

На правах рукописи



НЕМКОВСКИЙ ГЛЕБ БОРИСОВИЧ

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНДОСКОПИЧЕСКИМ
ВМЕШАТЕЛЬСТВОМ В НЕОНАТАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ**

Специальность 2.3.8 «Информатика и информационные процессы»
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва - 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Научный руководитель:	Лебедев Георгий Станиславович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, директор Центра цифровой медицины ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)»
Научный консультант:	Беляков Владимир Константинович, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД»
Официальные оппоненты:	Демидова Лилия Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры корпоративных информационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российского технологического университета» (РТУ МИРЭА) Брико Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры медико-технических информационных технологий ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
Ведущая организация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина»

Защита состоится « 19 » июля 2024 года в 10 часов на заседании диссертационного совета 32.1.007.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский институт стандартизации» по адресу: 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д.31, корп. 2, аудитория 108.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в читальном зале ФГБУ «Российский институт стандартизации» по адресу: 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д.31, корп. 2 и на сайте ФГБУ «Российский институт стандартизации» <https://www.gostinfo.ru/>.

Автореферат разослан « ___ » мая 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета:

Будкин Юрий Валерьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР), получившие всё большее распространение в настоящее время, базируются на множестве технологий. В этот спектр входят специализированные медицинские базы данных, библиографические информационно-поисковые системы, системы обработки медицинских данных и т. д. При этом наиболее функционально востребованными из этого множества предлагаемых программных разработок являются СППВР, ориентированные на конкретный «электронный двойник» пациента, создаваемый на основе совокупности клинико-диагностических данных. Данный вид систем является принципиально отличным от других медицинских информационных систем, носящих, например, обучающий или справочный характер. Инструменты такого класса предоставляют врачу персонифицированную поддержку при принятии решений, рассчитанных на конкретного пациента и по каждому мероприятию, связанному с оказанием врачебной помощи данному пациенту.

Анализ существующих СППВР за последние 5 лет позволяет выделить основные методы и средства, используемые в данных системах – интеллектуальный анализ данных, поиск знаний по базам данных, электронное профилирование пациента, рассуждение на основе прецедентов, ситуационный анализ, нейронные сети, системы хирургической навигации (СХН). В использовании СХН можно условно выделить два этапа, требующих значительного информационного сопровождения: внеоперационный и интраоперационный этапы. Информация, генерируемая в процессе планирования предстоящего хирургического вмешательства (ХВ), должна быть доступна в наглядном виде на интраоперационном этапе при проведении запланированного ХВ.

Также на интраоперационном этапе задачей СХН является объективизация контроля пространственного положения хирургических инструментов и вопросы совмещения получаемых данных с медицинской информацией. Таким образом, реализация информационной системы управления эндоскопическим вмешательством в неонатальной хирургии (ИСУ ЭВ) в части подготовки и объективизации интраоперационного контроля положения хирургических инструментов является актуальной задачей в области построения информационных систем (ИС).

Степень разработанности темы исследования. Принятие врачебных решений в процессе проведения ХВ характеризуется дефицитом времени на принятие решения, высокой динамикой и крайне высокой ценой врачебной ошибки. Принятие хирургом решения базируется на анализе большого объёма фактов, предшествующем опыте и знаниях. В ходе вмешательства решение о конкретном действии должно быть принято хирургом практически мгновенно. Такой уровень ответственности и информационной нагрузки диктует особые требования к информационному обеспечению процесса, включающие объём, наглядность и своевременность предоставления информации. Информационной и интеллектуальной поддержке хирургических вмешательств посвящены многие работы как отечественных (В. А. Катаев, Г. Р. Зарипова, Ю. А. Богданова, Р. Г. Хафизов, М. А. Егошин), так и зарубежных авторов. Решение задач

оптимального управления сложными техническими комплексами и измерения информации в эргасистемах раскрывается в работах А. С. Бурого, А. В. Сухова, Д. А. Ловцова.

Существующие способы предоперационного и интраоперационного сопровождения работы хирурга имеют определённые закономерности их применения на практике. Идею о применении навигации в хирургической практике сформулировал выдающийся канадский невролог и нейрохирург У. Пенфилд в 1948 году. Системы, основанные на принципе фиксации помещенной в электромагнитное поле мишени описаны в ряде работ зарубежных исследователей У. Мезгера, К. Ендревски, М. Бартелса. Ультразвук-контролируемым методикам посвящены работы А. В. Шаверского и Л. Л. Марущенко. Создание хирургических систем, функционирующих по принципу «электронного двойника» с использованием современных возможностей компьютерной обработки и анализа цифровых рентгенологических изображений (рентгенография, КТ, МРТ) и их использование в планировании операции, описаны в работах Д. М. Жука, С. А. Перфильева, А. А. Роженцова и А. А. Баева.

В рамках данной работы решалась **практическая задача** построения и оптимизации информационно-логических моделей процессов оказания медицинской помощи неонатальным пациентам с врождёнными пороками развития лёгких и мочевыводящих путей (ВПРЛиМП) в форме эндоскопического ХВ, оптимизации этих процессов и создания информационной системы (ИС), функционирующей совместно с новым техническим средством сбора информации.

Цель диссертационного исследования. Повышение качества хирургической помощи детям в части сокращения времени вмешательства за счёт внедрения цифровых технологий в процесс ХВ при ВПРЛиМП у пациента неонатального возраста методами эндоскопической хирургии.

Задачи диссертационного исследования:

1. Разработать метод подготовки графических диагностических данных и оптимизировать информационные процессы подготовки и проведения ХВ в ЭНХ ВПРЛиМП.
2. Разработать математическую модель объективизации интраоперационного контроля положения линейного хирургического инструмента.
3. Разработать модель данных ИСУ ЭВ.
4. Разработать информационную систему управления эндоскопическим вмешательством, использующую новые технические средства сбора информации.

Объект исследования. Информационная система комплексирования разнородных данных, получаемых от различных технических средств сбора, хранения и передачи, используемая для автоматизации и объективизации контроля положения хирургического линейного инструмента в эндоскопической неонатальной хирургии пациентов с ВПРЛиМП.

Предмет исследования. Модели и алгоритмы процессов подготовки и проведения ХВ с использованием многостепенного манипулятора (МСМ) в эндоскопической неонатальной хирургии (ЭНХ) ВПРЛиМП.

Научная задача исследования. Разработка системы моделей, алгоритмов и технического обеспечения и реализация на их основе ИСУ ЭВ для объективизации

контроля положения хирургических инструментов за счёт совмещения разнородных данных в ходе ХВ с эндоскопическим доступом при оказании медицинской помощи неонатальным пациентам с ВПРЛиМП.

Научная новизна исследования. Разработан новый метод подготовки графических диагностических данных и оптимизированы процессы подготовки и проведения ХВ с учётом внедрения данного метода подготовки графических данных в практику подготовки к ХВ. Предложен новый подход к построению нового комплекса, направленного на решение задач хирургии новорожденных.

Теоретическая значимость работы. Значение полученных результатов для теории состоит в развитии моделей данных и схем алгоритмов, используемых в ИС для решения задач, связанных с СХН для пациентов неонатального возраста.

Практическая значимость работы заключается в разработке прототипа программно-аппаратного комплекса, решающего задачу хирургической навигации при эндоскопических вмешательствах у пациента неонатального возраста, и разработке алгоритмов и методов подготовки и обработки диагностической информации, применяемой в процессе подготовки к ХВ.

Методология и методы исследований. Для решения поставленных задач использованы методы, основанные на теории моделирования бизнес-процессов, математической логике, линейной алгебре, аналитической геометрии, математической статистике, а также теории алгоритмов, моделирования данных, прикладного и системного программирования и методах обработки трёхмерных изображений. Программные компоненты МСМ реализованы на языках Python, Perl, C/C++. Пользовательское программное обеспечение реализовано на языках C++, Python. Среды разработки: Embarcadero® C++Builder 10 Seattle Version 23.0.22248.5795, Qt v. 5.6.3 с компилятором mingw 4.9. Библиотека работы с изображением VTK 9.0.1. База данных реализована на СУБД PostgreSQL версии 9.6.

Положения, выносимые на защиту.

В диссертации получены и выносятся на защиту следующие основные результаты, содержащие элементы научной новизны:

1. Разработан метод подготовки графических диагностических данных. Информационные процессы подготовки и проведения ХВ оптимизированы с учётом внедрения данного метода подготовки графических данных в практику подготовки к ХВ. Построены информационно-логические модели процессов подготовки и проведения ХВ в ЭНХ, включающие в себя регламентацию и стандартизацию сегментации диагностических изображений детей неонатального возраста с ВПРЛиМП.

2. Разработана математическая модель объективизации интраоперационного контроля положения линейного хирургического инструмента с использованием технических средств сбора информации (МСМ, оснащённого дополнительными средствами визуального контроля), и произведена математическая оценка точности отслеживания хирургического инструмента.

3. Реализована модель данных ИСУ ЭВ, построенная на основании информационно-логической модели процесса подготовки и проведения вмешательства и математической модели объективизации интраоперационного контроля.

4. Разработана информационная система управления эндоскопическим вмешательством, использующая новые технические средства сбора информации (МСМ со средствами визуального контроля), сконструированные и произведённые на основе функциональных требований, сформулированных на этапе моделирования информационно-логических процессов. ИСУ реализует процессы, описанные на этапе моделирования. ИСУ позволила подтвердить гипотезу о применимости СХН в неонатальной хирургии при ВПРЛиМП.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность изложенных в работе результатов подтверждается проверками, проведёнными в рамках процедуры тестирования прототипа программно-аппаратного комплекса, а также результатами статистического исследования результатов внедрения, предложенных порядка и методики подготовки и анализа графических диагностических данных для ИС.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы использованы в выполненных с участием автора ПНИЭР «Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде». ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Соглашение о предоставлении субсидии от 03.10.2016 г. №14.607.21.0162. Положения работы докладывались и обсуждались на: выставке Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 22nd International Conference, KES-2018, Belgrade, Serbia и в рамках проекта Japan-Russia Medical Cooperation Project in the field of Pediatric Endoscopic Surgery: 6th Teleconference of Oita University & National Center for Obstetrics, Gynecology, Perinatology Ministry of Healthcare of the Russian Federation

Апробация результатов проводится в отделении хирургии ФГБУ НМИЦАГиП имени академика В. И. Кулакова МЗ РФ.

Публикации. Результаты, полученные в процессе выполнения работы, опубликованы в 4 научных работах в журналах, рекомендованных ВАК, 4 работах в прочих журналах и 10 отчётах о ПНИЭР.

Личный вклад автора в полученных результатах научных исследований. Результаты и положения, выносимые на защиту, получены автором лично в процессе научной деятельности. Подготовка результатов к публикации проводилась автором самостоятельно в части анализа и разработки методов, моделей, алгоритмов и в соавторстве со специалистами медицинского и биомедицинского профиля в предметной области.

Внедрение результатов исследования. В настоящее время в НЦАГиП им. В. И. Кулакова для ХВ по ряду патологий применяется метод подготовки графических диагностических данных и оптимизированный бизнес-процесс подготовки и проведения ХВ. Результатом их применения существенное сокращение среднего времени оперативного вмешательства по ряду операций.

Структура и объем работы. Представленная диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список сокращений и список использованных источников. В ней содержится 177 страниц текста, 46 рисунков, 32 блока формул и

38 таблиц. Список использованных источников включает 130 наименований. Материалы диссертационного исследования соответствуют пунктам 1: «Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения»; 2: «Техническое обеспечение информационных систем и процессов, в том числе новые технические средства сбора, хранения, передачи и представления информации. Комплексы технических средств, обеспечивающих функционирование информационных систем и процессов, накопления и оптимального использования информационных ресурсов» и 16: «Автоматизированные информационные системы, ресурсы и технологии по областям применения (научные, технические, экономические, образовательные, гуманитарные сферы деятельности), форматам обрабатываемой, хранимой информации. Системы принятия групповых решений, системы проектирования объектов и процессов, экспертные системы и др.» паспорта научной специальности 2.3.8. «Информатика и информационные процессы».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность решаемой задачи, приводится характеристика степени разработанности темы, формулируются цель, частные задачи исследований, научная новизна и положения, выносимые на защиту, а также описываются результаты апробации работы, авторские публикации, структура и объём диссертации.

В **первой главе** производится анализ предметной области и технологических решений для задач ХН. Проведён анализ существующих систем и методик, используемых для решения задач ХН, описаны особенности рассматриваемой предметной области, показавшие неприменимость существующих решений и методов для решения задач оказания медицинской помощи неонатальным пациентам с ВПРЛиМП методами эндоскопического ХВ. Сформулирована математическая постановка задачи оптимизации информационных процессов в ходе подготовки и проведения вмешательства в неонатальной хирургии.

Одним из способов описания процессов в ИС и ИУС является представление структуры выполнения задач системы с помощью сетевой модели. Рассмотрим модель формирования оптимального плана подготовки и проведения ХВ. Положим, что имеется план, который содержит множество логически взаимосвязанных между собой работ V . Каждая работа может выполняться только одним определенным исполнителем. Работы, выполняемые одним исполнителем, выделяются во множество V^l , причем $\bigcup_{l=1}^L V^l = V$.

Операционная бригада обладает ограниченным человеческим ресурсом, т. е. в бригаду входит фиксированное число исполнителей: хирург, анестезиолог, ассистент и операционная сестра. Построив критический путь плана подготовки и проведения ХВ увидим, что критическим ресурсом, или исполнителем, все задачи которого являются критическими, является оперирующий хирург, т. е. минимизация критического пути \bar{K} в ходе ХВ сводится к сокращению критических задач хирурга.

Для простоты записи обозначим: t_i – регламентная длительность выполнения этапа i , q_i – коэффициент сложности этапа, определяемый на стадии подготовки к ХВ. Длительность вмешательства определяется как

$$D = \sum_i t_i q_i. \quad (1)$$

Для корректности задачи необходимо выполнение условия $K \leq D$, где K – длина критического пути плана ХВ. Планируемая длительность ХВ $[T_H - T_K] \leq D$ разбивается на f интервалов, каждый продолжительностью τ_k ($k = \overline{1, f}$), причем каждый исполнитель может быть задействован в различных работах ХВ.

Требуется обеспечить минимизацию критического пути проведения ХВ, за счет возможного сокращения или переноса отдельных технологических операций τ_k в ходе планирования комплексного применения видов обеспечения процесса управления эндоскопическим вмешательством в неонатальной хирургии

$$\bar{K} \rightarrow \min \sum_k \tau_k. \quad (2)$$

Технологические процессы, выполняемые в ходе ХВ, будем условно разбивать на целевые, которые приводят к целевому результату \bar{K} и функциональные, обеспечивающие целевые процессы.

Каждый технологический процесс будем характеризовать множеством параметров – X , отношений (связей) между ними – R и множеством временных параметров – T . Тогда смену состояний в рассматриваемой информационной системе будем понимать, как переход от одного технологического процесса к следующему, что формально будем отображать выражением вида:

$$\langle \{X, R\} \times T \rangle_k \xrightarrow{\theta^{(k)}} \langle \{X, R\} \times T \rangle_{k+1}, \quad (3)$$

где $\theta^{(k)}$ – информация о k – ой технологической операции для протоколирования подготовки и проведения ХВ, а также формирования базы данных и знаний.

Концептуальная согласованность принимаемых решений основывается как на текущей информации, так и на обеспечении последовательного расширения за счет новой информации от очередной выполненной технологической операции:

$$\theta^{(k)} \subseteq \theta^{(k+1)} \subseteq \dots \subseteq \theta^{(f)}. \quad (4)$$

Для оценки эффективности решения задачи оптимизации системы управления представим информационную составляющую процесса с учётом информационного показателя, выражаемого через энтропию в терминальной части управления и через дифференциальную энтропию в лагранжиане целевого функционала. При этом заметим, что энтропия при позитивном развитии процесса должна убывать в обобщённом представлении в пределе до нуля:

$$B = T(H_H(D, t_H), H_K(D, t_K)) + \int_{T_H}^{T_K} J(u(R, t), h(D, t)) dt \rightarrow \min_u \dots, \quad (5)$$

где $T(\cdot)$ – терминант управления, H_H и H_K – начальная и конечная энтропия, $J(\cdot)$ – интегрант функционала, D – вектор обобщённых технических показателей, R –

обобщённый вектор ресурса, $u(\cdot)$ – функция управления, $h(\cdot)$ – текущая (дифференциальная) энтропия на бесконечно малом приращении.

Терминант зависит от энтропии объекта на начальном и завершающем временных частях процесса и имеет вид:

$$T(H_H(D, t_H), H_K(D, t_K)) = H_K(D, t_K) - H_H(D, t_H) = -I_{\text{пф}}, \quad (6)$$

где $I_{\text{пф}}$ – финальная информация.

Интегрант зависит от текущей энтропии и вырабатываемой субъектом управления функции по отношению к объекту. Его вид определяется производной по Фреше от энтропии объекта. Представим его через разложение энтропии на компоненты по составляющим вектора состояния, выраженными через скаляры:

$$J(u(R, t), h(D, t)) = u^t(D, t) V h(D, t), \quad (7)$$

где V – матрица влияний компонентов вектора $u(R, t)$ на вектор $h(D, t)$, размерность матрицы $n_u \times n_h$.

Во **второй** главе описывается текущая информационно-логическая модель процессов подготовки и проведения ХВ при ВПРЛиМП у пациентов неонатального возраста. По ходу работы даются предложения по модификации и/или оптимизации отдельных функций БП с целью повышения качества оказания медицинской помощи пациентам неонатального возраста в ЭНХ при ВПРЛиМП, в частности формулируются функциональные требования к системе, представляется состав входящих и исходящих данных, приводятся параметры входящих и исходящих потоков информации, определяются данные, требующие применения специализированных методов сбора, обработки и вычисления.

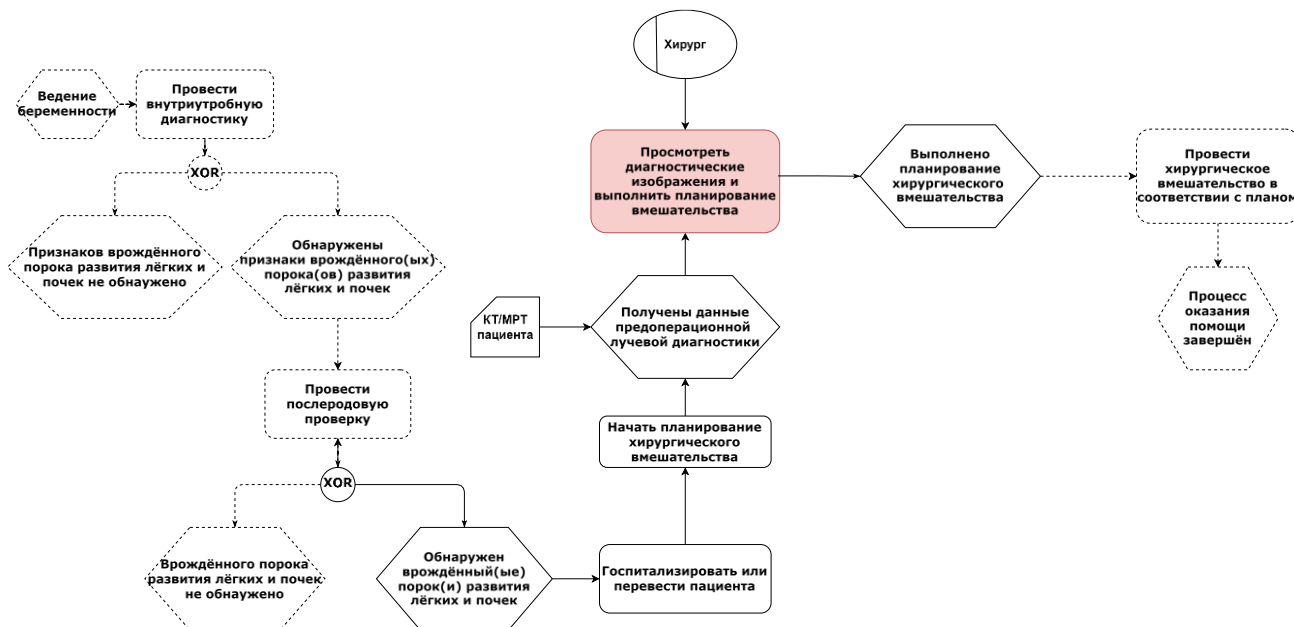


Рис. 1 Алгоритм процесса подготовки к вмешательству

Сбор информации о процессе подготовки и проведения ХВ позволил описать процесс оказания медицинской помощи в форме ХВ неонатальному пациенту с ВПРЛиМП в виде событийной цепочки процессов (ЕРС). Исходный процесс (Рис. 1) подготовки к вмешательству медицинской помощи не предусматривал предварительной сегментации результатов лучевой диагностики.

Одной из основных особенностей проведения ХВ в неонатальном возрасте является малый рост пациента, который у неонатальных пациентов с ВПРЛиМП часто не достигает 500 мм. Удержание и изменение положения эндоскопа, выполняемые ассистентом хирурга в ходе ХВ, затруднены в силу ограниченности места, являющееся следствием размера пациента.

В работе представлена упрощённая модель обобщённого БП проведения ХВ, без учёта возникновения нештатных ситуаций (Рис. 2).

Анализ БП проведения ХВ выявил узкое место с точки зрения оптимального

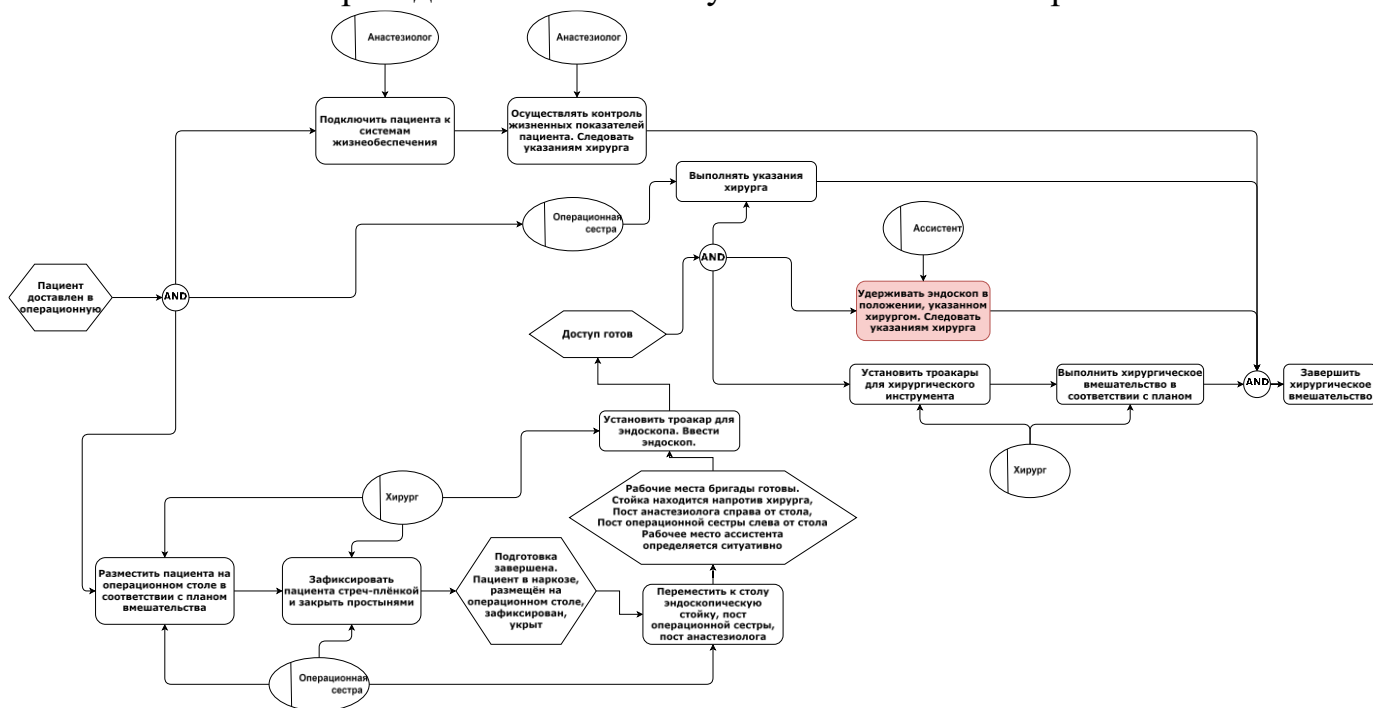


Рис. 2 Бизнес-процесс проведения вмешательства

использования ресурсов. Это функция удержания эндоскопа ассистентом на этапе ХВ. Применение МСМ с обратной связью для выполнения функции удержания эндоскопа является оправданным не только с точки зрения получения данных о положении эндоскопа для объективизации контроля положения хирургического инструмента: замена ассистента в этой функции устраняет возможную точку отказа и вероятного травмирования вследствие перенапряжения сотрудника и позволяет использовать возможности ассистента для выполнения прочих задач в ходе вмешательства.

Таким образом, один из путей оптимизации нуждался в определении функциональных требований, предъявляемых к разрабатываемой системе объективизации интраоперационного контроля положения хирургических инструментов, применяемых в ЭНХ. Задачи, выполняемые аппаратно-программным комплексом в ходе вмешательства, могут быть сформулированы в виде следующих основных пунктов:

1. Получение 3D-модели зоны ХВ. Отображение результата.
2. Получение координат хирургического инструмента (эндоскопа) относительно объектов зоны ХВ.
3. Совмещение 3D-модели зоны ХВ с 3D-моделью хирургического инструмента (эндоскопа). Совмещение видеоизображения, получаемого с эндоскопа, с изображением «виртуальной камеры». Отображение результата.

4. Протоколирование хода ХВ.

Разрабатываемая ИС предназначена для функционирования в составе ПАК хирургической навигации. Определим функциональные требования ко всем аппаратным компонентам, которые планируется задействовать в работе. В зависимости от этапа работы – предоперационный или интраоперационный - в работе будут задействованы разные наборы аппаратных средств. Аппаратные средства предоперационного этапа (этапа подготовки к ХВ) являются средствами подготовки индивидуальных трёхмерных моделей зоны ХВ и описываются с точки зрения предъявления требований к входящим трёхмерным моделям зон ХВ, которые будут использоваться в информационном сопровождении процесса ХВ.

Общий принцип работы комплекса

На предоперационном этапе производится подготовка трёхмерной модели зоны ХВ. Модель реконструируется на основе предоперационной серии изображений модальности КТ или МРТ пациента с использованием автоматизированной системы реконструкции трёхмерных изображений. Созданная трёхмерная модель передаётся в БД ИСУ ЭВ. Также БД дополняется метаинформацией, необходимой на интраоперационном этапе.

На начальной стадии интраоперационного этапа, т. е. на стадии подготовки операционной, в ИСУ ЭВ загружаются готовые 3D-модели, производится создание и настройка отображения виртуальной сцены, в которой модели операционного стола и МСМ объединяются в общей системе координат с использованием процедуры предоперационной калибровки. На стадии подготовки пациента (укладки пациента на операционном столе) с подготовленной виртуальной сценой совмещается модель пациента (зоны ХВ). Совмещение производится с использованием процедуры интраоперационной калибровки.

В процессе ХВ ИСУ ЭВ получает информацию об углах поворота всех осей МСМ и видеоинформацию о пространственном положении хирургического инструмента от стереоскопической системы наблюдения (информация уведомления). Технологический процесс переработки информации заключается в расчёте и отображении положения хирургического инструмента на виртуальной сцене, а также синхронизации моделей с входящими информационными аудио-видеопотоками. Обработанная информация передаётся в визуализированном виде субъекту управления (СУ), протоколируется в БД для последующего просмотра и анализа. Общая схема прохождения потоков данных представлена на Рис. 3

Далее, описывается метод подготовки графических данных. Сформулированы требования к диагностической информации, как к наиболее критичным данным, необходимым на этапе планирования и подготовки ХВ.

Подготовка 3D-модели для ИСУ ЭВ состоит в обработке результатов предоперационного диагностического исследования (КТ, МРТ) пациента с сегментацией зон интереса в области ХВ. Данный процесс в предметной области разработки не является строго регламентированным и, как следствие, может выполняться специалистами в различных техниках с использованием разнородного именованного и различных цветовых схем.

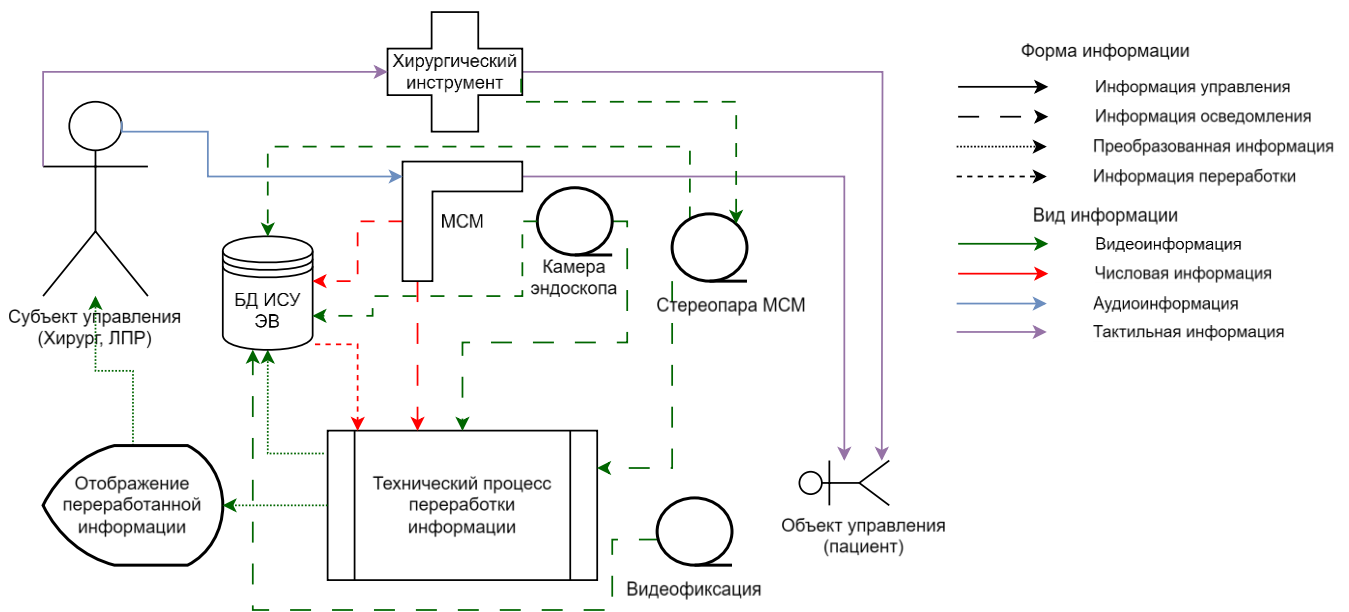


Рис. 3 Общая схема прохождения потоков данных

В целях стандартизации обработки полученных изображений, систематизации процесса сегментации и, как следствие, сокращения временных затрат на как на обработку изображений, так и на ХВ, разработан метод подготовки графических данных, который отработан и апробирован на диагностических изображениях профильных пациентов, проходивших лечение в НЦАГиП ранее.

Процесс сегментации серии диагностических изображений включает в себя:

1. Анонимизация серии изображений с присвоением серии идентификатора(ов) утверждённого формата.
2. Описание и сегментация с использованием программного комплекса Instasense Mугian профильными специалистами изображений в соответствии с параметрами, содержащимися в утверждённой в разработанной модели данных. В целях унификации отображения сегментированных областей, разработана цветовая таблица соответствий типизации региона интереса и отображаемого цвета.

Предложенный метод апробирован при формировании банка эталонных медицинских изображений модальностей КТ/МРТ, содержащий

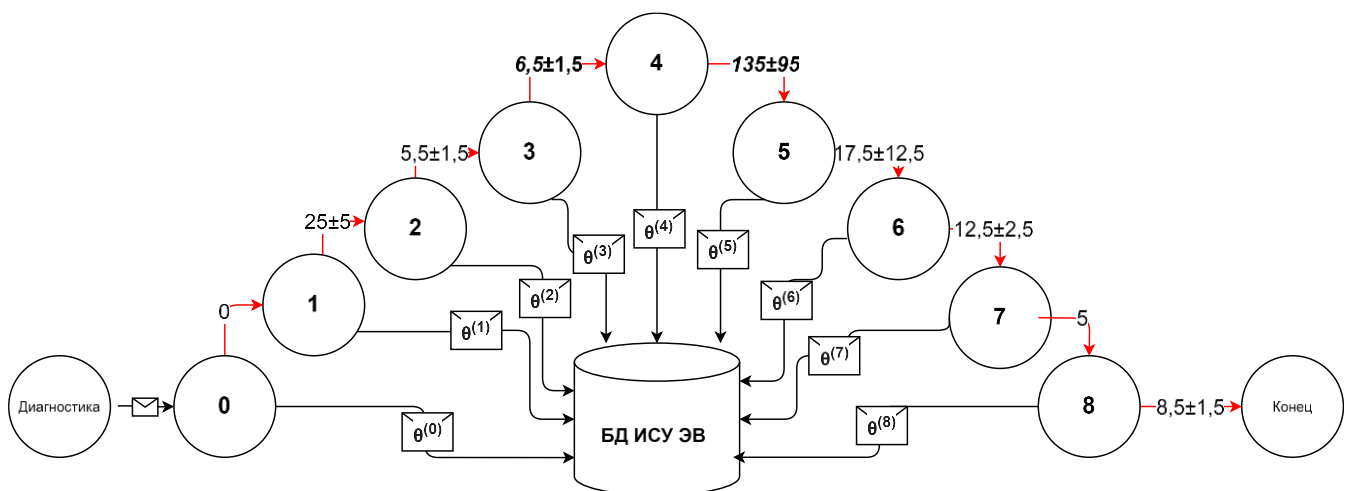


Рис. 4 Критический путь ХВ. Лобэктомия при КАМЛ

каталогизированные в соответствии с нозологией изображения врождённых пороков развития. Эталонные диагностические изображения врождённых пороков развития и нормы применены для разработки и проверки алгоритмов, позволяющих автоматизировать реконструкцию трёхмерного изображения и автоматическую сегментацию на внеоперационном этапе.

Разработанный метод подготовки графических данных применён для сокращения критического пути (Рис. 4) информационных процессов ХВ. Декомпозиция на целевые и функциональные технологические процессы совместно с переносом технологических процессов в этап подготовки к вмешательству позволил существенно сократить время проведения ХВ в целевых вмешательствах.

Модель данных. На основе функциональных требований, выявленных схем процессов и прохождения потоков данных, а также с учётом процедур, принятых в хирургических отделениях и прочей информации, описывающей предметную область, ходе выполнения диссертационной работы построена постреляционная модель данных ИСУ ЭВ. Графическая схема (ER-диаграмма) логической модели данных представлена на Рис. 5.

После разработки модели данных произведена оценка методов сбора, обработки и/или вычисления данных, по результатам которой определены данные

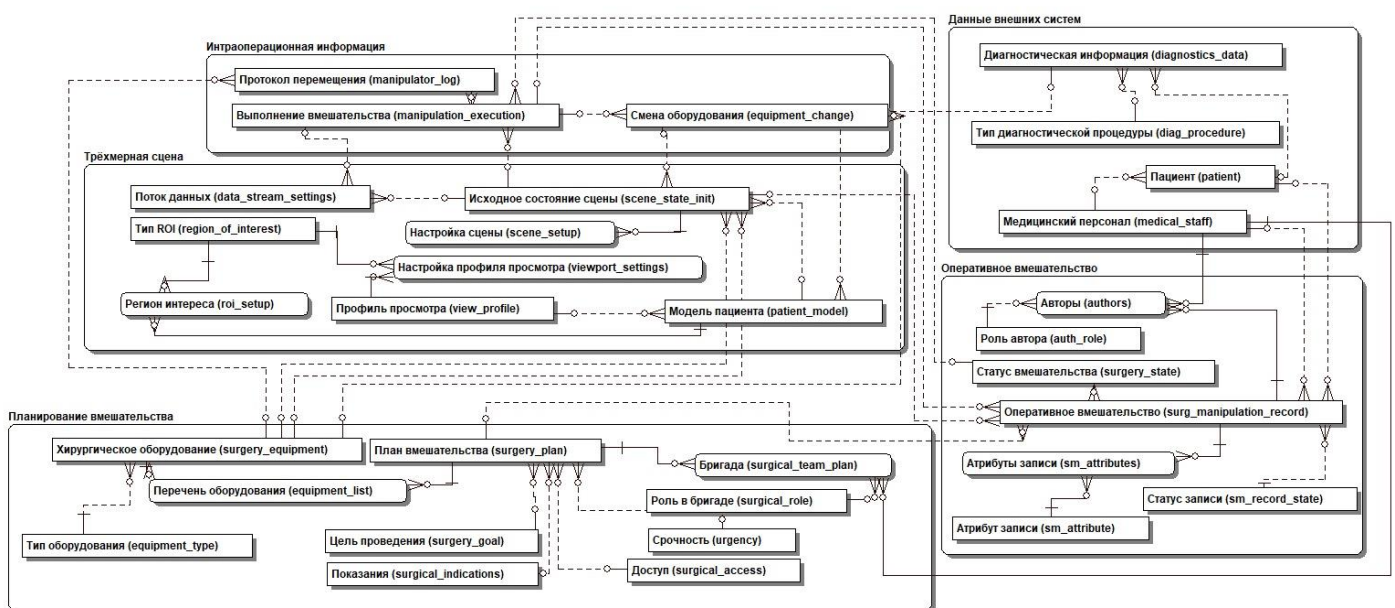


Рис. 5 Логическая модель данных ИСУ ЭВ

(группы/наборы данных), использование в системе которых требует применения специализированных методов получения, обработки и вычисления.

По результатам выявления потребностей профильных специалистов (торакальных хирургов и хирургов-урологов неонатологического профиля), разработаны и согласованы с ними следующие способы отображения хода ХВ:

1. Отображение «от наблюдателя». Отображению подлежат трёхмерные модели стола, МСМ в его текущем положении, трёхмерная модель пациента.
2. Отображение «от инструмента». Модель пациента перемещается и поворачивается таким образом, чтобы точка зрения совпадала с точкой крепления инструмента к МСМ, а угол зрения совпадает с направлением инструмента.

3. Отображение видеопотоков, получаемых системой объективизации контроля.

Режимы отображения могут комбинироваться на мониторах, входящих в состав системы объективизации. В результате может быть получен режим «картинка в картинке», в ходе которого совмещается режим просмотра «от инструмента» и эндоскопическое видео.

Таким образом, описаны информационно-логические модели процессов и предложены пути их оптимизации, сформулированы функциональные требования к аппаратному обеспечению, описан метод подготовки графических данных, описаны составы входящих и исходящих данных информационного компонента системы, определены их параметры, определены данные, требующие разработки и применения специализированных методов сбора, обработки и вычисления.

В **третьей главе** формализованы режимы применения аппаратно-программного комплекса, описано дополнение к БП подготовки к ХВ, приведены технические требования к аппаратным компонентам, предназначенным для функционирования системы, представлено описание ключевых информационных структур и пакетов, а также утверждённых форматов входящих данных, описаны разработанные специализированные методы получения, обработки и вычисления данных.

Режимы применения оборудования. Во взаимодействии с торакальными хирургами и хирургами-урологами НЦАГиП имени Кулакова для каждого вида вмешательства из области интересов формализованы и описаны методы, применяемые для проведения хирургического лечения ВПРЛиМП. Описания ХВ, техник выполнения, укладок пациента дополнены параметрами функционирования АПК хирургической навигации в части требований к набору анатомических структур, включаемых в 3D-модель зоны ХВ, типу позиционируемого инструмента, требований к позиционированию хирургического инструмента, требований к совмещению 3D-моделей зоны ХВ и 3D модели инструмента и необходимости совмещения видео с эндоскопа и виртуальной камеры.

В соответствии с режимами применения оборудования и утверждённым параметрам функционирования АПК в зависимости от укладки пациента, модели данных, подготовленные трёхмерные модели пациентов должны быть сопряжены (совмещены) для корректного совместного отображения в ходе хирургической манипуляции с трёхмерными моделями операционного стола, МСМ и хирургического инструмента в рамках единой виртуальной операционной сцены.

Для корректного формирования виртуальной операционной сцены разработаны алгоритмы сопряжения (совмещения) трёхмерных моделей, реализуемые посредством разработанной информационной системы и включающие в себя две ключевые с точки зрения настройки и использования комплекса процедуры - предоперационной и интраоперационной калибровки комплекса.

Подготовка модели пациента для интраоперационной калибровки – одна из существенных подготовительных операций. В ходе подготовки модели пользователь системы (хирург, проводящий предоперационную подготовку) в зависимости от типа ХВ должен отметить на трёхмерной модели не менее трёх точек калибровки и их последовательность, а также провести измерение метрического расстояния между этими точками в целях проверки логических размеров модели

пациента (зоны ХВ). Поскольку в серию диагностических изображений зачастую входит не ростовая модель пациента, а лишь зона интереса, эта процедура является необходимой.

Дополнение модели бизнес-процесса подготовки к вмешательству. На основании предложений, сделанных и утверждённых в ходе работ, внесены изменения в процедуру подготовки к ХВ, которые нашли отображение в модели бизнес-процесса. В дополнение к функции «Сегментировать изображения» в соответствии с предложенным методом подготовки графических диагностических изображений, в БП добавлена функция «Отметить на трёхмерной модели не менее трёх точек калибровки и их последовательность» (Рис. 6)

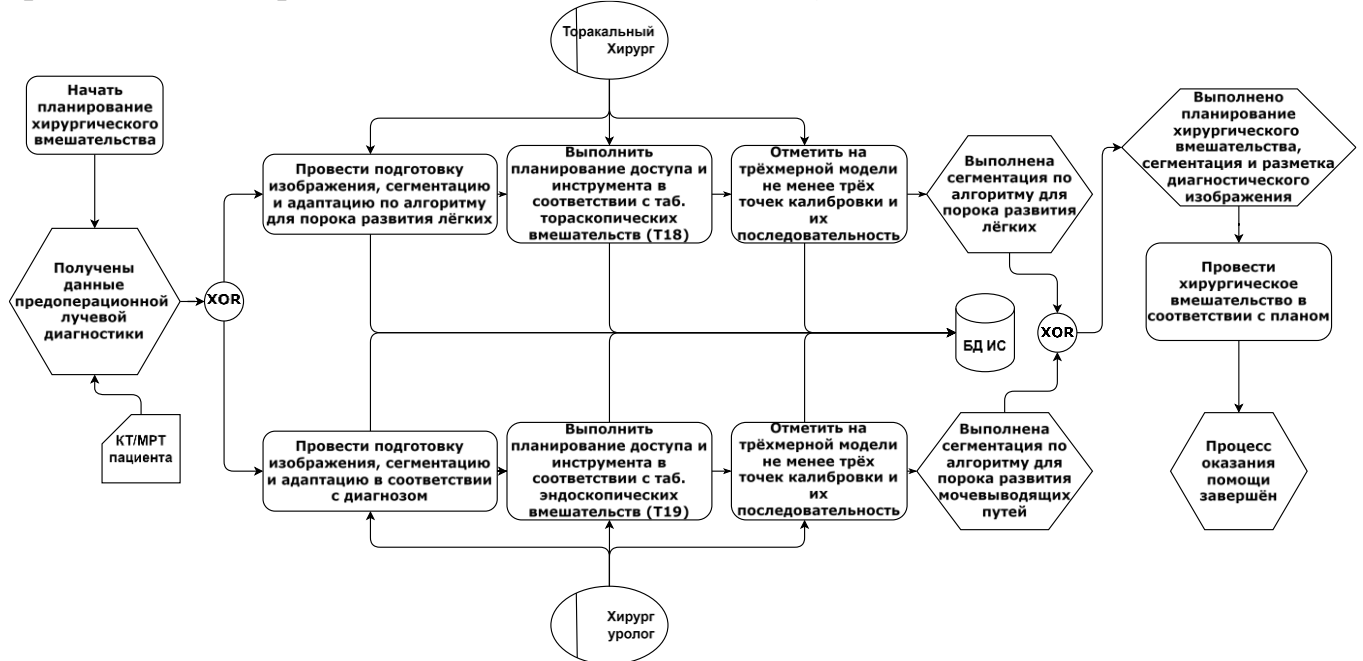


Рис. 6 Планирование ХВ

Требования к прототипу МСМ. Анализ функциональных возможностей многостепенных манипуляторов, управления ими и функциональных требований к рабочему месту, предъявляемых хирургами, позволил сформировать требования в части информационной поддержки проведения ХВ:

- Не менее 4-х сочленений, оснащённых одноплатными компьютерами, предназначенными для считывания текущего положения, в том числе:
 - Одно «поворотное» сочленение у точки крепления МСМ.
 - Три «суставные» сочленения.
- Управляющего компьютера-агрегатора данных.
- Коммутатора контроллеров внутренних устройств.
- Устройства обеспечения фиксированного сопряжения МСМ и хирургического стола

Определены наборы данных и разработаны необходимые протоколы и алгоритмы взаимодействия с новым техническим средством сбора информации и ПО отображения визуальной информации.

1. Набор данных, настроечного пакета (настроечный файл) МСМ.
2. Набор данных о каждом манипуляционном узле.
3. Видеопоток от хирургического эндоскопического комплекса.
4. Прочие видео- и аудиопотоки.

Разработанные протоколы и алгоритмы:

1. Алгоритм программной проверки каждого манипуляционного узла.
2. Алгоритм установления связи при включении.
3. Алгоритм определения положения сочленения.
4. Алгоритм установления связи между ПО сбора данных и ПО визуализации.
5. Протокол обмена данными между программными компонентами сочленений и программным компонентом управляющего компьютера-агрегатора.
6. Протокол обмена данными между управляющим компьютером-агрегатором МСМ и АРМ управления системой хирургической навигации.
7. Алгоритмы, реализующие соответствующие протоколы обмена данными.

Математическая модель расчёта положения эндоскопа. В ходе построения математической модели расчёта положения эндоскопа разработан и реализован алгоритм расчёта текущего положения конечного манипуляционного узла. В целях оптимизации расчётов целесообразно считать, что каждая деталь МСМ является отдельным узлом с заранее определёнными габаритными характеристиками, а также с допустимыми параметрами по отклонению от имеющихся степеней свободы.

При применении такого подхода задача определения положения конечного сочленения МСМ относительно $\hat{v}_0 = (0,0,0)$ сводится к нахождению вектора v_{instr} , соответствующего положению хирургического инструмента, зафиксированного зажиме МСМ, вычисляется согласно формуле:

$$v_{instr} = L_{instr} \sum_{i=1}^n L_i * \hat{v}_i * M(\hat{v}_{i-1}, \Theta_{i-1}), \quad (8)$$

где n – количество подвижных деталей МСМ, L_i – размер, \hat{v}_i – нормализованный вектор оси вращения, Θ_i – угол поворота каждой подвижной детали МСМ, $\Theta_0 = 0$.

Для используемого в данной работе МСМ $n = 15$. Подобный подход позволяет унифицировать ПО, исключив корреляцию с физической структурой МСМ. Более того, данный подход даёт возможность применения разработанного программного обеспечения для манипуляторов любой сложности.

Таким образом, программные компоненты определения положения хирургического инструмента функционируют на основании получения и обработки показаний каждого отдельного аппаратного устройства определения положения, входящего в состав МСМ.

Позиционирование хирургических инструментов. Осуществление физической привязки и получение информации о положении эндоскопа естественным образом приводит к идее развития концепции контроля положения инструмента, которое заключается в дополнении системы контроля положения эндоскопа, находящегося в зажиме МСМ, дополнительными системами контроля инструментов, которые не имеют прямой связи с манипулятором, но также находятся в поле интереса.

В работе приведена математическая модель применения видеопары (сдвоенной видеокамеры), размещаемой на МСМ. Автором проработана возможность использования методов машинного зрения для определения положения видимых хирургических инструментов. Вариант реализации такого решения представлен на Рис. 7.

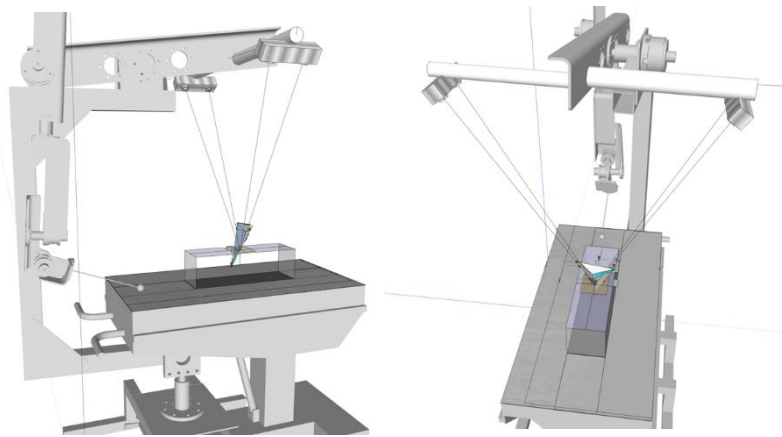


Рис. 7 Система объективизации контроля с добавлением видеопар.

Использование дополнительных средств контроля позволит расширить перечень контролируемых инструментов. Известное физическое положение позволит отображать эти объекты с привязкой к трёхмерной сцене, что, в свою очередь, позволит говорить о повышении с объективизации контроля за проводимым ХВ.

Рис. 8 содержит схему видимости видимых концов хирургического инструмента, обозначенных А и В в матрицах сдвоенных камер 1 и 2.

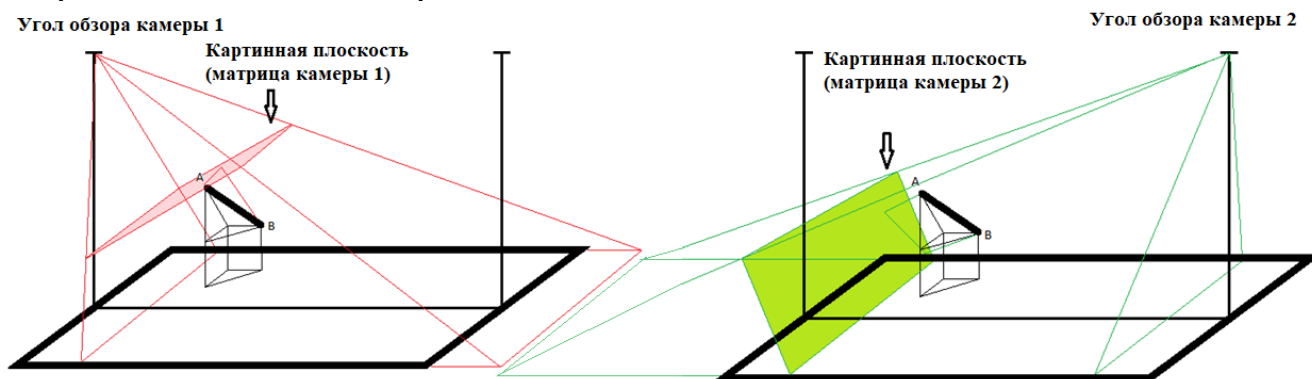


Рис. 8 Схема видимости точек А и В инструмента в матрицах камер 1 и 2

Произведя вычисления, получим финальные аналитические формулы для искомых величин – координат в прямоугольной связной с операционным столом системе координат точек: $A = \{A_X, A_Y, A_Z\}$, $B = \{B_X, B_Y, B_Z\}$

В сокращённом виде это можно представить следующим образом:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} A_X = \frac{L * \operatorname{tg}(\alpha_{2_{AXY}}) * \operatorname{tg}(\alpha_{1_{AXY}})}{\left(1 + \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{2_{AXY}})}{\operatorname{tg}(\alpha_{1_{AXY}})}\right)} \\ A_Y = H - \frac{L * \operatorname{tg}(\alpha_{2_{AXY}}) * \operatorname{tg}(\alpha_{1_{AXY}})}{\left(\operatorname{tg}(\alpha_{1_{AXY}}) + \operatorname{tg}(\alpha_{2_{AXY}})\right)} \\ A_Z = D - \operatorname{tg}(\beta_{Ac_1}) * \sqrt{A_Z^2 + A_X^2} \end{array} \right\}, B = \left\{ \begin{array}{l} B_X = \frac{L * \operatorname{tg}(\alpha_{2_{BYX}}) * \operatorname{tg}(\alpha_{1_{BYX}})}{\left(1 + \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{2_{BYX}})}{\operatorname{tg}(\alpha_{1_{BYX}})}\right)} \\ B_Y = H - \frac{L * \operatorname{tg}(\alpha_{2_{BYX}}) * \operatorname{tg}(\alpha_{1_{BYX}})}{\left(\operatorname{tg}(\alpha_{1_{BYX}}) + \operatorname{tg}(\alpha_{2_{BYX}})\right)} \\ B_Z = D - \operatorname{tg}(\beta_{Bc_1}) * \sqrt{B_Z^2 + B_X^2} \end{array} \right\}. \quad (9)$$

В соответствии выведенной аналитической формулой оценки точности, самый «неточный» пиксель при заданных параметрах будет иметь линейные размеры на операционном столе примерно 0,00033м, или 0,33 мм. С учетом погрешности позиционирования на матрице следует брать ошибку равную удвоенному пикселю, т. е. погрешность равна $\Delta \text{pix} = 2 * 0,33 \text{ (мм)} = 0,66 \text{ (мм)}$.

Работа с данными, требующими применения специализированных методов получения, обработки и вычисления:

Создание трехмерной модели. Работа с программными компонентами интраоперационного этапа подразумевает, что на этапе планирования операции подготовлены соответствующие материалы, а именно 3D-модель зоны ХВ для

данного пациента, смоделированная на основе КТ или МРТ пациента. Нужно заметить, что наиболее информативной с точки зрения оператора системы (т. е. оперирующего хирурга/ассистента) будет сегментированная и цветокодированная на этапе подготовки к операции полигональная 3D модель зон интереса, отображающая только визуализируемые, наиболее значимые и критичные для проведения ХВ внутренние структуры организма.

Формирование виртуальной операционной сцены. Предварительная подготовка к совмещению 3D-моделей, конфигурирование МСМ и инструментов производятся в ходе подготовки к вмешательству. Для нового вмешательства на основании шаблона заполняется линейаризованное дерево «Настройка сцены» (scenetree), куда вносятся данные обо всех трёхмерных моделях, использованных для визуализации. Данные о моделях берутся из информационной сущности «Хирургическое оборудование» (surgeryequipment).

Для совмещения моделей зоны ХВ и хирургического инструмента, а также видеопотока с эндоскопа модели переносятся в единую систему координат.

Схема взаимодействия программных компонентов подсистемы отображения ИСУ ЭВ приведена на Рис. 9.

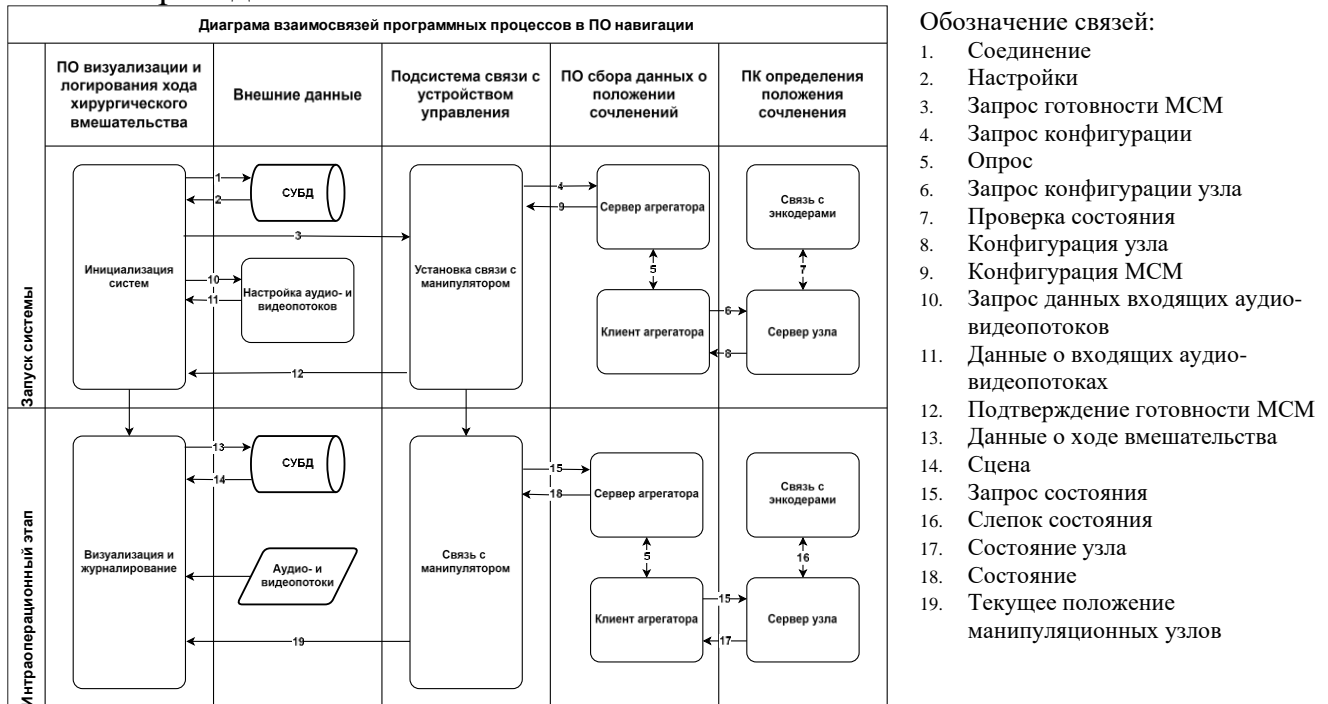


Рис. 9 Программные процессы отображения и совмещения 3D моделей

В четвёртой главе уделяется внимание практической реализации системы. В главе описываются разработанные в соответствии с предложенными решениями программные и технические средства, приводятся данные о результатах испытаний созданной ИС. Перечень программных компонентов представлены в Таблица 1

Таблица 1 Перечень основных программных компонентов ИСУ ЭВ

№	Название разработанного программного компонента	Назначение разработанного программного компонента
1.	Автоматизированная реконструкция изображений	Создание сегментированной трёхмерной модели зоны ХВ для использования на интраоперационном этапе

№	Название разработанного программного компонента	Назначение разработанного программного компонента
2	Программное обеспечение визуализации и протоколирования хода ХВ	Сбор и обработка разнородной информации в составе: трёхмерные модели, аудио- и видеопотоки, технические средства сбора информации (МСМ и положение линейного инструмента), управляющие команды от элементов управления системой.
3	Программный компонент определения положения сочленения манипулятора.	Определение положения и направления штифта сочленения манипулятора относительно центральной точки его основы. Передача собранных данных внешнему программному компоненту по требованию
4	Программный компонент сбора данных о положении сочленений	Хранение информации о настройках и параметрах каждого сочленения МСМ. Сбор данных с программных компонентов определения положения сочленения манипулятора. Определение положения конечного сочленения МСМ относительно точки крепления. Выдача собранных и вычисленных данных внешнему программному компоненту по требованию.
5	Подсистема хранения данных	База данных ИСУ ЭВ.

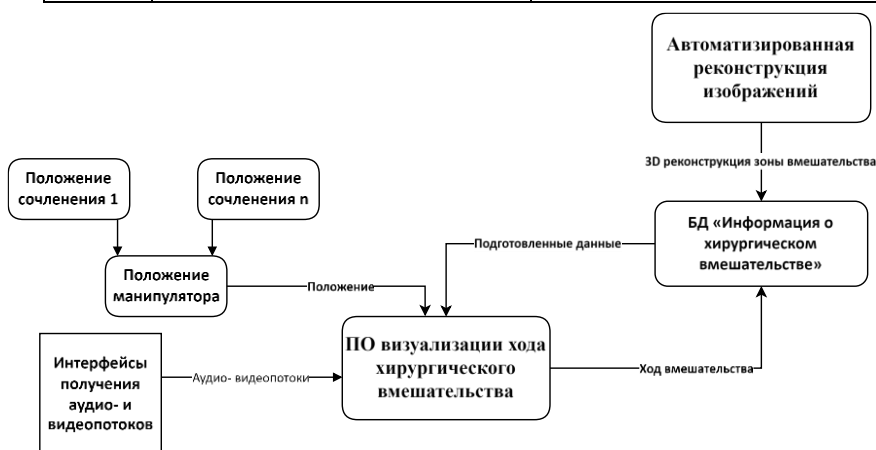


Рис. 10 Взаимосвязи программных модулей

Схема обмена данными между программными модулями представлена на Рис. 10.

Также сформулированы и формализованы требования к решаемым задачам и функциям, реализуемым различными компонентами ИС, требования к видам обеспечения. Описаны требования к этапности

создания, приемке, подготовке к эксплуатации и эксплуатации системы.

В заключении диссертации произведено обобщение результатов, полученных в ходе проведения диссертационного исследования:

1. Построена и оптимизирована с учётом внедрения в практику метода подготовки графических диагностических данных информационно-логическая модель процессов подготовки и проведения ХВ в ЭНХ при ВПРЛиМП.
2. Реализована математическая модель объективизации интраоперационного контроля положения линейного хирургического инструмента с использованием МСМ.
3. Реализована модель данных, построенная на основании модели бизнес-процесса подготовки и проведения вмешательства и математической модели объективизации интраоперационного контроля.
4. Разработана информационная система, функционирующая совместно с прототипом манипулятора, сконструированного и произведённого на основе

функциональных требований. Подтверждена гипотеза о применимости системы хирургической навигации при проведении ХВ при ВПРЛиМП у пациентов неонатального возраста методами эндоскопической хирургии.

Результаты внедрения

В настоящее время в НЦАГиП им Кулакова уже внедрён и применяется оптимизированный процесс подготовки и проведения ХВ с методом подготовки графических диагностических данных для пациентов с врождёнными пороками развития лёгких. Результатом внедрения метода стало существенное сокращение среднего времени ХВ по ряду операций. Таблица 1 содержит данные о средней длительности основных типов операций при пороках развития легкого приведён.

Таблица 2. Сравнение длительности операций в зависимости от применения оптимизированного процесса подготовки и проведения ХВ.

№ п/п	Тип хирургического вмешательства	I этап	Средняя длительность операции I этап (мин.)	II этап	Средняя длительность операции II этап (мин.)	Разность средних, мин.	p-value
1	Удаление экстралобарной БС	9	67,22±26,71	8	57,5±22,04	9,72	0.846
2	Удаление экстралобарной внеплевральной локализации	11	137,73±61,37	3	95±57,66	42,73	0.348
3	Удаление интралобарной БС	4	117,5±44,44	4	60±18,26	57,50	0.042
4	Перевязка аномального сосуда/сосудов и лобэктомия при интралобарной БС и комбинации БС с КАМЛ	9	215±82,16	13	138,47±40,38	76,53	0.008
5	Лобэктомия при КАМЛ	25	195,5±100,5	34	131±52	63	0.001

Рекомендации и перспективы разработки темы

Разработка аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов ХВ в неонатальном периоде может быть продолжена в части расширения функционала комплекса на военно-полевую хирургию, челюстно-лицевую хирургию и гинекологию. Применение такой системы потребует тщательнейшей разработки новых математических моделей, формирования онтологии соответствующих баз данных и знаний для новых предметных областей, а также разработки подходов к интеграции и визуализации разнородных данных в целях информационного и интеллектуального сопровождения процессов обучения персонала, подготовки и проведения ХВ.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ:

1. Nemkovskiy G.B., Dorofeeva E.I., Tumanova U.N., et al. Features of the diagnostic information processing for congenital lung malformations in newborns for the automated analysis

and surgical navigation systems //Procedia Computer Science. – 2018. – Т. 126. –С. 1178-1186. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.058>

2. Nemkovskiy G.B., Podurovskaya Yu.L., Balashov I.S., et al The original technique of the collection and adaptation different types of diagnostic information for congenital urinary malformations in newborns for the systems of automated analysis of three-dimensional images and surgical navigation // Procedia Computer Science. – 2018. – Т. 126. – С. 1216-1223. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.063>

3. Немковский Г. Б. Шурыгина О.В., Беляков В.К. и др. Новые возможности культивирования эмбрионов человека in vitro. // Морфология. – 2020. – Т. 157. – № 1. – С. 75–78.

4. Немковский Г.Б., Дорофеева Е.И, Лосев А.Ю. Оптимизация информационных процессов в ходе подготовки и проведения вмешательства в неонатальной хирургии. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2024. – №2 (77). – С. 51–58.

Публикации в прочих изданиях, а также сборниках трудов международных и всероссийских конференций:

5. Немковский Г.Б., Дорофеева Е. И., Кузнецов А. Б., Беляков В. К. Информационное обеспечение задач позиционирования хирургического инструмента при эндоскопических вмешательствах // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2023. – №(74). – С. 10–19.

6. Nemkovskiy G. B., Kuznetsov A. B., Belyakov V. K. [et al.] Automatic detection of morphodynamic profile of human embryos in vitro data sets preparation // Procedia Computer Science: 24, Virtual Online, 16–18 сентября 2020 года. – Virtual Online. – 2020. – P. 1736-1744. DOI 10.1016/j.procs.2020.09.212.

7. Немковский Г.Б., Дорофеева Е. И., Подуровская Ю.Л., Туманова У. Н. и др. Система компьютерного анализа клинико-диагностических данных для планирования оптимального хирургического вмешательства у новорожденных с пороками развития легких // Акушерство и гинекология. – 2018. – № 12. – С. 117–124. DOI: <https://dx.doi.org/10.18565/aig.2018.12.117-124>

8. Немковский Г. Б., Кошкина А. Э., Лебедь О. Л. Разработка приложения для самопомощи больным тревожно-депрессивным расстройством // Главврач. – 2023. – № 12. – С. 56–62.

Результаты, полученные в процессе выполнения работы, оформленные в виде отчётов о ПНИЭР:

9. Выбор, обоснование и апробация аппаратных и программных компонентов визуализации и позиционирования, проверка их применимости в эндоскопической неонатальной хирургии врождённых пороков развития лёгких, почек и объёмных образований: отчёт о НИР. // ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД»; рук. В. К. Беляков; исп. Г. Б. Немковский и др. – Москва. – 2017. – 37 с. – СПС №14.607.21.0162.

10. Разработка методики организации контроля положения дополнительных хирургических инструментов и изменения состояния анатомических структур пациента неонатального возраста при проведении хирургических вмешательств с использованием аппаратно-программного комплекса хирургической навигации: отчёт о НИР. // ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД»; рук. В. К. Беляков; исп. Г. Б. Немковский, А. В. Прохин, В. В. Кожинов и др. – Москва, 2018. – 168 с. – СПС №14.607.21.0162.

11. Выбор и обоснование унифицированной технологической программной платформы для реализации пользовательских интерфейсов автоматизированных рабочих мест пользователя, запрашивающего консультацию и эксперта, осуществляющего консультирование: отчёт о НИР.//ООО «ВЕСТТРЕЙД ЛТД»; рук. В. К. Беляков; исп. Г. Б.

Немковский, А. В. Демьяненко, Ю. И. Ермолаенко и др. – Москва, 2016. – 39 с. – СПС №14.607.21.0162.

12. Технические требования к АПК для автоматического анализа диагностических изображений: отчёт о НИР. // ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД»; рук. В. К. Беляков; исп. Г. Б. Немковский и др. – Москва, 2017. – 18 с. – СПС №14.607.21.0162.

13. Технические требования к АПК для проведения удалённых медицинских консультаций с использованием диагностических изображений, аудио- и видеоконференцсвязи в рамках планирования и/или контроля результатов оперативного вмешательства: отчёт о НИР. // ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД»; рук. В. К. Беляков; исп. Г. Б. Немковский и др. – Москва, 2017. – 20 с. – СПС №14.607.21.0162.

14. Технические требования к АПК хирургической навигации для проведения оперативных вмешательств при врождённых пороках развития: отчёт о НИР. // ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД»; рук. В. К. Беляков; исп. Г. Б. Немковский, А. В. Прохин, А. Б. Кузнецов и др. – Москва, 2017. – 45 с. – СПС №14.607.21.0162.

15. Выбор и обоснование направления работы: отчет о ПНИЭР "Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде" (промежуточный) Этап 1: Соглашение о предоставлении субсидии от 03.10.2016 г. №14.607.21.0162// ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России, рук. проекта Д. Н. Дегтярёв. – Москва, 2016. – № ГР: АААА-А16-116110910075–2. – 280 с.

16. Определение требований аппаратно-программному комплексу: отчет о ПНИЭР "Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде" (промежуточный) Этап 2: Соглашение о предоставлении субсидии от 03.10.2016 г. №14.607.21.0162// ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России, рук. проекта Д. Н. Дегтярёв. – Москва, 2017. – № ГР: АААА-А16-116110910075–2. – 674 с.

17. Определение требований аппаратно-программному комплексу: отчет о ПНИЭР "Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде" (заключительный) Этап 3: Соглашение о предоставлении субсидии от 03.10.2016 г. №14.607.21.0162// ФГБУ «НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова» Минздрава России, рук. проекта Д. Н. Дегтярёв. – Москва, 2018. – № ГР: АААА-А16-116110910075–2. – 284 с.

18. Отчёт о работе Индустриального Партнёра. Внебюджетное финансирование ПНИЭР "Разработка прототипа аппаратно-программного комплекса хирургической навигации для поддержки планирования, выполнения и контроля результатов оперативных вмешательств в неонатальном периоде"//ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД»; рук. В. К. Беляков; исп. Г.Б. Немковский и др. – Москва, 2018. – 91 с. – СПС №14.607.21.0162.

НЕМКОВСКИЙ ГЛЕБ БОРИСОВИЧ

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНДОСКОПИЧЕСКИМ
ВМЕШАТЕЛЬСТВОМ В НЕОНАТАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 08.05.2024
Формат 60x84 1/16. Объём: усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № 2095
Гарнитура Times New Roman
Отдел полиграфии Научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова
119192 Москва, Ломоносовский проспект 27.