

# МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ЧЕЛОВЕКОМАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ НЕЙРОХИРУРГИИ

А. В. ТИМОФЕЕВ<sup>1</sup>, С. Э. ЧЕРНАКОВА<sup>2</sup>, М. В. ЛИТВИНОВ<sup>3</sup>,  
А. Д. АНИЧКОВ<sup>4</sup>, Ю. З. ПОЛОНСКИЙ<sup>5</sup>, А. В. КОЗАЧЕНКО<sup>6</sup>

<sup>1, 2</sup> Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, <sup>3</sup> Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д.Ф.Устинова, <sup>4, 5</sup> Институт мозга человека РАН, <sup>6</sup> Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

<sup>1, 2</sup> 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178; <sup>3</sup> 1-я Красноармейская ул., д. 1, Санкт-Петербург, 198005; <sup>4, 5</sup> ул. Академика Павлова, д. 9, Санкт-Петербург, 197376; <sup>6</sup> Кронверкский пер., д. 49, 197101

<sup>1</sup><tav@iias.spb.su>, <sup>2</sup><S\_chernakova@rambler.ru>,  
<sup>3</sup><sid-4D@inbox.ru>, <sup>4</sup><stereo@ihb.spb.ru>, <sup>5</sup><yzpol@pochta.ru>,  
<sup>6</sup><a\_kozachenko@mail.ru>

---

УДК 62-50, 623.681

Тимофеев А. В., Чернакова С. Э., Литвинов М. В., Аничков А. Д., Полонский Ю.З., Козаченко А.В. **Медицинские аспекты разработки систем человекомашинного взаимодействия с использованием моделей виртуальной реальности для нейрохирургии** // Труды СПИИ-РАН. Вып. 6. — СПб.: Наука, 2008.

**Аннотация.** В статье представлены результаты работы Лаборатории информационных технологий в управлении и робототехнике (ЛИТУР) Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН) совместно с лабораторией стереотаксических методов и нейрохирургической клиникой Института мозга человека РАН (ИМЧ РАН) по комплексному междисциплинарному проекту «Методы навигации и моделирования стереотаксических манипуляторов и медицинских роботов для нейрохирургии», поддержанного грантом СПб НЦ РАН в 2006 г. В процессе выполнения проекта были рассмотрены принципы проектирования адаптивных систем управления медицинскими роботами, включая технологии обучения с использованием интеллектуального человекомашинного интерфейса и средств виртуальной реальности. — Библ. 17 назв.

UDC 62-50, 623.681

Timofeev A. V., Chernakova S. E., Litvinov M. V., Anichkov A. D., Polonskiy U. Z., Kozachenko A. V. **The medical aspects of development of man-machine interaction systems with using of virtual reality models for neurosurgery** // SPIIRAS Proceedings. Issue 6. — SPb.: Nauka, 2008.

**Abstract.** The results of researches of the project «The Navigation and Modeling Methods for Stereotaxis manipulators and neurosurgery robots» supported by Saint Petersburg Scientific Center of RAS have been proposed. The adaptive control system design and teaching technology based on intellectual man-machine interface and virtual reality means for medical robot was developed by LITCR of SPIIRAS, Stereotaxis Methods Laboratory and Neurosurgery Clinic of Human Brain Institute RAS in 2006. — Bibl. 17 items.

---

## 1. Введение

Современная нейрохирургия требует разработки интеллектуального человекомашинного интерфейса типа «нейрохирург–компьютер» и «нейрохирург–робот», а также специальных методов навигации и управления движением нейрохирургических роботов для точного наведения медицинского инструмента с

использованием средств виртуальной реальности на базе современных информационных технологий и компьютерной томографии.

Данная работа является продолжением и развитием комплексного междисциплинарного проекта «Методы навигации и моделирования стереотаксических манипуляторов и медицинских роботов для нейрохирургии», выполненного в 2003 г. совместно СПИИРАН и ИМЧ РАН в рамках Научной программы СПб НЦ РАН [1,2].

Лаборатория стереотаксических методов ИМЧ РАН имеет большой научный задел и опыт в области разработки и практического использования нейрохирургических стереотаксических манипуляторов «ОРЕОЛ» и «ОРЕОЛ-П», созданных совместно с ЦНИИ “Электроприбор”. Эти манипуляторы были запатентованы в США [3,4], получили серебряную и бронзовую медали на Международной выставке BRUSSELS-EUREKA в 1994 г. и 1996 г., диплом международного салона изобретений в Женеве в 2000 г. и широко используются в клинической практике в Санкт-Петербурге и в России.

## 2. Характеристика положения в данной области

В последние годы в США, Японии и развитых странах Европейского Союза большое внимание уделяется использованию информационных технологий, компьютерной томографии, систем виртуальной реальности и робототехники для нейрохирургии.

Внедрение в клиническую практику компьютеров, систем виртуальной реальности и роботов значительно расширяет возможности нейрохирургии, повышает качество и надежность оперативного вмешательства и автоматизирует процессы диагностики, планирования и управления лечением пациентов.

Сегодня в России сложилась потребность в разработке автоматизированной ассистирующей системы для практической нейрохирургии, которая может использовать методы стереотаксического наведения в сочетании с компьютерной томографией, медицинскими роботами и современными средствами виртуальной реальности.

Внедрение в клиническую практику компьютеров и медицинских роботов значительно расширяет возможности нейрохирургии и автоматизирует некоторые функции хирургов. При этом достигается важный для нейрохирургии эффект, который характеризуют следующие показатели:

- автоматическое управление медицинскими инструментами без тремора (дрожания), возникающего у хирургов при многочасовых операциях;
- точная навигация и наведение медицинского инструмента;
- автоматическое нахождение целевых точек во внутримозговом пространстве пациента и планирование безопасных траекторий движения медицинского инструмента;
- оптимальная (с точки зрения эргономики) компоновка автоматизированного рабочего места хирурга.

Успешные испытания компьютерных технологий и нейрохирургических роботов были проведены в Johns Hopkins University и Harvard Medical School (США), University of Karlsruhe и Berliner Centrum für Mechatronische Medizintechnik (Германия), а также в других научно-исследовательских и медицинских центрах мира (в том числе в нейрохирургической клинике ИМЧ РАН).

### 3. Основные медицинские задачи и методы их решения

С точки зрения информатики и автоматизации нейрохирургия включает в себя следующие основные алгоритмические операции:

- определение пространственного положения внутримозговых мишеней (опухоль, гематома и т.п.) с помощью компьютерной томографии;
- навигацию (определение координат, ориентации и скорости движения) нейрохирургического инструмента;
- нацеливание и наведение инструмента на внутримозговые мишени с помощью системы управления программным движением нейрохирургического робота.

Для реализации этих операций созданы и использованы следующее медицинское оборудование и программно-алгоритмическое обеспечение:

- компьютерный (КТ) или магнитно-резонансный (МРТ) томографы для локализации внутримозговых мишеней;
- средства фиксации головы пациента;
- модель нейрохирургического робота и стереотаксический манипулятор;
- программно-аппаратные средства навигации медицинского инструмента и внутримозговых мишеней;
- методы планирования и адаптивной коррекции безопасных и наименее травматичных траекторий наведения нейрохирургического инструмента на внутримозговые мишени;
- алгоритмы высококачественного управления программным движением нейрохирургических манипуляторов и роботов.

Эффективное использование нейрохирургом этого оборудования и программного обеспечения невозможно без создания следующих средств:

- интеллектуального человекомашинного интерфейса, основанного на компьютерной томографии и силомоментном очувствлении [5];
- моделей виртуальной реальности медицинского робота и нейрохирургической операционной в динамическом режиме [6].

Для решения задачи определения пространственного положения внутримозговых мишеней исследовались перспективные кинематические схемы медицинских роботов с высококачественным управлением, ориентированные на нейрохирургию, в том числе кинематическая схема и динамическая модель нейрохирургического робота, спроектированного ЦНИИ «Электроприбор». Важно учитывать, что рабочая зона нейрохирургического робота и его компоновка в операционной должны обеспечить удобство и безопасность взаимодействия между хирургом, медицинским персоналом, пациентом и предлагаемыми средствами автоматизации.

Были разработаны средства навигации (определение текущих координат, ориентации и скорости движения) нейрохирургического инструмента на основе алгоритмов решения прямой задачи кинематики робота, предложены способы задания наиболее безопасных направлений наведения нейрохирургического инструмента на мишень мозга пациента в пределах конуса возможных направлений наведения инструмента в целевую точку мишени. По безопасным траекториям наведения нейрохирургического инструмента рассчитываются соответствующие программные движения и алгоритмы управления роботами на основе методов решения обратной задачи кинематики и динамики для нейрохирургического робота с учётом конструкционных ограничений и препятствий в рабочей зоне.

Решение задачи нацеливания и наведения свелось к созданию интеллектуального человеко-машинного интерфейса для нейрохирурга с отображением на экране компьютера томограммы мозга пациента и информации с используемых датчиков и средств наведения нейрохирургического инструмента. Значительное внимание было уделено разработке виртуальной модели медицинского робота, визуализирующей целенаправленные безопасные движения нейрохирургического инструмента в процессе нейрохирургической операции.

Для формирования 3D-томограмм мозга по 2D-срезам использован программный комплекс «Slicer». При разработке технологии передачи информации о состоянии пациента с удалённого томографа использована сеть Интернета и международный медицинский формат DICOM.

#### 4. Виртуальная нейрохирургическая операционная

Виртуальная операционная должна максимально напоминать реальную, поскольку для врача работа в привычных условиях будет более эффективной и продуктивной. В соответствии с этим она наполняется знакомыми медицинскими инструментами и новыми робототехническими системами (РТС), которые в компьютерном представлении обладают дополнительными динамическими свойствами (рис. 1).

В таких условиях появляется возможность проведения пробных учебных операций не на пациенте, а на его виртуальной модели. Проведение операции на виртуальном (электронном) пациенте можно рассматривать как этап планирования реального хирургического вмешательства. Вторая важная возможность, появляющаяся при виртуальной операции — это повышение профессионального уровня врача и медицинского персонала. Она решается посредством совмещения теоретических и реальных знаний.

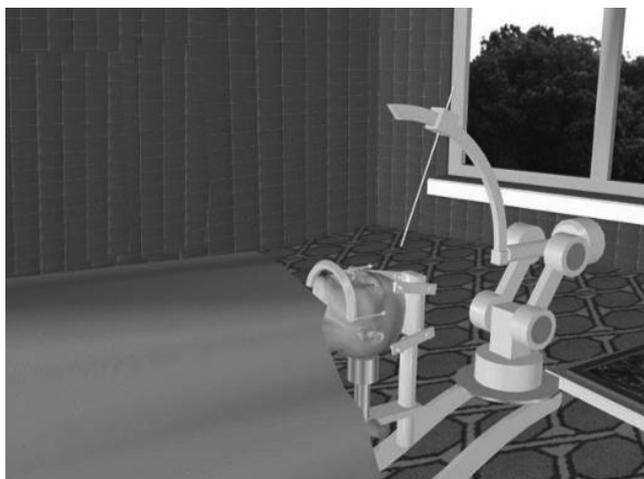


Рис. 1. Виртуальная модель нейрохирургической операционной.

Информация о проведенной имитации операции, данные о реальной и виртуальной операциях и последующая информация о состоянии пациента объединяются в реальную картину лечения. По прошествии некоторого времени всегда можно вернуться к прошедшим операциям для сравнительного анализа и выяснения эффективности разных методов лечения. Аналогично могут совершенствоваться не только практикующие врачи, но и молодые студенты, и аспиранты, обучающиеся навыкам работы на новом оборудовании.

Во время виртуальной операции хирург может наблюдать за траекторией медицинского инструмента, задаваемой по томограммам мозга. Благодаря этому в случае, когда инструмент попадает в зоны повышенного риска для жизни пациента, врач может запросить у программы другой вариант наведения инструмента в необходимую точку мозга по безопасной траектории или сделать вывод о невозможности проведения операции.

Для отображения удаленной внешней среды в медицинских проектах были опробованы:

– стереоочки и стереоочки-дисплеи, которые могут эффективно использоваться для наглядного представления информации (рис. 2);



Рис. 2. Визуализация виртуальных объектов посредством стереоочков.

– средства совмещения реальных и виртуальных изображений, которые обеспечивают врача в максимально удобной форме оперативной визуальной информацией, позволяющей прогнозировать ход операции и своевременно корректировать хирургические манипуляции.

## **5. Технологии «виртуального наблюдателя» и тактильно-силового взаимодействия с объектами внешней среды**

Разработка интеллектуального человекомашинного интерфейса для телемедицины и медицинской робототехники предполагает создание высокореалистичного эффекта присутствия человека-оператора в зоне нахождения объекта управления, которая находится на значительном расстоянии [7–9].

Технология «Виртуального наблюдателя» разработана на основе интеллектуального человекомашинного интерфейса для телемедицины и медицинской робототехники. Для этого используются виртуальные модели и управляемые компьютерно-синтезированные 3D-изображения виртуальных объектов, погруженные в изображение реальной среды.

В ЛИТУР выполнены исследования и разработаны методы решения основных проблем, связанных с реализацией данной технологии, в том числе проблемы точного совмещения компьютерно-синтезированного изображения геометрической модели внешней среды с ее реальным изображением и проблемы реализации непрерывности восприятия этих изображений в режиме реального времени.

Взаимодействие человека с реальными роботами и их виртуальными моделями, а также обучение роботов выполнению медицинских операций, осуще-

ствляется путем показа естественных движений (жестов) человека [10–12]. Данное направление исследований предназначено для создания естественных и доступных каждому человеку средств общения с техническими и информационными системами (рис. 3).



Рис. 3. Интерфейс для обучения методом показа.

Данная технология обучения показом опирается на создание дружественного, помогающего врачу, пациенту и пользователю так называемого интеллектуального интерфейса, разрабатываемого в ЛИТУР совместно с группой речевых технологий СПИИ РАН [13,14].

Интеллектуальный интерфейс для медицины должен обеспечивать следующее:

– простое и правильное понимание речевых команд и различных движений (моторных функций) врача или пациента (рис. 4),



Рис. 4. Обучение пониманию речевых команд.

– естественность процесса обучения показом без какого-либо программирования,

– надежную, устойчивую информационную основу для создания систем управления медицинским оборудованием,

– взаимодействие с компьютерными моделями в процессе планирования операций (например, с использованием виртуальной операционной),

– комбинирование (микширование) реальных (например, эндоскопических) и виртуальных (модельных) изображений [15].

Предлагаемые методы, информационные технологии и компьютерные средства направлены на повышение точности хирургического воздействия, в данном случае при операционном вмешательстве на мозг пациента, автоматизацию, помощь (ассистирование) хирургу и увеличение безопасности пациента в процессе нейрохирургической операции.

Особенно актуальной для медицины является разработка так называемого «haptic» интерфейса [16]. Это обусловлено необходимостью отражения усилий на руке врача (хирурга), особенно при проведении операции, в том числе с использованием мехатронных систем, роботов и технологии телемедицины.

Развитием данного направления является создание 6 координатной рукоятки управления на базе современных микропроцессорных устройств обработки и силомоментного датчика широкого назначения (рис. 5). При этом использование специальной рукоятки с отражением сил и запоминание естественных движений опытного персонала лечебного учреждения облегчает процесс обучения робота движениям.



Рис. 5. Использование рукоятки с отражением сил.

Тактильно-силовое взаимодействие с виртуальными медицинскими объектами необходимо там, где требуется не только наблюдать окружающий мир, но и производить в нем какие-либо действия. При этом манипуляции в удаленной внешней среде будут более успешны, если удастся создать для оператора реалистичное и адекватное восприятие окружающей робот среды, предоставить возможность ощутить ее объекты, как будто они имеют заданные размеры, форму, массу, сопротивление трения.

Рукоятки с силомоментным датчиком полезны также для создания высоко-реалистичного эффекта присутствия врача в удалённой зоне нахождения пациента. Для этого используются виртуальные модели и управляемые компьютерно-синтезированные 3D-изображения виртуальных объектов, погруженные в изображение реальной среды, а также методы точного совмещения компьютерно-синтезированного изображения геометрической модели внешней среды с ее реальным изображением.

## **6. Информационная технология комплексного использования и внедрения полученных научных результатов в нейрохирургию**

Целью работы является комплексное решение таких фундаментальных и прикладных проблем информатики, навигации, управления и автоматизации применительно к нейрохирургии, как:

– разработка методов, синтез и анализ алгоритмов планирования и высококачественного управления программным движением нейрохирургических роботов-манипуляторов для безопасного наведения медицинского инструмента с использованием томограмм мозга пациента;

– разработка и создание интеллектуального человекомашинного интерфейса для нейрохирурга на базе КТ и моделей виртуальной реальности.

Эти проблемы были решены на основе новых методов навигации и управления движением нейрохирургических роботов, моделей виртуальной реальности и КТ.

Для достижения указанных целей были разработаны специальные медицинские устройства — фиксаторы и локализаторы, модели виртуальной реальности и программно-алгоритмическое обеспечение, в том числе программное обеспечение (ПО) для обнаружения и определения координат внутримозговых мишеней по данным рентгеновской КТ или МРТ мозга пациента с использованием стереочков дисплеев.

При этом была разработана усовершенствованная модель диагонального локализатора вместе с ПО для расчётной рентгеновской КТ, в частности было выполнено следующее:

– предложена облегченная конструкция КТ-локализатора со смещенным к его основанию центром тяжести;

– размеры рабочего объема локализатора адаптированы к размерам пространственного «окна» томографов, соответствующего режиму «Head»;

– изменена технология изготовления локализатора;

– подобраны материалы для изготовления отдельных узлов локализатора;

– проведены томографические испытания локализатора, определен допустимый диапазон томографических сечений.

Кроме того, были исследованы и разработаны:

– прямые и обратные модели кинематики нейрохирургического манипулятора;

– прямые и обратные модели динамики нейрохирургического робота;

– алгоритмы навигации нейрохирургического инструмента, основанные на решении прямой задачи кинематики и использовании сигналов датчиков положения и скорости в шарнирах манипулятора;

– алгоритмы высококачественного управления программным движением нейрохирургического манипулятора, основанные на обратных моделях динамики и сигналах обратной связи по положению и скорости;

– динамические модели виртуальной реальности, включающие в себя пациентов и нейрохирургический робот;

– интеллектуальный человекомашинный интерфейс.

## **7. Локализаторы для проведения стереотаксических операций**

Стереотаксис – наукоемкая медицинская технология, обеспечивающая малотравматичные щадящие доступы к глубоким образованиям головного мозга человека с целью диагностики, лечения и изучения сложных заболеваний и поражений центральной нервной системы. Стереотаксический метод представляет собой совокупность средств и приемов, при которых задача обеспечения малотравматичного хирургического доступа к внутримозговым мишеням решается на основе математических приемов и зависит от правильной обработки данных, получаемых при интраскопическом обследовании пациента.

Основные виды расчетной стереотаксической интраскопии — рентгенография, рентгеновские КТ и МРТ. Расчетное интраскопическое (в отличие от диагностического) исследование, во-первых, решает задачу обнаружения и идентификации внутримозговых мишеней и, во-вторых, отвечает за локализацию найденных мишеней.

Таким образом, можно говорить о диагностической и расчетной составляющих методов расчетной интраскопии. Конечная цель расчетной составляющей — получение координат целевой точки в пространственной системе координат (СК), контролируемой стереотаксическим аппаратом, манипулятором или медицинским роботом.

В настоящее время наибольшее распространение получили методы расчетной рентгеновской томографии. Одним из наиболее продвинутых направлений в расчетной КТ является направление, начатое в работах Р. Брауна и связанное с использованием так называемых диагональных стереотаксических локализаторов. Диагональные локализаторы — легкие съемные устройства (включающие рентгеноконтрастные линейные элементы — «диагонали»), фиксируемые на голове пациента при проведении расчетного томографического исследования. Диагональные локализаторы позволяют, в частности, определять 3D-координаты точек, расположенных внутри целевых образований, по их плоским (2D) изображениям. Как правило, локализаторы ставятся на раму (основание) стереотаксического аппарата, жестко фиксированную на голове пациента.

Накопленный опыт использования КТ-локализатора ПНК в реальных условиях стереотаксических операций (на нейрохирургических отделениях клиники ИМЧ РАН, 23-й больницы г. Санкт-Петербурга, больницы им. Соловьева г. Ярославля) позволил выявить целый ряд конструктивных недостатков существующих моделей локализатора, а именно:

- избыточный вес локализатора, затрудняющий его продолжительную фиксацию на зубах пациента;
- возможные неконтролируемые прогибы граней локализатора во время расчетного томографического исследования, снижающие точность наведения;
- несоответствие размеров рабочего объема локализатора размерам окна «Head» известных медицинских томографов;
- значимые отклонения реальных линейных и угловых параметров локализаторов, наблюдаемые в процессе эксплуатации, от их предполагаемых значений в соответствии с геометрической моделью. В результате была оптимизирована конструкция стереотаксического диагонального КТ-локализатора ПНК без потери точностных характеристик (с сохранением его геометрической модели), выбраны материалы и изготовлен макет локализатора.

## 8. Диагональный КТ-локализатор (модель М-2)

В рамках проекта нами проведена полная конструкторская проработка новой модификации КТ-локализатора. Сделаны расчеты по оптимизации положения центра тяжести локализатора. Параметры локализатора (согласно геометрической модели, рис. 6.) следующие:

$$a = 200\text{мм}, b = 124.5\text{мм}, h(\text{высота локализатора}) = 224.3\text{мм}, \\ \angle\varphi = \angle\text{AKB} = 0,405\text{рад.}, \angle\gamma = \angle\text{BoC}''\text{C}''' = \angle\text{AoD}''\text{D}''' = 0.245\text{рад.}$$

Сравнительные характеристики локализаторов приведены в табл. 1.

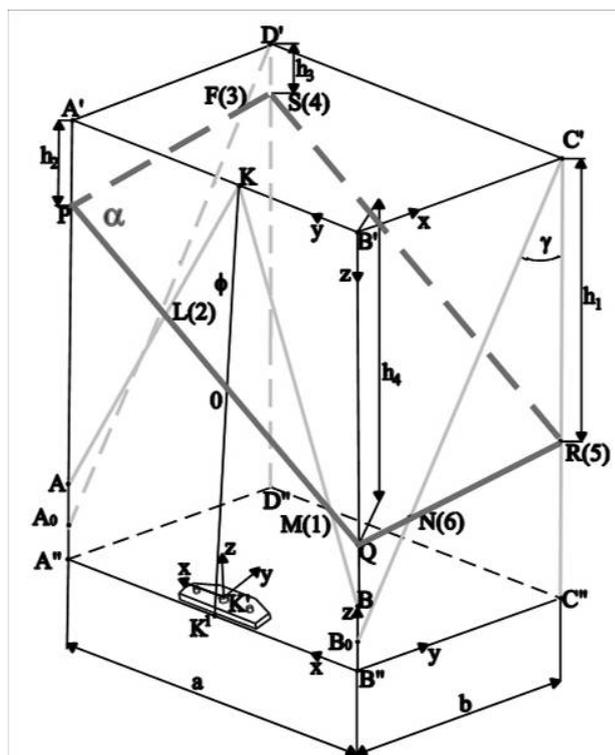


Рис. 6. Геометрическая модель КТ-локализатора.

Таблица 1

Характеристики КТ-локализаторов (модели М-2 и ПНК)

Наименование	КТ-локализатор ПНК	КТ-локализатор М-2
Габаритные размеры	196x128x122 мм	240x200x130 мм
Высота диагоналей	170 мм	216 мм
<b>Толщина материала, используемого при изготовлении граней</b>		
Фронтальная грань	4 мм	4 мм
Боковые грани	4 мм	4 мм
Верхняя и нижняя грани	8 мм	4 мм
Материал изготовления граней	Органическое стекло	Конструктивное орг. стекло СОЛ (ГОСТ 15809-70)
Основание зубного лотка	Нержавеющая сталь	Сплав на основе Al В95
Взаимная фиксация граней в процессе сборки	Крепление винтами к верхней и нижней граням	Соединение в паз
Окончательная фиксация граней	Клеевое соединение (раствор оргстекла в дихлорэтане)	Клеевое соединение Клей ВК-32-70а (ТУ УХП 285 62)
Фиксация диагоналей из нихромовой проволоки к граням	Фиксация клеем	Фиксация клеем
Фиксация основания зубного лотка к нижней грани	Фиксация винтами	Фиксация клеем
Вес КТ-локализатора без зубного лотка	420 г	300 г
Вес КТ-локализатора с зубным лотком	490 г	370 г

В 2006 году была разработана технология изготовления локализатора и выполнена сборка макета локализатора М-2 (рис. 7). Проведены томографические испытания локализатора (в режиме «Head») на рентгеновских компьютерных томографах GE Light Speed Plus (диагностический центр СПбМАПО) и GE High Speed.



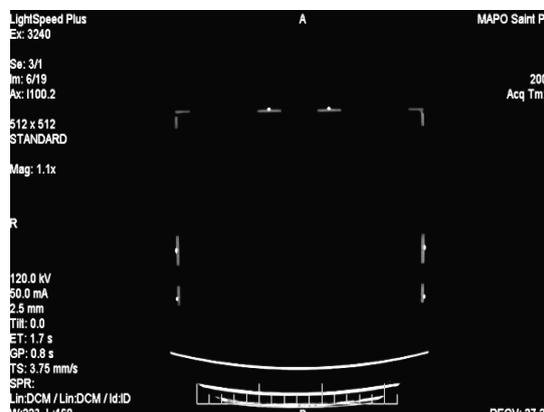
Рис. 7. КТ-локализатор в сборе (модель М-2).

Таким образом, в 2006 году в рамках данного проекта СПбНЦРАН был разработан локализатор (с программным обеспечением) для расчетной рентгеновской компьютерной томографии (модель М-2) с возможностью фиксации на голове пациента на посадочном месте лотка с оттиском зубов. Проведена полная конструкторская проработка локализатора; обоснованы материалы для изготовления локализатора; изготовлен действующий макет локализатора.

Основное назначение КТ-локализатора — получение 3D-координат целевых точек в собственной системе координат (СК) локализатора по плоским томографическим изображениям целевых внутримозговых образований. Программное обеспечение локализатора может преобразовать полученные координаты в СК точечного локализатора, фиксируемого на том же лотке с оттиском зубов пациента, после чего (при необходимости) метки точечного локализатора могут быть использованы в качестве реперных точек при последующей навигации стереотаксического инструмента (рис. 8).



Локализатор в кольце томографа



Томографическое сечение локализатора

Рис. 8. Томографические испытания локализатора.

В дальнейшем в конструкцию КТ-локализатора «М-2» внесены изменения, устраняющие недостатки предшествующих моделей, выявленные при их клиническом использовании, а именно:

- уменьшен на 35% вес локализатора;
- локализатор имеет смещенный к основанию центр тяжести;
- технология сборки локализатора позволяет с большей точностью изготавливать локализаторы с заданными угловыми и линейными параметрами;
- размеры рабочего объема локализатора адаптированы к размерам пространственного «окна» томографов, соответствующего режиму «Head».

## 9. Заключение

Данная работа, выполненная в 2006 г., является продолжением и развитием комплексного междисциплинарного проекта «Методы навигации и моделирования стереотаксических манипуляторов и медицинских роботов для нейрохирургии», выполненного в 2003 году совместно СПИИРАН и ИМЧ РАН в рамках Научной программы СПб НЦ РАН.

В процессе выполнения проекта были рассмотрены принципы проектирования адаптивных медицинских роботов и мехатронных систем, включая технологии обучения с использованием интеллектуального человекомашинного интерфейса и средств виртуальной реальности.

Внедрение в клиническую практику компьютеров и медицинских роботов значительно расширяет возможности нейрохирургии и автоматизирует некоторые функции хирургов.

Разработанный стереотаксический метод представляет собой совокупность средств и приемов, при которых задача обеспечения малотравматичного хирургического доступа к внутримозговым мишеням решается на основе математических приемов и зависит от правильной обработки данных, получаемых при интраскопическом обследовании пациента.

Эффективное использование нейрохирургом этого оборудования и программного обеспечения невозможно без создания следующих средств [15,17]:

- интеллектуального человекомашинного интерфейса, основанного на компьютерной томографии и синомоментном оцувствлении;
- модели виртуальной реальности медицинского робота и нейрохирургической операционной в динамическом режиме.

Разработанные информационные технологии и разработки адаптивных роботов могут найти широкое применение не только в медицине, но и в промышленности, космосе и т. д. При этом особенно важную роль будут играть средства адаптации и интеллектуализации систем управления роботов, модели виртуальной реальности.

На заключительном этапе предложена информационная технология комплексного использования и практического внедрения полученных научных результатов в нейрохирургическую практику.

На международных выставках «Интеллектуальные и адаптивные роботы – 2005» и «Робототехника – 2006» авторы этой статьи были награждены медалями и дипломами ВВЦ за разработку и внедрение инновационной технологии человекомашинного взаимодействия на базе виртуальной реальности для телемедицины, ассистирующей медицины и медицинской робототехники.

Работа выполнена при частичной поддержке Программ Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине» и «Поддержка инноваций и разработок».

## Литература

1. Аничков А. Д., Полонский Ю. З., Тимофеев А. В. и др. Комплексный междисциплинарный проект «Методы навигации и моделирования стереотаксических манипуляторов и медицинских роботов для нейрохирургии» // Грант СПб НЦ РАН. 2006.
2. Аничков А. Д., Полонский Ю. З., Тимофеев А. В. и др. Комплексный междисциплинарный проект «Методы навигации и моделирования стереотаксических манипуляторов и медицинских роботов для нейрохирургии» // СПИИРАН и ИМЧ РАН в рамках Научной программы СПб. НЦ РАН. 2003.
3. Патент США № US 4.228.799.
4. Патент США № US 4.230.117.
5. Timofeev Adil, Nechaev Alexander, Gulenko Igor, Andreev Vasily, Chernakova Svetlana, Litvinov Mikhail. Multimodal Man-Machine Interface and Virtual Reality for Assistive Medical Systems // Fourth International Conference Information Research and Applications «iTECH'2006». Varna Bulgaria. 2006. June 20-25. Vol. 1. P. 39–44.
6. Литвинов М. В., Тимофеев А. В., Попов А. Б. Виртуальная модель адаптивного робота для нейрохирургии // Труды Международной конференции «Адаптивные роботы и общая логическая теория систем – AR&GSLT». СПб, 8-11 мая, 2004. С. 119–122.
7. Timofeev A. V., Gulenko I. E., Andreev V. A., Chernakova S. E., Litvinov M. V. Development of man-machine interfaces and virtual reality means for integrated medical systems // Proceedings of 11-th International Conference «Speech and Computer» (SPECOM'2006). СПб. 2006. June 25-29. T. 1. C. 175–178.
8. Chernakova S., Nechaev A., Karpov A., Ronzhin A. Assistive Multimodal Interface for Medical Applications // Proceedings of 11-th International Conference «Speech and Computer» (SPECOM'2006). СПб. 2006, June 25-29. T. 1. C. 199–203.
9. Voskresenskij A. L., Gulenko I. E., Khakhalin G. K. Development of Translation Tools from the Natural Language on Sign Language of Deaf People // Proceedings of 11-th International Conference «Speech and Computer» (SPECOM'2006). СПб., 2006. June 25-29. T. 1. C. 221–225.
10. Kulakov F. M., Nechaev A. I., Chernakova S. E. Modelling of Environment for the Teaching by Shoving Process // In Proc. of SPIIRAS. St. Peterburg, 2002. Issue № 2, P. 105–113.
11. Нечаев А. И., Чернакова С. Э., Кулаков Ф. М. Моделирование внешней среды для процесса обучения методом показа // Труды СПИИРАН. СПб., 2001.
12. Чернакова С. Э., Кулаков Ф. М., Нечаев А. И. Обучение робота методом показа с использованием «очувствленной» перчатки // Труды Первой международной конференции по мехатронике и робототехнике. СПб., 29 мая – 2 июня 2000. С. 155–164.
13. Karpov A., Ronzhin A., Nechaev A., Chernakova S. «Multimodal system for hands-free PC control» // 13<sup>th</sup> European signal Processing Conference EUSIPCO-2005. Electronic proceedings. Turkey. 2005. September.
14. Karpov A., Ronzhin A., Nechaev A., Chernakova S. Assistive multimodal system based on speech recognition and head tracking // In Proc. of 9-th International Conference SPECOM'2004, St. Petersburg, 2004. P. 521–530.
15. Тимофеев А. В., Чернакова С. Э., Нечаев А. И., Литвинов М. В. Информационные технологии и мехатронные устройства для интеллектуальных медицинских систем // Информационно-управляющие системы. Управление в медицине и биологии. СПб., 2006. Т. 4(23). С. 45–49.
16. Кулаков Ф. М. Технология погружения виртуального объекта в реальный мир // Приложение к журналу «Информационные технологии». М., 2004. № 10. С. 1–32.
17. Timofeev A. V., Gulenko I. E., Litvinov M. V. Analysis, Processing and Transfer of Dynamic Images in Virtual Reality Models // Pattern Recognition and Image Analysis. 2006. Vol. 16, no. 1, P. 97–99.