логику, программно, с помощью Python. Была использована функция из библиотеки pystvista - boolean_intersection. Сперва создаются сами первичные фигуры, затем они помещаются в пространстве таким образом, чтобы получилась искомая фигура. Затем вызывается сама функция. Логика этой функции довольно проста: поверхность пересечения складывается из поверхностей пересекаемых объектов.

Возможны и более сложные представления обзора инструментов, но они выходят за рамки текущей работы.

3.3 Идентификация направления доступа к гематоме

В этом параграфе будут начаты рассматриваться проблемы, связанные с анализом гематомы и ответом на главный вопрос работы – нахождения наибольшего объема доступа к гематоме. Чтобы ответить на этот вопрос необходима как-то вычислять объем доступа. Можно применить ту же логику получения фигуры пересечения, которая была использована предыдущем параграфе, но на этот раз будут пересекаться фигура обзора и непосредственно гематома.

Первая проблема, которая возникает – как будет расположена фигура обзора и модель гематомы в пространстве по отношению к друг другу. Разумеется, они должны пересекаться. Вспомним, что в работе идет речь об эпидуральной гематоме (рисунок В.1), которая прилегает некоторой своей площадью поверхности к черепной коробке. В области соприкосновения гематомы и черепа и будет производится сверление черепа для доступа к гематоме. Учитывая этот подход к произведению операции, необходимо расположить модель обзора правильным образом.

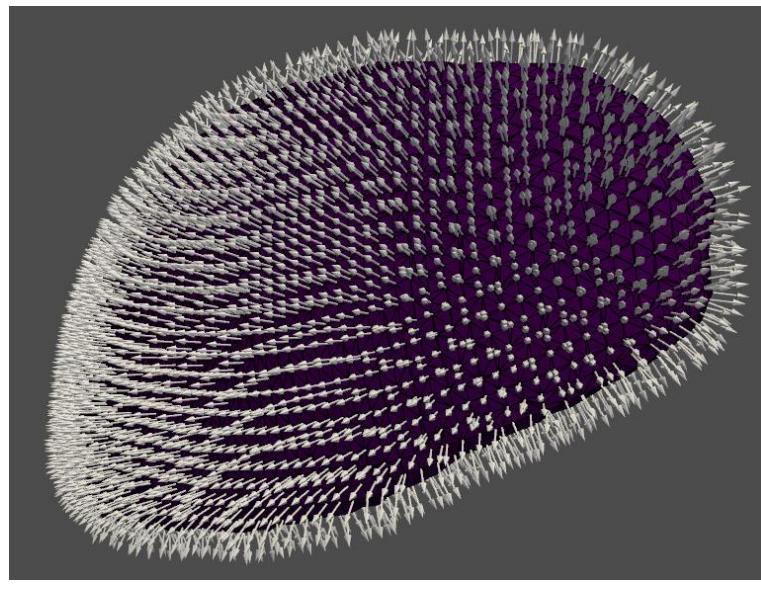
Если речь идет о программном подходе к решению проблемы, необходимо идентифицировать поверхность гематомы, которая контактирует с черепом. Решение у этой проблемы есть – можно воспользоваться следующим алгоритмом.

1. Определить центр головного мозга в пространстве гематомы.
2. Вычислить нормаль каждой вершины гематомы.
3. Для каждой вершины гематомы, определить вектор от центра головного мозга до вершины и найти разницу в наклоне с нормалью текущей вершины (рисунок 3.2).
4. Если разница наклона невелика, то можно предположить, что вершина принадлежит поверхности гематомы, которая контактирует с черепом.

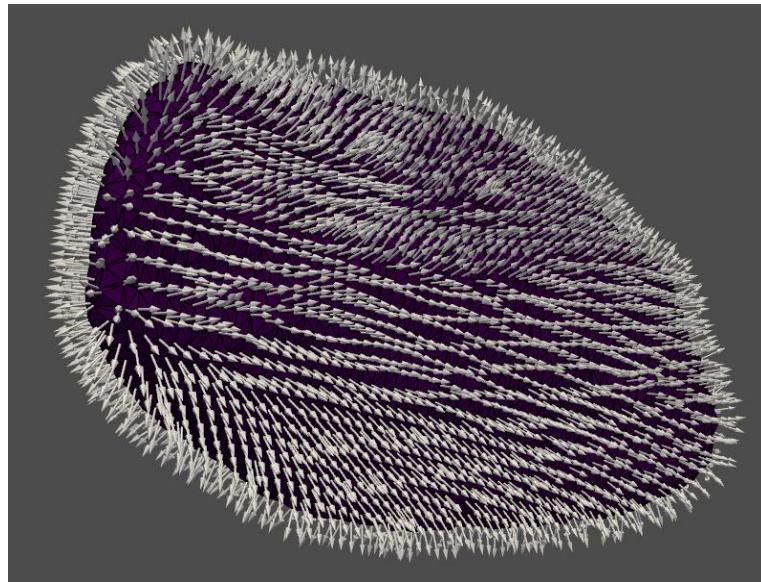
Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	UTM 0714.6.002 ME	33

Определить центр головного мозга можно ориентируясь по снимкам КТ. На них головной мозг находится по центру. Каждый снимок имеет свою координату по высоте. Модель построена как раз в этой системе координат, а единица измерения – это пиксель. Взяв координаты центра снимка и координату высоты, скажем, снимка IM80.png (рисунок 1.3) можно определить центр головного мозга.

Процедура нахождения центра головного мозга программным способом возможна, но нуждается разработке, что требовательно ко времени, поэтому этот параметр был взят не без зрительной оценки.



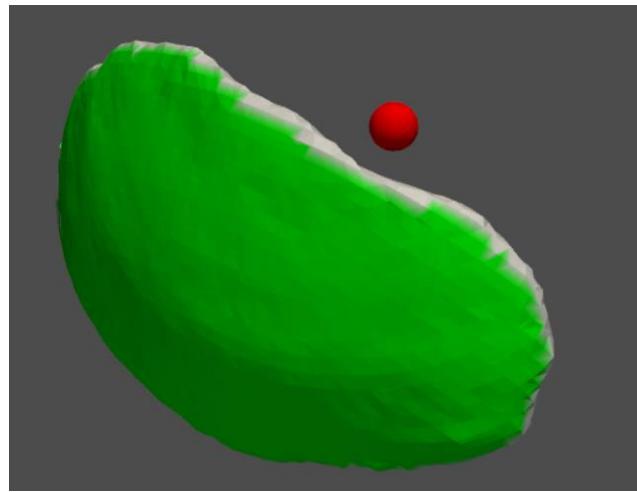
a)



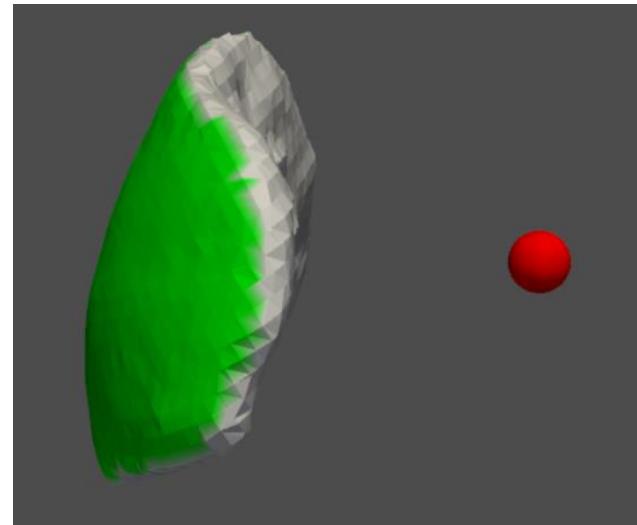
b)

Рисунок 3.2. Изображение нормалей к вершинам гематомы:
a) вид спереди;
b) вид сзади

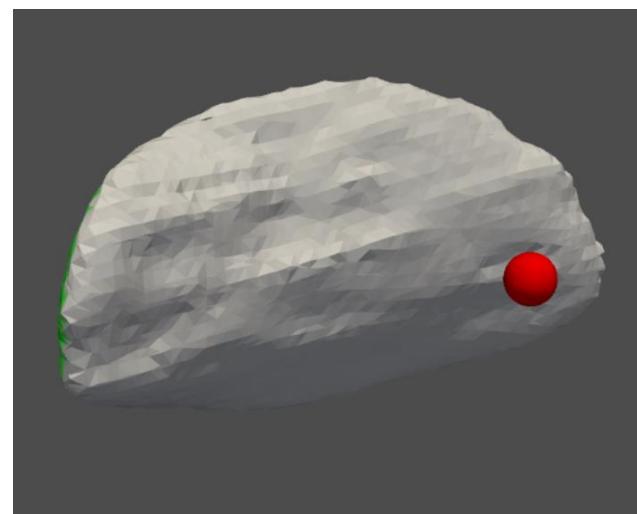
Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						34



a)



b)



c)

Рисунок 3.3. Модель гематомы с идентифицированной прилегающей к черепу поверхностью:

- a) вид спереди;
- b) вид сбоку;
- c) вид сзади

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						35

Теперь, зная взаимное расположение центра головного мозга, можно определить нужную нам поверхность. На рисунке 3.3 визуально показана эта поверхность – она разукрашена в зелёный цвет. Это представление её взаимного расположения с центром головного мозга, изображен красной сферой. Алгоритм инициализации, использованный тут подобен тому, который используется для работы освящения в компьютерной графике. Можно сказать, что та часть, которую центр головного мозга «не освещает» и является искомой поверхностью.

3.4 Определение объёма гематомы

Теперь, зная с какой стороны можно расположить модель обзора, можно заняться нахождением объема пересечения модели гематомы и модели обзора. Если считать, что «вектор» модель обзора идет от её вершины, до основания, то можно сказать, что модель обзора будет расположена противоположно соответствующей нормали вершины гематомы. При этом необходимо определиться с расстоянием от вершины модели обзора до вершины гематомы. Она будет взята небольшая, предполагая, что ось инструмента будет располагаться в паре миллиметров от черепа, конечно, с наружной части.

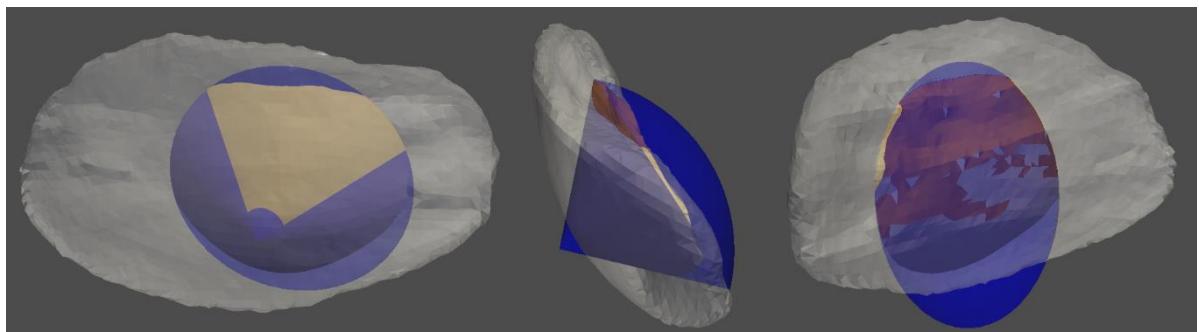


Рисунок 3.4. Пересечение модели гематомы и модели обзора

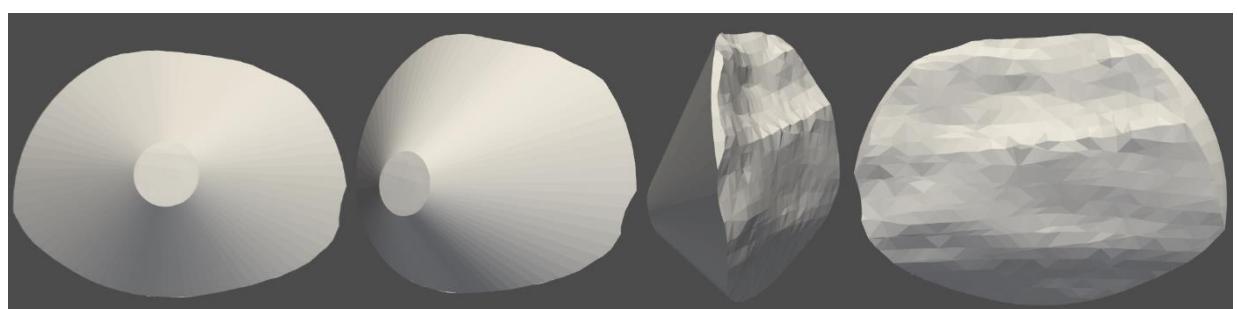


Рисунок 3.5. Фигура пересечения между моделью обзора и гематомы

На рисунке 3.4 изображено взаимное расположение модели гематомы и модели обзора. В целях демонстрации, модель обзора расположена таким образом, чтобы охватить максимальную часть гематомы, процесс её получения будет рассмотрен в следующей главе. Программным

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					UTM 0714.6.002 ME

способом расположить модель обзора в желаемую позицию достаточно проблематично – необходимо использовать линейную алгебру, что затратно как по времени разработки программы, так и по времени её выполнения.

В конечном итоге, после применения функции `pyvista - boolean_intersection`, получается модель пересечения между модели обзора и гематомы (рисунок 3.5). Модели получилась достаточно отчётливой и правильной формы. Её объём необходимо посчитать. Она вычисляется по обращению к полю объекта модели в Python, `volume`.

3.5 Определение максимального доступного объема гематомы для одной точки

Чтобы определить максимальный объем пересечения между фигурой обзора и гематомы, необходимо итеративно посчитать этот объем для каждой валидной вершины модели гематомы. То есть нужно провести операцию из прошлого параграфа для каждой вершины, сохраняя при этом значение объема в памяти для каждой вершины. Теоретически, ответом будет вершина при максимальном объеме пересечения.

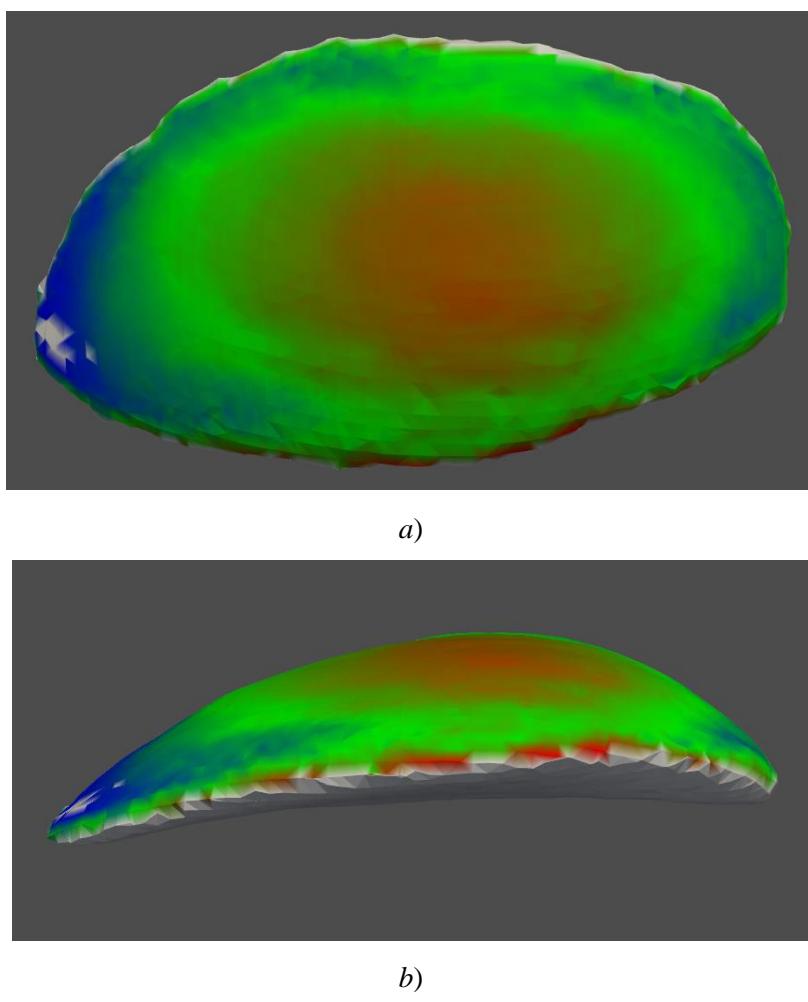


Рисунок 3.6. Модель гематомы с раскрашенной на ней картой значений объемом для каждой валидной вершины модели:

a) вид спереди;

b) вид сзади

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					37

После завершения процедуры вычисления объемов получается массив объёмов в зависимости от вершин модели гематомы. Визуально их можно отобразить в виде цветной карты, нанесенной на анализируемую поверхность гематомы (рисунок 3.6). На ней отображается зависимость объема от соответствующей проанализированной вершины в порядке возрастания синим, зелёным и красным цветами, и их переходными оттенками. Так, наиболее ценная информация помечена красным цветом – это и есть участки, при проделывании отверстий через которых можно будет удалить большую часть гематомы. В полученной карте объемов можно заметить некоторую площадь на острых краях модели, помеченную красным цветом. С точки зрения алгоритма это тоже искомые участки – если посмотреть на них со стороны соответствующей нормали, то можно увидеть существенный доступный объем. В этом частном случае эти объемы максимальны. Это побочный эффект из-за недостатков алгоритма нахождения поверхности гематомы, соприкасающейся с черепной коробкой. Их можно визуально отфильтровать, отсортировав карту по объему для каждой вершины.

На этом этапе работу можно считать завершённой, так как основная задача выполнена.

3.6 Определение максимального доступного объема гематомы для двух точек

В случае, когда доступный объем удаления гематомы при лучшей точке слишком мал, например, он составляет 50-40% от общего объема гематомы, то можно найти две самые удачные точки похожему алгоритму, которые используется в предыдущем параграфе.

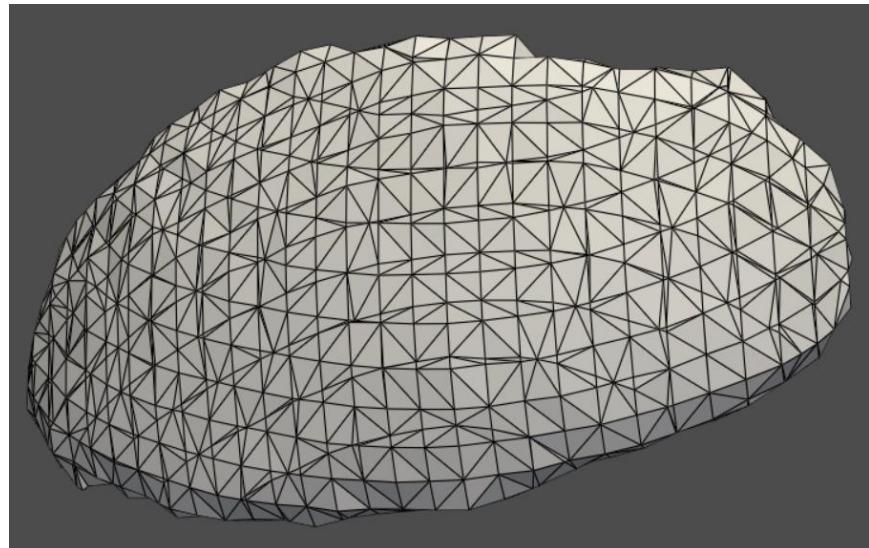
Суть нового алгоритма заключается в том, что он итеративно находит доступный объем сразу для двух точек. Необходимо провести эту операцию для всех возможных комбинаций пар точек. При этом объем фигура обзора, исходящая из двух точек, не должен считаться дважды в случае пересечения. Таким образом выбирается та комбинация точек, фигуры обзора которых охватывает максимальный объем гематомы в своем объединенном объеме.

Недостатком этого метода является его долгое время выполнения. В информатике временная сложность алгоритма определяется как функция от длины строки, представляющей входные данные, равная времени работы алгоритма на данном входе. Временная сложность алгоритма обычно выражается с использованием нотации « O » большое, которая учитывает только слагаемое самого высокого порядка, а также не учитывает константные множители, то есть коэффициенты. Если сложность выражена таким способом, говорят об асимптотическом описании временной сложности, то есть при стремлении размера входа к бесконечности. Например, если существует число, такое, что время работы алгоритма для всех входов длины $n > n_0$ не превосходит $5n^3 + 3n$, то временную сложность данного алгоритма можно асимптотически оценить как $O(n^3)$ [13]. В случае текущей задачи временная сложность алгоритма составит

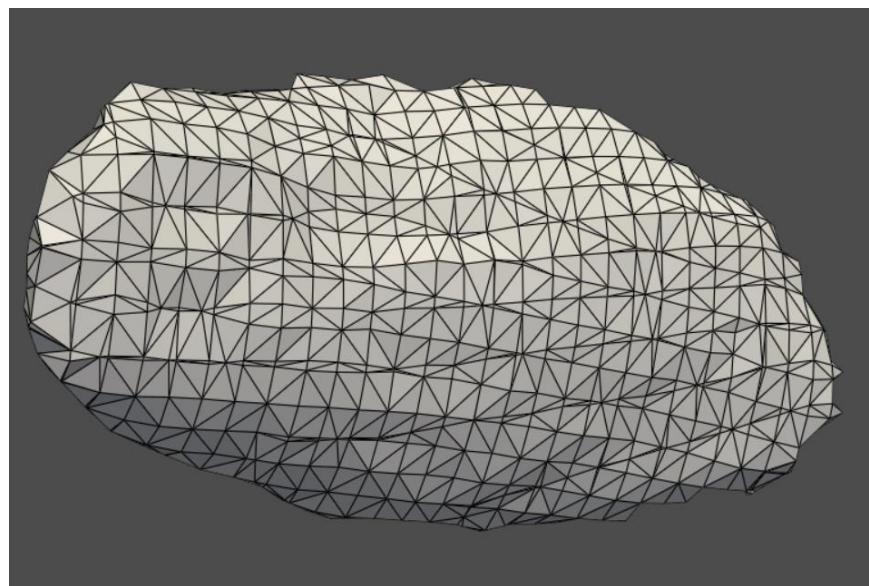
Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					UTM 0714.6.002 ME

$O(n^2)$, это без учета произведения дополнительных операций. Для сравнения, временная сложность алгоритма из предыдущего параграфа составляет $O(n)$.

У этой проблемы есть компромиссное решение – реконструировать 3D модель гематомы с меньшим количеством вершин (рисунок 3.7). При этом, естественно, некоторая полезная информация потеряется.



a)



b)

Рисунок 3.4. 3D модель гематомы с меньшим количеством вершин:

- a) вид спереди;
- b) вид сзади

По сравнению с моделью на рисунке 2.7, алгоритмы анализа этой модели занимает в 20-50 раз меньше времени в зависимости от алгоритма.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	39
					UTM 0714.6.002 ME	

4 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАН КОМПЬЮТЕРА

Для успешного использования программного обеспечения по постройке и анализу 3D модели гематомы необходимо разработать программный интерфейс. Программный интерфейс приложения – это набор протоколов, методов, функций или команд, которые программисты используют для разработки программных продуктов или для ускорения взаимодействий между различными системами. Программные интерфейсы доступны для классических и мобильных приложений и, как правило, используются для программирования компонентов графического пользовательского интерфейса, а также для обеспечения программных продуктов возможностью запрашивать и адаптировать сервисы других программ.

Программный интерфейс, как правило, состоит из двух основных элементов: технической спецификации, которая описывает как приложения обмениваются информацией и состоит из запроса для протоколов обработки и доставки данных, и программного интерфейса, который реализует эти протоколы.

В основе лежит принцип, в той или иной форме определяющий всю историю цифровых технологий: большинство подобных технологий базировалось на взаимодействии между уникальными программами и цифровыми системами. Но благодаря развитию Всемирной паутины и последующему буму интернет-компаний на рубеже смены тысячелетий потребность в этой технологии приобрела беспрецедентный масштаб.

Так же необходимо разработать графический интерфейс. Графический пользовательский интерфейс (GUI) – это тип пользовательского интерфейса, который позволяет пользователям перемещаться по компьютеру или устройству и выполнять действия с помощью визуальных индикаторов и графических значков. Все основные операционные системы, такие как Windows, Mac, IOS и Android, имеют графический интерфейс, в котором можно щелкнуть значок, чтобы выполнить такое действие, как открытие приложения, просмотр меню или перемещение по вашему устройству. Первоначально GUI были разработаны для использования с мышью и клавиатурой, но теперь широко используются во многих портативных мобильных устройствах, таких как смартфоны и планшеты, и которые используют комбинацию технологий для обеспечения платформы для взаимодействия. В отличие от операционной системы с командной строкой или CUI, операционные системы GUI намного проще изучать и использовать для новичков, потому что команды не нужно запоминать, а пользователям не нужно знать языки программирования.

Единого изобретателя GUI не было, и его история связана с некоторыми из самых известных имен в области вычислений, в первую очередь с Apple, которая впервые внедрили ее

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	40
					UTM 0714.6.002 ME	

в свои компьютеры Lisa и Macintosh. Графические интерфейсы значительно изменились за эти годы и продолжают расти в области распознавания речи и технологии обработки естественного языка, которая управляет многими устройствами через голосовые помощники.

Главным преимуществом GUI является то, что эти системы, доступны для людей всех уровней знаний, от абсолютного новичка до продвинутого разработчика или других технологов. Они позволяют простым пользователям открывать меню, перемещать файлы, запускать программы или искать в Интернете, не указывая компьютеру функции для выполнения через командную строку. GUI также обеспечивают мгновенную обратную связь. Например, щелчок на значке откроет его, и это можно увидеть в режиме реального времени. Используя интерфейс командной строки, вы не будете знать, является ли это действительной записью, пока вы не нажмете return; если это недействительно, ничего не произойдет.

На текущем этапе удобного графического интерфейса нет. Необходимо использовать среду разработки для запуска программы. Как для разработки, так и для использования программного обеспечения используется программа Visual Studio Code.

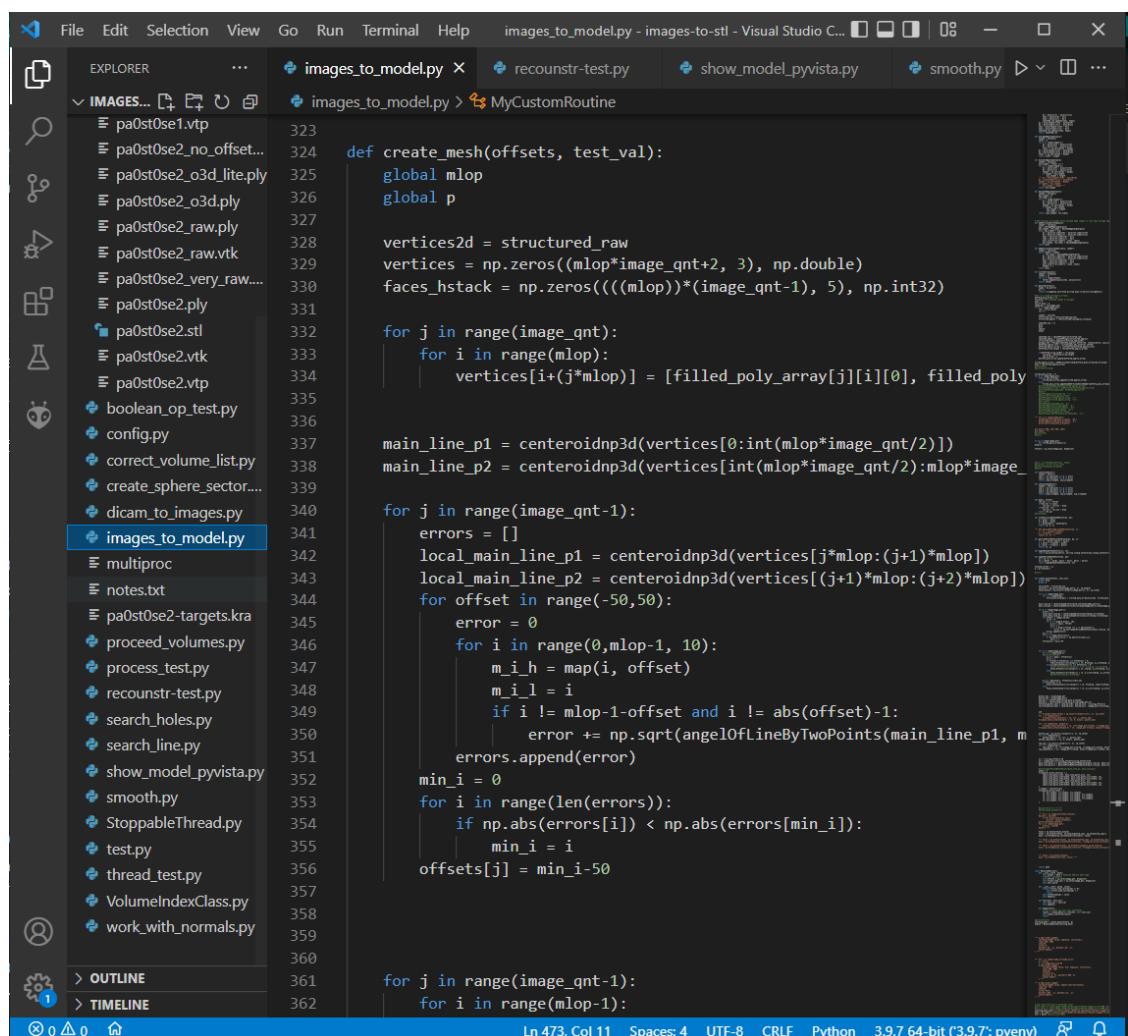


Рисунок 4.1. Интерфейс программы Visual Studio Code

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data

Visual Studio Code — это редактор исходного кода. Он имеет многоязычный интерфейс пользователя и поддерживает ряд языков программирования, подсветку синтаксиса, IntelliSense, рефакторинг, отладку, навигацию по коду, поддержку Git и другие возможности. Многие возможности Visual Studio Code недоступны через графический интерфейс, зачастую они используются через палитру команд или JSON-файлы (например, пользовательские настройки). Палитра команд представляет собой подобие командной строки, которая вызывается сочетанием клавиш. VS Code также позволяет заменять кодовую страницу при сохранении документа, символы перевода строки и язык программирования текущего документа.

С 2018 года появилось расширение Python для Visual Studio Code с открытым исходным кодом. Оно предоставляет разработчикам широкие возможности для редактирования, отладки и тестирования кода. Также VS Code поддерживает редактирование и выполнение файлов типа «Блокнот Jupyter» напрямую «из коробки» без установки внешнего модуля в режиме визуального редактирования и в режиме редактирования исходного кода.

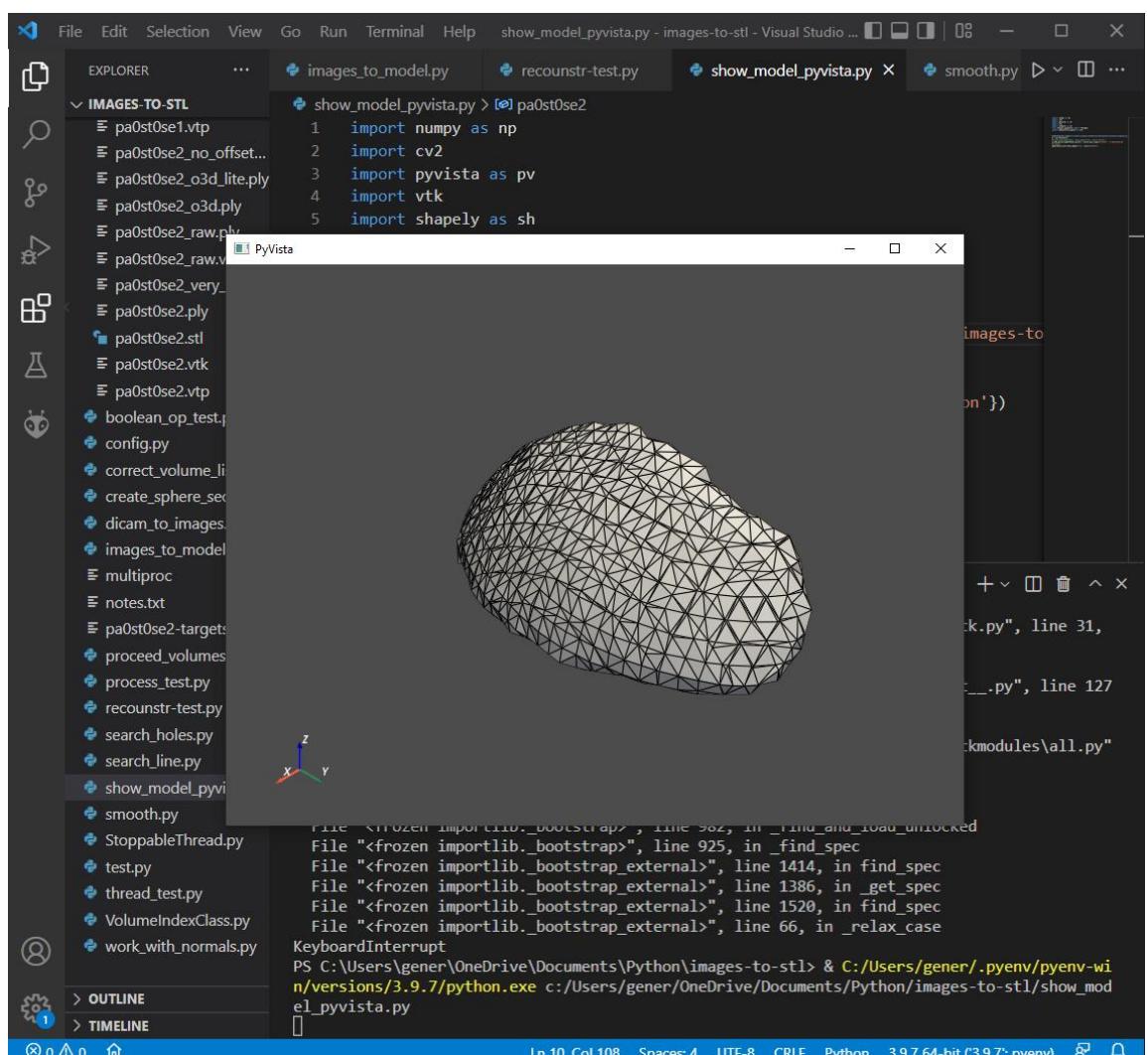


Рисунок 4.2. Интерфейс визуализатора 3D модели

Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	Coala
					42

На март 2019 года посредством встроенного в продукт пользовательского интерфейса можно загрузить и установить несколько тысяч расширений только в категории «programming languages» (языки программирования). Также расширения позволяют получить более удобный доступ к программам, таким как Docker, Git и другие. В расширениях можно найти линтеры кода, темы для редактора и поддержку синтаксиса отдельных языков [14].

Для работы с разработанным ПО необходимо запустить Visual Studio Code и импортировать туда папку с проектом. Проект загружен в GitHub. GitHub – это крупнейший веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки. Веб-сервис основан на системе контроля версий Git и разработан на Ruby on Rails и Erlang компанией GitHub, Inc. Сервис бесплатен для проектов с открытым исходным кодом и небольших частных проектов, предоставляя им все возможности, а для крупных корпоративных проектов предлагаются различные платные тарифные планы.

Таким образом проект можно импортировать прямо из GitHub по ссылке:

<https://github.com/GeneralTao2/diplom-work>

Чтобы запустить программу необходимо нажать кнопку Старт в правом верхнем углу интерфейса. После старта программы появится окно с визуализатором модели (рисунок 4.2). В этом окне возможно вращение модели и её масштабирование. Также дополнительные возможности можно запрограммировать.

В совершенстве разрабатываемая программа имеет свой собственный GUI, но её разработка требует хорошего знания технологии GUI и также процесс является довольно времязатратным.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	43
					UTM 0714.6.002 ME	

5 РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В этой главе будет описано руководство пользователя программного обеспечения, разработанного в этой работе. Хоть графического интерфейса в совершенстве и нет, тут будут описана инструкция пользования того, что уже готово. Так же эта инструкция может быть использована, как руководство по ознакомлению с проектом в целях дальнейшей разработке.

В предыдущей главе некоторая часть информации о программном обеспечении уже была покрыта. Считается, что пользователь уже разобрался в программе Visual Studio Code и импортировал разработанный проект.

Проект состоит из набора скриптов и некоторых вспомогательных папок, и файлов, необходимых для хранения исходных, промежуточных и финальных данных. Тут будут рассмотрены самые важные из них. Все эти файлы и папки можно увидеть во встроенным проводнике программы Visual Studio Code (рисунок 5.1).

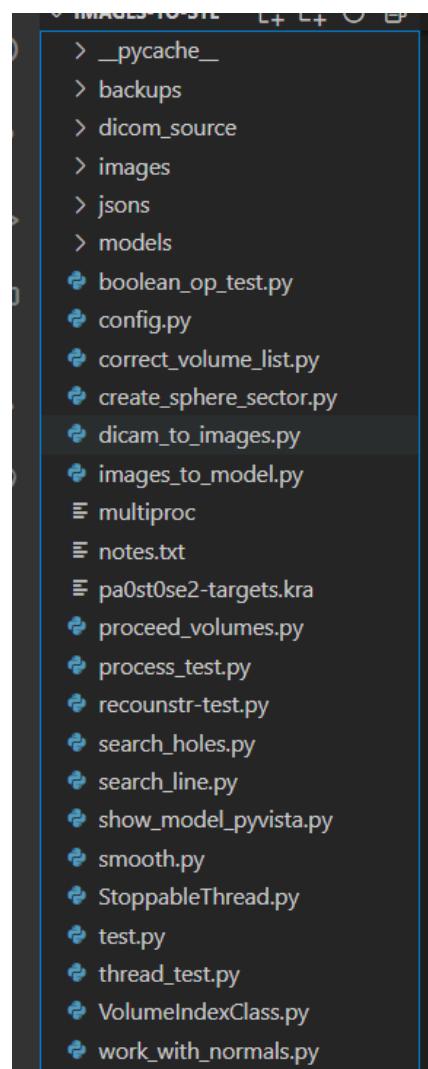


Рисунок 5.1. Встроенный проводник в программе Visual studio code

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	44
					UTM 0714.6.002 ME	

dicom_source

Тут хранятся исходные файлы с DICOM изображениями. Их можно напрямую скопировать из CD диска и вставить туда. При этом также необходимо скорректировать пути к массиву с исходными данными в файлах скриптов.

images

В этой папке хранятся изображения после конвертации их из формата DICOM. Тут же, после конвертации специалист должен будет пометить снимки компьютерной томографии зеленым цветом в тех местах, где видна гематома.

jsons

В этой папке хранятся промежуточные данные об анализе гематом в формате json. JSON – это текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript. Как и многие другие текстовые форматы, JSON легко читается людьми. Формат JSON был разработан Дугласом Крокфордом.

models

Тут хранятся 3D модели гематом в различных форматах и качествах, в зависимости от того, какие будут конфигурации в скриптах. Их можно визуализировать с помощью других программ, а также распечатать на 3D принтере с помощью 3D печати. 3D-печать – это процесс аддитивного производства, потому что, в отличие от традиционного субтрактивного производства, трехмерная печать не удаляет материал, а добавляет его, слой за слоем – то есть выстраивает или выращивает.

dicam_to_images.py

В этом файле написан скрипт конвертации DICOM файлы в PNG изображения. Перед запуском необходимо убедить в правильности написания пути в папке с исходными файлами и папки для сохранения сконвертированных файлов.

images_to_model.py

Тут происходит преобразования изображений компьютерной томографии в 3D модель гематомы. Перед запуском необходимо убедиться в наличии готовых, помеченных изображений компьютерной томографии.

create_sphere_sector.py

В этом файле находится скрипт с классом, который может создать модель обзора необходимых размеров.

reconstr-test.py

Тут находится скрипт, отвечающий за реконструкции модели гематомы. Это опциональных скрипта. Однако для лучшей работы приложения его тоже следует запустить. Перед запуском следует убедиться в наличии первичной 3D модели гематомы.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					UTM 0714.6.002 ME

work_with_normals.py

Тут происходит идентификация поверхности модели гематомы, которая контактирует с черепной коробкой головы человека. Перед запуском необходимо убедиться в наличии 3D модели гематомы. Скрипт сохранит информацию об идентифицированной поверхности в отдельном файле в папке json.

proceed_volumes.py

В этом скрипте производится вывод на экран гематомы с нанесённой на её поверхность картой объемов.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						46

6 НАДЕЖНОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА

6.1 Надежность системы

В теории надежности используют понятия объект, элемент, система.

Объект – техническое изделие определенного целевого назначения, рассматриваемое в периоды проектирования, производства, испытаний и эксплуатации.

Объектами могут быть различные системы и их элементы, в частности: сооружения, установки, технические изделия, устройства, машины, аппараты, приборы и их части, агрегаты и отдельные детали.

Элемент системы – объект, представляющий отдельную часть системы. Само понятие элемента условно и относительно, так как любой элемент, в свою очередь, всегда можно рассматривать как совокупность других элементов.

Понятия система и элемент выражены друг через друга, поскольку одно из них следовало бы принять в качестве исходного, постулировать. Понятия эти относительны: объект, считавшийся системой в одном исследовании, может рассматриваться как элемент, если изучается объект большего масштаба. Кроме того, само деление системы на элементы зависит от характера рассмотрения (функциональные, конструктивные, схемные или оперативные элементы), от требуемой точности проводимого исследования, от уровня представлений, от объекта в целом.

Человек – оператор также представляет собой одно из звеньев системы человек-машина.

Система – объект, представляющий собой совокупность элементов, связанных между собой определенными отношениями и взаимодействующих таким образом, чтобы обеспечить выполнение системой некоторой достаточно сложной функции.

Признаком системности является структурированность системы, взаимосвязанность составляющих ее частей, подчиненность организации всей системы определенной цели. Системы функционируют в пространстве и времени.

Исправность – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией (НТД).

Неисправность – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных НТД.

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров в пределах, установленных НТД.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						47

Основные параметры характеризуют функционирование объекта при выполнении поставленных задач и устанавливаются в нормативно-технической документации.

Неработоспособность – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного заданного параметра характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным НТД.

Для заданной автоматической системы будет рассмотрено такое свойство как безотказность.

Так как рассматривается именно система, а не отдельный ее объект, необходимо понимать, что безотказность системы P_s – это произведение безотказности каждого из ее элементов (6.1).

$$P_s = P_1 * P_2 * P_3 * P_n. \quad (6.1)$$

С определением надежности отдельно взятого объекта поможет одно из основных уравнений теории надежности (6.2)

$$P(t) = e^{(-\lambda t)}, \quad (6.2)$$

где t есть период времени в часах, на котором исследуется показатель надежности, λ – интенсивность отказов, то есть плотность вероятности возникновения отказа.

Предположим, что исследуемый промежуток времени – это месяц безостановочной работы $t = 720$ часов.

Статистическое значение интенсивности отказов может быть определено как отношение числа изделий, отказавших в единицу времени, к среднему числу изделий, исправно работающих в данный промежуток времени:

$$\lambda^{(*)}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \Delta t}, \quad (6.4)$$

где Δt есть принятый достаточно малый интервал времени, $n(\Delta t)$ – количество изделий, отказавших в интервале от $t - \Delta t/2$ до $t + \Delta t/2$, $N_{cp} = (N1 + N2)/2$ – среднее количество изделий, исправно работающих в интервале Δt , $N1$ – количество изделий, исправно работающих в начале интервала, $N2$ – количество изделий, исправно работающих в конце интервала.

Для текущей работы деталями можно считать файлы со скриптами, так как они выполняют решающую роль в процессе создания 3D моделей. Отказом скрипта будет считаться ошибкой в процессе выполнения скрипта. Надежность скрипта зависит от количества строк кода в файле и профессионализма программиста. Исследований на тему зависимостей объема кода и профессионализма в публичном доступе нет, можно лишь сказать, что вероятность ошибки в программе прямо пропорциональна количеству кода и обратно пропорционально профессиональному программисту. Скажем, что программист с опытом работы 10 лет допустит

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala
					UTM 0714.6.002 ME

ошибку в одно строчке кода с вероятностью в 0.0001%, тогда вероятность ошибки для каждого файла вычислена по формуле 6.1:

$$\lambda_{\text{скрипта}} = 0.0001\% * n_{\text{скрипта}}, \quad (6.5)$$

где $n_{\text{скрипта}}$ – количество строк кода в скрипте.

Таким образом получим вероятность ошибки для каждого файла (таблица 6.1). Исходя из рассчитанных вероятностей ошибок можно посчитать процент отказоустойчивости для каждого скрипта (6.6) при их работе в 3 месяца.

$$\begin{aligned} P_1(t) &= e^{(-\lambda_1 t)} = e^{(-0.0066\% * 720\text{ч})} = 0.9536, \\ P_2(t) &= e^{(-\lambda_2 t)} = e^{(-0.0043\% * 720\text{ч})} = 0.9695, \\ P_3(t) &= e^{(-\lambda_3 t)} = e^{(-0.055\% * 720\text{ч})} = 0.6730, \\ P_4(t) &= e^{(-\lambda_4 t)} = e^{(-0.0086\% * 720\text{ч})} = 0.94, \\ P_5(t) &= e^{(-\lambda_5 t)} = e^{(-0.0264\% * 720\text{ч})} = 0.8269, \\ P_6(t) &= e^{(-\lambda_6 t)} = e^{(-0.053\% * 720\text{ч})} = 0.9626. \end{aligned} \quad (6.6)$$

Таблица 6.1. Расчёты вероятностей ошибок в скриптах

Обозначение	Имя файла	Расчёт	Ответ
λ_1	create_sphere_sector.py	$0.0001\% * 66$	0.0066%
λ_2	dicam_to_images.py	$0.0001\% * 43$	0.0043%
λ_3	images_to_model.py	$0.0001\% * 550$	0.055%
λ_4	proceed_volumes.py	$0.0001\% * 86$	0.0086%
λ_5	recounstr-test.py	$0.0001\% * 264$	0.0264%
λ_6	work_with_normals.py	$0.0001\% * 53$	0.0053%

Теперь зная надежность каждого из компонентов системы рассмотрим безотказность системы по формуле (6.1):

$$\begin{aligned} P(t) &= P_1(t) * P_2(t) * P_3(t) * P_4(t) = \\ &= 0.9536 * 0.9665 * 0.6730 * 0.94 * 0.8269 * 0.9662 = 0.4655. \end{aligned} \quad (6.7)$$

Исходя из полученных данных можно с уверенностью сказать, что шанс отказа системы за 720 часов беспрерывной работы составляет примерно 46%. Для программного обеспечения на ранних этапах использования это нормальная цифра. По этой причине для него регулярно выпускаются обновления.

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						49

6.2 Материальные и нематериальные активы

По форме активы делятся на материальные, нематериальные и финансовые. Материальные активы – это физическое имущество: оборудование, топливо, мебель, здания, инструмент и так далее.

К материальным активам относится любое физическое имущество. В таблице 6.2 отображены все материальные активы данного проекта.

Финансовыми активами называют деньги и денежные эквиваленты, такие как депозиты на счетах в финансовых учреждениях, займы выданные, акции и облигации других организаций.

Фирма использует все виды имущества. В то же время роль нематериальной составляющей возросла из-за влияния информационных технологий и информации в целом на успешность бизнеса. Чем больше нематериальных активов использует компания, тем более высокотехнологичный продукт она производит.

Таблица 6.2. Материальные активы

Наименование	Единица измерения	Количество	Тариф /за единицу, MDL	Общая стоимость, MDL
Ноутбук с процессором i5 10600M, видеокартой GTX 1650 Ti и 12 Гб RAM	шт.	1	15,000.00	15,000.00
CD-диск на 4.7 Гб	шт.	1	50.00	50.00
Всего	шт.	16	x	15,050.00

Нематериальными активами же считаются любые ценные неосязаемые объекты, такие как патенты, лицензии или права.

В текущем проекте некоторые из нематериальных активов, такие, как лицензия на операционную систему Windows 10 уже включены в стоимость ноутбуков из таблицы 6.1.

Остальные нематериальные активы имеют бесплатную лицензию с разрешением на использование их в коммерческих целях.

6.3 Прямые затраты

Прямые затраты — это то, что потрачено на производство конкретных товаров или услуг. Такие расходы можно включить в себестоимость: например, стоимость сырья и зарплаты сотрудников, которые работали над продуктом, коммунальные платежи (6.8):

$$Q = N * W * t, \quad (6.8)$$

где W есть мощность кВт/час, N количество объектов, потребляющих электроэнергию, t время в течение которое они потребляли ресурс.

Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala

Таблица 6.3. Прямые затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Тариф / за единицу, MDL	Общая стоимость, MDL
Электричество	кВт час	63.93	1.73	65.39
Ноутбук с процессором i5 10600M, видеокартой GTX 1650 Ti и 12 ГБ RAM	шт.	1	15000.00	15000.00
CD-диск на 4.7 ГБ	шт.	10	50.00	50.00
Всего	x	x	x	15115.36

В случае разработки данного проекта все три рабочих месяца по шесть часов в день использовался только ноутбук, мощность которого, исходя из тестов составляет 100 Вт, то есть 0.1 кВт. Из этого получим:

$$Q = N * W * t = 1 * 0.1 \frac{\text{кВт}}{\text{ч}} * 378 \text{ ч} = 37.8 \text{ кВт.}$$

Теперь зная точное количество потребленной электроэнергии, можно рассчитать стоимость данного ресурса в национальной валюте по формуле (6.9).

$$E = T * q, \quad (6.9)$$

где T есть это тарифный план, цена которого корректируется местным поставщиком и государством, на данный момент стоимость одного кВт составляет 1.73 MDL, q – потраченная электроэнергия кВт.

Исходя из формулы (6.9) получаем:

$$E = T * q = 1.73 * 37.8 = 65.39 \text{ MDL.}$$

После получения расходов по электроэнергии, необходимо составить таблицу 6.3 всех прямых затрат.

6.4 Затраты на оплату труда

К таким расходам относятся весь персонал, участвующий в разработке и создании проекта. Стоимость труда же, оценивается в зависимости от времени и квалификации каждого сотрудника.

Инженер автоматизации получает от 100 до 200 MDL/ч, в нашем случае будет взят о среднее арифметическое. Количество часов в один рабочий день, который он проводит за проектом равно 6.

Куратор дипломной работы получает 80 MDL/ч. В течении трех месяцев помошь куратора оценена в размере 14 дней по 2 часа/день.

Общие расходы на оплату труда представлены в таблице 6.4.

Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	Coala	51
					UTM 0714.6.002 ME	

Таблица 6.4. Оплата труда

Функция сотрудника	Загруженность, месяц/дни/часы	Заработка плата по контракту, MDL	FSB, MDL	Премии, %	FRM, MDL
Инженер автоматизации	3/21/378	22500.00	0	0	22500.00
Куратор дипломной работы	3/14/84	6720.00			6720.00
Всего	x	x	x	x	29220.00

Взнос в фонд социального страхования рассчитывается по формуле (6.10):

$$FAS = FRM * C_{fs}(\%), \quad (6.10)$$

где $C_{fs}(\%)$ есть обязательный взнос, процентная ставка, которая устанавливается государством, в нашем случае $C_{fs}(\%) = 12\%$. Исходя из этого используя формулу (6.10) получаем:

$$FAS = FRM * C_{fs}(\%) = 29220.00 * 0.12 = 3506.4 \text{ MDL}.$$

Взнос обязательного медицинского страхования ($C_{am}(\%) = 9\%$) рассчитываются по формуле (6.11):

$$FAM = FRM * C_{am}(\%) = 29220.00 * 0.09 = 2629.8 \text{ MDL}. \quad (6.11)$$

4.5 Косвенные затраты

Косвенные затраты – затраты, которые, в отличие от прямых затрат, не могут быть напрямую отнесены на себестоимость изготовления продукции (оказания услуг, предоставления работ) предприятием или организацией. Косвенные затраты распределяются пропорционально между различными видами продукции по определённой базе. В виде базы могут быть взяты следующие прямые затраты: заработка плата производственных рабочих, стоимость израсходованных материалов, объём выполненных работ и т. д.

К косвенным затратам относятся: административно-управленческие расходы, затраты на повышение квалификации персонала, издержки в инфраструктуре производства, затраты в социальной сфере и др.

Затраты на освещение производственного помещения можно определить по формуле (6.12):

$$E = T_e * t * N * S * m / 1000, \quad (6.12)$$

где t есть часы использования комнаты в день, S – освещаемая площадь, n – количество дней пользования помещением, m – потребление электричества на квадратный метр, T_e – тариф на кВт электроэнергии. Используя формулу (6.12), получается:

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	52
					UTM 0714.6.002 ME	

$$E = 6 \text{ ч} * 90 \text{ дней} * 1.73 \frac{15\text{kB}}{\text{час}} * 50 \text{ м} \frac{\text{kB}}{1000} = 700.65 \text{ MDL.}$$

Стоимость аренды производственного помещения определяется по формуле (6.13):

$$Ch. arendă = S * tarif * T, \quad (6.13)$$

где S есть площадь помещения, T – срок аренды в месяцах, тариф в нашем случае равен 40 MDL.

Исходя из полученных данных находим стоимость аренды по формуле (4.6):

$$Ch. arendă = 50 * 40.00 * 3 = 6000.00 \text{ MDL.}$$

Стоимость интернет – услуг определяется по формуле (6.14):

$$Ch. internet = costu abonament * T, \quad (6.14)$$

где T – время предоставления услуг в месяцах, $costu abonament$ – стоимость услуги за месяц, в нашем случае абонемент стоит 170.00 MDL.

Исходя из формулы (6.13) получаем стоимость интернет-услуг данного проекта:

$$Ch. internet = 170.00 * 3 = 430.00 \text{ MDL.}$$

В таблице 6.5 можно увидеть все косвенные затраты данного проекта.

Таблица 6.5. Косвенные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Тариф / за единицу, MDL	Общая стоимость, MDL
Аренда помещения	м ²	50	40	6000.00
Электричество	кВт/ч	15	1.73	700.65
Интернет-услуги	месяц	3	170.00	430.00
Всего	x	x	x	6830.65

6.6 Амортизация активов

Амортизация – это способ распределения затрат актива на срок его полезной жизни для налогообложения и хранения записей. С течением времени ценность актива уменьшается из-за выработки и изнашивания. Амортизация начисляется активу, чтобы отобразить эту потерю ценности на периодической основе. Амортизировать актив можно в любое время после капитализации и до полного выбытия или удаления капитализации. Только активы счетов возрастной группы могут накапливать амортизацию после своего выбытия.

Формула расчета амортизационного фонда (6.15):

$$FA = \frac{MF_i}{DFU} * T_1, \quad (6.15)$$

где MF_i есть стоимость актива, DFU – продолжительность функционирования в месяцах, T_1 – продолжительность проекта.

Ниже произведен расчет износа актива системы:

$$FA_{\text{ноутбук}} = \frac{MF_i}{DFU} * T_1 = \frac{15,000.00}{36} * 3 = 1250.00 \text{ MDL.}$$

							Coala
Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data		UTM 0714.6.002 ME	53

6.7 Стоимость производства и экономико-финансовые показатели

После всех проведенных расчетов, можно подвести итоги по стоимости производства, сюда вошли: прямые расходы на материалы и оплату труда, государственные взносы, страхование, косвенные расходы и амортизация.

Все данные и расчеты отображены в таблице 6.6.

Таблица 6.6. Стоимость производства

Наименование	Стоимость, MDL	Соотношение, %
Прямой расход материалов	15115.36	25.82
Прямой расход на оплату труда	29220.00	49.90
Обязательные государственные взносы социального страхования (FAC)	3506.40	5.99
Страховая премия по обязательному медицинскому страхованию (FAM)	2629.80	4.49
Косвенные расходы	6830.65	11.67
Амортизация нематериальных активов в долгосрочной перспективе	1250.00	2.13
Всего	58552.34	100

Зная себестоимость единицы продукта, можно рассчитать рыночную цену продукта, разработанного методом „bottom-up”, по формуле (6.16).

$$P_{rz} = \text{Preț brut} + T.V.A, \quad (6.16)$$

где P_{rz} есть цена реализации продукта, $T.V.A$ – налог на добавленную стоимость, в республике Молдова, ставка равна 20%, Preț brut – валовая стоимость продукта, она рассчитывается по формуле (6.17).

$$\text{Preț brut} = \text{Preț de cost} + \text{Profit}, \quad (6.17)$$

где Preț de cost есть себестоимость продукта, Profit – желаемых доход с одной единицы продукции.

Так как данный проект не является товаром широкого производства, желаемый доход был установлен в 15% от стоимости продукта, исходя из этих данных получим стоимость валового продукта исходя из формулы (6.17)

$$\text{Preț brut} = 58,552.34 + 58,552.34 * 0.15 = 8782.80 \text{ MDL.}$$

Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data	Coala
					UTM 0714.6.002 ME
					54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении можно сказать, что была проделана большая работа по изучению предмета дипломной работы. Благодаря сотрудничеству с куратором, специалистом и консультантами удалось получить полезный инструмент для диагностирования довольно болезненной патологии, такой, как гематомы. Используя CD-диск с данными о компьютерной томографии, можно построить 3D модель гематомы и проанализировать её, получив полезную для диагностики информации.

Проект, в том виде, в котором он находится сейчас открыт для совершенствования, посредством замены одних алгоритмов на их более продвинутые аналоги, а также добавляя новые алгоритмы для анализа, обогащая функциональность инструмента.

Говоря конкретно о результате, удалось создать программное обеспечение, способное найти такую точку на черепной коробке человека, произведя отверстие, через которое, будет доступен максимальные объем гематомы, которые будет удалён. Этот инструмент освобождает хирурга от времязатратных математических вычислений и позволяет провести те же операции в «два клика».

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	55
					UTM 0714.6.002 ME	

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *TRANSMEDAVIA*: Виды и симптомы гематомы головного мозга, © 2011-2022 [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://www.transmedavia.ru/gospitalizatsiya/neurohirurgiya/gematoma-golovnogo-mozga/>
2. *SUKRUCAGLAR*: Кровоизлияние в мозг, © 2016 [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://www.sukrucaglar.com/ru/icerik/70/krovoizliyanie-v-mozg>
3. *THEJNS*: Estimating the global incidence of traumatic brain injury, © 1944-2022 [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://thejns.org/view/journals/j-neurosurg/130/4/article-p1080.xml>
4. *OPEN-FILE*: Файл с расширением .dicom, © 2008-2019 [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://open-file.ru/types/dicom>
5. *KAGGLE*: RSNA Intracranial Hemorrhage Detection, © 2022 [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://www.kaggle.com/c/rsna-intracranial-hemorrhage-detection>
6. *OPENCV*: Home – OpenCV, © 2022 [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://opencv.org/>
7. *MATPLOTLIB*: Matplotlib: Visualization with Python, © 2022 [цитирован 23.02.22].
Доступен: <https://matplotlib.org>
8. BERNARDINI, F., MITTELMAN, J., RUSHMEIER, H., SILVA, Cludio: The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction, *IEEE transactions on visualization and computer graphics* [онлайн], с. 5, [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://vgc.poly.edu/~csilva/papers/tvcg99.pdf>
9. *REGINOAAL HAIGLA*: Посттравматическое внутримозговое кровоизлияние или гематома. *Информационный лист*, © 2018 [онлайн], [цитирован 23.02.22]. Доступен: <https://www.regionaalhaigla.ee/sites/default/files/documents/ajutraumaatilinehematoomvnk.pdf>
10. *WIKIMEDIA COMMONS*: File: An illustration of the different types of brain hemorrhage.png, [онлайн], © 2019, [цитирован 06.05.22]. Доступен: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:An_illustration_of_the_different_types_of_brain_hemorrhage.png
11. YOGESH, Rana. Python: Simple though an Important Programming language. International Research Journal of Engineering and Technology. 2019. Volume: 06 Issue: 02, © 2019 [цитирован 06.05.22]. Доступен: <https://www.irjet.net/archives/V6/i2/IRJET-V6I2367.pdf>

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	Coala	56
					UTM 0714.6.002 ME	

12. SIPSER, Michael. Introduction to the Theory of Computation, © Course Technology Inc, 2006, [цитирован 06.05.22], [online]. ISBN-13: 978-1133187790. Доступен: <https://cglab.ca/~michiel/TheoryOfComputation/TheoryOfComputation.pdf>
13. DEL SOLE, A. Visual Studio Code Succinctly, *FreeComputerBooks.com* [онлайн] SyncFusion Inc., 2016. — 128 с., [цитирован 06.05.22]. ISBN-13: 978-1542809634. Доступен: <https://www.syncfusion.com/succinctly-free-ebooks/visual-studio-code-succinctly/code-editing-evolved-for-windows-linux-and-os-x>

Mod	Coala	Nr. document	Semnät.	Data	UTM 0714.6.002 ME	Coala
						57

					UTM 0714.6.002 ME	Coala
Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data		22