На правах рукописи

Леонов Андрей Владимирович

ВИРТУАЛЬНОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИСТОРИИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Специальность 07.00.10 – История науки и техники
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2017

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова Российской академии наук

Официальные оппоненты:

Бородкин Леонид Иосифович – член-корреспондент РАН, доктор исторических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой исторической информатики исторического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»;

Залаев Геннадий Захарович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела автоматизированных архивных технологий Федерального казенного учреждения «Российский государственный архив научно-технической документации»;

Крючков Борис Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина».

Ведущая организация: ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем».

Защита состоится «___» _____ 2018 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 002.051.06 при ФГБУН Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН по адресу: 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 14, комн. 46.

С диссертацией можно ознакомиться в Дирекции ФГБУН Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН по адресу: 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 14, комн. 48 и на сайте института http://www.ihst.ru (http://www.ihst.ru/content/dissertatsionnyi-sovet-d-00205106-zashchita-leonova-av)

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 14; тел./факс (495) 988-22-80.

Автореферат разослан «___» _____ 201__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.051.06
кандидат технических наук А. В. Пилипенко

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. Развитие методов и технологий лазерного сканирования, фотограмметрии, трехмерного моделирования привело к широкому применению виртуальных трехмерных (3D) моделей в различных областях науки, техники и медицины. Одной из областей активного применения виртуальных 3D-моделей стало сохранение, изучение и визуализация природного и культурного наследия: «виртуальное наследие» (Virtual Heritage).

Наиболее активно виртуальные 3D-модели применяются в археологии, количество проектов в области «виртуальной археологии» исчисляется тысячами[1]. В России Государственный Эрмитаж уже дважды проводил международные конференции «Виртуальная археология» (в 2012 и 2015 гг.). Тематика цифровой фиксации и виртуальной реконструкции археологических памятников, исторической архитектурной реконструкции широко представлена в работах группы «Археолого-географические информационные системы» (АГИС) ИА РАН (рук. — д.и.н. Д.С. Коробов) и кафедры исторической информатики исторического факультета МГУ (рук. — чл.-корр. РАН Л.И. Бородкин)[2].

Наследие в области истории науки и техники также является важной частью мирового культурного наследия. Однако применение виртуальных 3D-моделей для изучения и популяризации истории науки и техники – как в России, так и в мире – находится в начальной стадии. Это связано, прежде всего, с высокой сложностью трехмерного моделирования исторических технических объектов, процессов и комплексов, особенно крупномасштабных, а также высокой сложностью создания общедоступных средств интерактивной визуализации созданных 3D-моделей.

В то же время, потенциал применения виртуальных 3D-моделей для задач сохранения, изучения и представления (визуализации) различных объектов, связанных с историей науки и техники, чрезвычайно велик. Виртуальные 3D-модели могут применяться для сохранения точной и детальной информации о текущем состоянии памятников техники, изучения их конструкции, анализа исторической документации, виртуальной реконструкции утерянных объектов или

---

[1] *Bawaya M.* Virtual Archaeologists Recreate Parts of Ancient Worlds // Science. 2010. Vol. 327, N 5962. P. 140–141.

[2] *Бородкин Л. И., Жеребятьев Д. И.* Технологии 3D-моделирования в исторических исследованиях: от визуализации к аналитике // Историческая информатика. 2012. № 2. С. 49–63.

их элементов, динамической визуализации (анимации) исторических механизмов, экспериментов, технологических процессов и комплексов. Виртуальное 3D-моделирование может применяться также для сохранения в цифровой форме, реконструкции, изучения и визуализации природных объектов, связанных с историей науки и техники, визуализации и изучения исторических массивов данных, в том числе на основе виртуального глобуса.

Виртуальная 3D-модель представляет собой новый способ сохранения информации, и таким образом является новым типом документа – 3D-документом. Принципиальным отличием 3D-документа от других известных типов документов (текстовых документов, рисунков, кинофотофонодокументов[3]) является сохранение информации об объекте в некоторой трехмерной системе координат, связанной с объектом. В свою очередь, 3D-документ, как и любой другой тип документа, может рассматриваться как историко-научный и историко-технический источник. Введение этого нового типа источников в научный оборот, освоение предоставляемых ими возможностей, исследование задач архивного хранения 3D-документов и их правового статуса – актуальные и слабо разработанные проблемы.

Практическая актуальность работы заключается в разработке подходов к созданию виртуального музея науки и техники. Ведь создание виртуального музея невозможно без создания виртуальных экспонатов, а в области истории науки и техники такими виртуальными экспонатами являются виртуальные 3D-модели технических объектов и процессов, а также природных объектов, связанных с историей науки и техники. Таким образом, виртуальное 3D-моделирование исторических технических объектов и процессов – основа для создания виртуального музея науки и техники.

Актуальность создания виртуальных музеев признана в России на государственном уровне. Согласно Указу Президента Российской Федерации № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики» от 7 мая 2012 г., к 2018 г. в России должно быть создано 27 виртуальных музеев. В 2014 г. Министерством культуры РФ разработаны технические рекомендации по созданию виртуальных музеев. Эти рекомендации описывают три варианта

[3] *Магидов В. М.* Кинофотофонодокументы: проблемы историографии, архивоведения и источниковедения // Автореф. дис. ... докт. ист. наук: 07.00.09. М., РГГУ, Историко-архивный институт, 1993. 36 с.

реализации виртуального музея: на основе фотографий, на основе сферических фотопанорам или на основе 3D-моделей. Актуальность применения виртуальных 3D-моделей различается для разных типов музеев. Хотя многие музеи обладают трёхмерными экспонатами (например, скульптурами или предметами обихода), разработка виртуального музея на основе 3D-моделей, в том числе динамических (анимированных), наиболее актуальна в области истории науки и техники.

Таким образом, тематика работы имеет высокую научную и практическую актуальность.

Степень разработанности проблемы. Исследуемая в диссертации проблематика носит междисциплинарный характер.

Трехмерные образы объектов (цифровые 3D-модели) в последнее время получают все более широкое распространение в науке, технике, медицине. Конструкторская документация в современных системах автоматизированного проектирования (САПР) может проходить весь свой жизненный цикл (создание, утверждение, передачу в производство, архивацию для длительного хранения) в цифровом 3D-формате, без вывода комплекта бумажных документов - соответствующая технология получила название PLM (Product Lifecycle Management, «управление жизненным циклом продукции»). В строительстве все шире внедряется технология BIM (Building Information Modeling, «информационное моделирование зданий») – управление информацией об объекте (здании, сооружении) на всех этапах его жизненного цикла в рамках единой электронной информационной системы, основанной на цифровой 3D-модели этого объекта. Подходы к обработке, хранению, комплексному анализу трехмерных образов активно развиваются в медицине (в связи с развитием методов и технологий компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии). Большое количество цифровых 3D-данных генерируется (регистрируется) в различных областях науки, прежде всего, молекулярной биологии, химии, материаловедении, сейсмологии. Оборудование и особенно программное обеспечение для работы с 3D-данными постоянно развивается и становится все более доступным для широких кругов исследователей. Не удивительно, что виртуальное 3D-моделирование с использованием лазерного сканирования,

фотограмметрии и других технологий постепенно начинает использоваться также в задачах изучения, сохранения и популяризации объектов культурного наследия.

Подробный обзор мирового опыта по 3D-моделированию историко-технических объектов показал, что данная сфера является до сих пор относительно малоизученной, по сравнению например с виртуальным моделированием художественных объектов культурного наследия (скульптур, археологических находок и т.п.). Известно о ряде проектов по виртуальному моделированию и виртуальной реконструкции различных научно-технических экспонатов, выполненных (или выполняемых) отдельными рабочими группами в разных странах мира; в то же время, связные виртуальные туры на основе нескольких виртуальных экспонатов или целостные виртуальные музеи в открытом доступе нам обнаружить не удалось.

Например, 3D-моделирование применялось при реконструкции Антикитерского механизма. Это уникальное греческое редукторное устройство, созданное в конце II века до нашей эры. Известно, что этот механизм использовался для расчета и отображения астрономических величин, в частности, фаз луны и лунно-солнечного календаря. Он был обнаружен в 1901 г. рядом с островом Антикитер при исследовании места кораблекрушения римского судна. Конкретные функции этого устройства и его конструкция до сих пор остаются спорными, поскольку зубчатые колеса и надписи сохранились лишь фрагментарно. Исследования уцелевших фрагментов методами рентгенографии позволили выдвинуть ряд гипотез о функциях шестерней и конструкции механизма в целом, для проверки которых использовалось виртуальное 3D-моделирование[4].

Виртуальная реконструкция сыграла важную роль при исследовании исторических глобусов (глобуса Бехайма 1492 г., глобусов Меркатора 1541 г. и 1551 г., глобуса Ленокса 1503-1507 гг.)[5][6]. В частности, создание цифровых 3D-

[4] *Freeth, T. et al.* Decoding the Antikythera Mechanism: Investigation of an Ancient Astronomical Calculator // Nature, Volume 444, Issue 7119, pp. 587-591 (2006).

[5] *Menna, F. et al.* High Resolution 3D Modeling of the Behaim Globe // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B5, p. 115-120 (2012).

[6] *Stal, C. et al.* Digital Representation of Historical Globes: Methods to Make 3D and Pseudo-3D Models of 16th Century Mercator Globes // The Cartographic Journal, 49(2), 107-117 (2012).

моделей глобусов позволило численно оценить точность их геометрических характеристик и определить погрешности изготовления разных частей.

При исследовании Стоунхенджа (ок. 3000 до н.э.) производилось построение его 3D-модели на основе данных трехмерного лазерного сканирования (2002 и 2011 гг.)[7]. Исследование позволило выявить следы обработки на камнях, которые не удавалось обнаружить ранее. На основании этих данных были сделаны новые выводы о датах возведения частей комплекса. 3D-модель сооружения, интегрированная с 3D-моделью окружающей местности, позволила реконструировать процесс астрономических наблюдений, которые могли выполняться в этой древней обсерватории, и проверить связанные с этим гипотезы.

Проекты по виртуальной реконструкции памятников техники выполняются и в России. Например, выполнена виртуальная реконструкция и анимация воздуходувных мехов Нижнетагильского завода Демидова[8], цифровое 3D-моделирование (в т.ч. виртуальная реконструкция) механизмов Чебышева[9], компьютерная реконструкция процесса постройки Шаболовской радиобашни в Москве[10], виртуальная 3D-реконструкция вагона императорского поезда Александра III[11] и др.

К сожалению, все упомянутые выше виртуальные 3D-модели не доступны широкой публике, хотя они могли бы эффективно использоваться для популяризации истории науки и техники.

---

[7] *Unver, E., and Taylor, A.* Virtual Stonehenge Reconstruction // In: Progress in Cultural Heritage Preservation. Proceedings: Lecture Notes in Computer Science Subseries: Information Systems and Applications, incl. Internet/Web, and HCI , 7616 (XXV). Springer, 2012, P. 449-460. ISBN 978-3-642-34234-9.

[8] *Баранов Ю.М., Кузовкова М.В.* Исследование, реконструкция, 3D-моделирование и анимация воздуходувных мехов Нижнетагильского завода Демидовых (1860-1880-е гг.) // Годичная научная конференция ИИЕТ РАН, 2013: Труды конференции. Т. 2. М.: ЛЕНАНД, 2013. С. 374-376.

[9] *Андреев Н. Н., Калиниченко М. А., Кокшаров Р. А., Панюнин Н. М.* Механизмы Пафнутия Львовича Чебышева // Годичная научная конференция ИИЕТ РАН, 2012: Труды конференции, Т. II. М.: Янус-К, 2012. С. 835-837.

[10] *Андреев Н. Н., Жулин А. Ю., Калиниченко М. А., Панюнин Н. М.* Компьютерная реконструкция постройки башни В.Г. Шухова на Шаболовке // Годичная научная конференция ИИЕТ РАН, 2012: Труды конференции, Т. II. М.: Янус-К, 2012. С. 833-834.

[11] *Кунавин К. С.* Виртуальная реконструкция исторических памятников железнодорожного транспорта на примере Императорских поездов Александра III и Николая II // Виртуальная археология: Труды конференции / Государственный Эрмитаж. СПб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2013. С. 287-294.

Важность трехмерной фиксации информации о существующих памятниках техники и архитектуры, особенно находящихся под угрозой разрушения, также как и важность сохранения 3D-документов как историко-технических источников, к сожалению, осознается очень медленно. Первичная трехмерная информация, особенно получаемая коммерческими компаниями, зачастую не сохраняется исполнителем работ после их завершения, либо оказывается недоступной для изучения. Государственные и ведомственные архивы по большей части без энтузиазма относятся к задаче хранения первичных трехмерных данных, поскольку с этим связаны объективные технические и методические сложности. Объем таких данных может составлять десятки гигабайт, а их воспроизведение требует закупки специальной компьютерной техники и программного обеспечения. В результате, даже уже полученная ценная трехмерная информация об уникальных объектах нередко теряется, не сохраняется для будущих поколений.

Отметим, что аналогичная ситуация наблюдалась около ста лет назад с кинофотофонодокументами (КФФД), и по-видимому является типичной для начального этапа освоения нового типа документов. Как отмечал В. М. Магидов: *«…государственное хранение КФФД как документальных свидетельств эпохи стало обеспечиваться только во второй половине 1920-х гг…. мы сталкиваемся с многочисленными примерами утраты ценных кинофотокадров и фрагментов радио- и телепередач и целых произведений… Нельзя не учитывать также сложности взаимоотношений между государственными и ведомственными архивами… В результате в отечественных архивах отсутствуют полные комплекты кинофонодокументов; большая часть КФФД не сохранилась в полном объёме, в оригинале и в первоначальном монтаже»* [12].

Таким образом, проблематика виртуального 3D-моделирования в области истории науки и техники, несмотря на свою высокую актуальность и практическую значимость, слабо разработана. Несмотря на все более широкое распространение трехмерных данных и виртуальных 3D-моделей, в арсенале историков науки и техники они пока представлены слабо, а их возможности и потенциал использования не изучены в полной мере. Данные обстоятельства обусловили выбор темы, цель и задачи настоящего диссертационного исследования.

[12] Магидов, 1993.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в изучении возможностей применения современных средств 3D-моделирования для задач истории науки и техники, и разработке методов и технологий создания и представления (визуализации) 3D-моделей объектов истории науки и техники, прежде всего крупномасштабных технических и природных объектов.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих взаимосвязанных **задач диссертационной работы:**

— анализ мирового и российского опыта виртуального 3D-моделирования и реконструкции объектов истории науки и техники, выявление наиболее актуальных направлений исследования;

— разработка методов и технологий виртуального 3D-моделирования крупномасштабных технических и природных объектов и процессов, их апробирование на примере реальных объектов;

— обоснование эффективности применения методов виртуального 3D-моделирования для задач изучения объектов истории науки и техники;

— разработка методического и технического инструментария для представления (визуализации) виртуальных 3D-моделей объектов истории науки и техники;

— развитие методических и технических подходов к созданию виртуальных музеев на основе виртуальных 3D-моделей.

Объектом исследования являются виртуальные 3D-модели технических и природных объектов, связанных с историей науки и техники, а также методы и технологии их создания и представления (визуализации).

В качестве **предмета исследования** выступают возможности повышения эффективности изучения, сохранения и популяризации технических и природных объектов, связанных с историей науки и техники, за счет их виртуального 3D-моделирования.

Область исследования. Диссертационное исследование проведено в соответствии с п. 7 Исследование основных тенденций и закономерностей становления и развития отдельных наук или отраслей научного знания, п. 9. Исследование необходимости развития определенных направлений научно-

технической политики специальности 07.00.10 – История науки и техники (технические науки).

Методологической базой диссертационной работы послужили российские и зарубежные исследования по виртуальному 3D-моделированию объектов культурного и природного наследия, информационным технологиям в истории, виртуальной археологии, материалы научных конференций и семинаров, научные доклады Института истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН.

Информационной базой исследования послужили результаты исследований, получившие отражение в научных монографиях и публикациях отечественных и зарубежных авторов, а также материалы, размещенные в сети Интернет.

В ходе диссертационного исследования получены следующие результаты, обладающие **научной новизной**:

1. Выявлен новый инструмент сохранения, изучения и популяризации истории науки и техники – цифровое 3D-моделирование технических и природных объектов, процессов и комплексов. Проанализированы методы и технологии цифрового 3D-моделирования и выделены те из них, которые могут эффективно применяться в задачах истории науки и техники.

2. Впервые применено цифровое 3D-моделирование для историко-научного и историко-технического изучения крупномасштабных технических и природных объектов.

3. Впервые использованы современные технологии фиксации трехмерной информации (лазерное сканирование и фотограмметрия) для цифрового 3D-моделирования, виртуальной реконструкции и интерактивной 3D-визуализации крупномасштабных памятников техники, музейных технических экспонатов и природных объектов, связанных с историей науки.

4. Разработаны новые методы и технологии цифрового 3D-моделирования крупномасштабных технических и природных объектов, обеспечивающие сочетание высокой точности, детализации и визуальной реалистичности при отображении в режиме реального времени.

5. Разработаны новые методы и технологии представления виртуальных 3D-моделей крупномасштабных объектов и процессов, в том числе связанных с

историей науки и техники, на основе виртуального глобуса (цифровой трехмерной модели Земли).

6. Разработаны новые методы и технологии создания интерактивных 3D-презентаций, в том числе с поддержкой стерео-режима и со свободным доступом через интернет с применением современных технологий визуализации трехмерной графики в браузере.

7. Созданы компьютерные программы, обеспечивающие представление виртуальных 3D-моделей различных объектов и процессов на системах виртуальной реальности. Получено (в соавторстве) шесть свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

8. Впервые дано научное определение 3D-документа. Показано, что принципиальным отличием 3D-документа от других известных типов документов является сохранение информации об объекте в трехмерной системе координат, связанной с объектом. Выделено три вида 3D-документов: первичные трехмерные данные, метрически точная трехмерная документация, трехмерный рисунок.

9. Разработана концепция нового научного направления – виртуальной истории науки и техники, сформулированы его цели, задачи, предмет и методы исследования.

10. Впервые предложен комплексный подход к созданию виртуального музея науки и техники на основе 3D-документов.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Впервые применено цифровое 3D-моделирование для историко-научного и историко-технического изучения крупномасштабных технических и природных объектов, что позволило получить новые данные об истории и современном состоянии этих объектов, а также об истории их изучения и документирования.

2. Разработаны методы и технологии цифрового 3D-моделирования крупномасштабных технических и природных объектов, обеспечивающие сочетание высокой точности, детализации и визуальной реалистичности при отображении в режиме реального времени.

3. Разработаны методы и технологии создания интерактивных 3D-демонстраций с поддержкой стерео-режима для систем виртуальной реальности, а также интерактивных 3D-приложений со свободным доступом через интернет с

применением современных технологий визуализации трехмерной графики в браузере, обеспечивающие широкий доступ к виртуальным 3D-моделям крупномасштабных технических и природных объектов для их исследования и популяризации.

4. Доказано, что виртуальное 3D-моделирование и 3D-реконструкция технических и природных объектов, процессов и комплексов является эффективным методом исследования их структуры (конструкции), в том числе в ее историческом развитии.

5. Доказано, что цифровая 3D-модель представляет собой новый тип документа: 3D-документ. Впервые предложен комплексный подход к созданию виртуального музея науки и техники на основе 3D-документов.

Теоретическая значимость работы состоит в исследовании нового типа документов – 3D-документов, анализе возможностей их применения в истории науки и техники, и разработке основных подходов новой научной дисциплины (направления) – виртуальной истории науки и техники.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при разработке (создании) виртуальных 3D-моделей объектов истории науки и техники для их изучения, сохранения и популяризации, в том числе для создания виртуальных экспонатов для виртуального музея науки и техники. Практическая значимость подтверждена шестью свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Изложенные в работе предложения и практические рекомендации могут быть учтены: государственными органами власти при разработке национальной стратегии сохранения и изучения памятников природы и культуры, включая памятники науки и техники; министерствами и ведомствами Российской Федерации при определении основных направлений музейной политики в области создания виртуальных музеев как на федеральном, так и на региональном и местном уровнях; институтами гражданского общества при разработке и реализации программ сохранения культурного наследия, различных культурных проектов и инициатив; научными сотрудниками, специализирующими на применении информационных технологий в истории науки и техники.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность основных результатов диссертационного исследования неоднократно подтверждалась в ряде докладов и выступлений на научных конференциях, среди которых следует отметить международную конференцию «Методы неогеографии и виртуального окружения в визуализации гео-данных» (15-17 сентября 2009 г., Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский), IV и V международные конференции «Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования» (2009 и 2010 г., Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва), 52-ю и 53-ю научные конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук» (2009 и 2010 гг., МФТИ, Долгопрудный), третью научно-техническую конференцию «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» (9-15 октября 2011 г., Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский), международную научно-практическую конференцию «Реконструкция-реставрация Шуховской радиобашни в Москве» (29 ноября 2012 г., МГСУ, Москва), 22-ю международную конференцию по компьютерной графике и зрению «ГрафиКон'2012» (01-05 октября 2012 г., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва), IV международную научно-практическую конференцию «Документ. Архив. История. Современность» (1-4 ноября 2012 г., Уральский университет, Екатеринбург), международную конференцию «Геофизические обсерватории, многофункциональные ГИС и распознавание в информационных массивах» (30 сентября - 3 октября 2013, Геофизический центр РАН, Калуга), международную научно-практическую конференцию, посвященную 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова «Архитектоника инженера В.Г. Шухова» (13-14 ноября 2013 г., МАРХИ, Москва), международную конференцию «Великий русский инженер В.Г. Шухов и его научное наследие», посвященную 160-летнему юбилею со дня рождения В.Г. Шухова (25-27 ноября 2013 г., ИПМех РАН, Москва), объединенную международную научно-практическую конференцию «Электронный век культуры» и «EVA 2013 Москва» (20–21 ноября 2013 г., РГБ, Москва), XX международную научно-практическую конференцию «Документация в информационном обществе: эффективное управление электронными документами» (20-21 ноября 2013 г., Росархив и ВНИИДАД, Москва),

расширенное заседание Научно-технического Совета РГАНТД, посвященное 160-летию великого русского инженера, изобретателя В. Г. Шухова (10 сентября 2013 г., РГАНТД, Москва), научную конференцию «История науки и техники в свидетельствах и памятниках» (24 апреля 2014 г., ИИЕТ РАН, Москва), VIII и IX международные научно-практические конференции «История техники и музейное дело» (2014 и 2015 гг., ИИЕТ РАН и Политехнический музей, Москва), международный конгресс «Гений В.Г. Шухова и современная эпоха» (2014 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва), 25-й межвузовский научный семинар «Геометрия и расчет тонких оболочек неканонической формы» (27 мая 2014 г., РУДН, Москва), заседание экспертной рабочей группы по теме «Шуховская башня в Москве» (инженерно-реставрационный консилиум) (08 июля 2014 г., РААСН, Москва), вторую международную конференцию «Виртуальная археология (эффективность методов)» (1–3 июня 2015 г., Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург), конференцию «Междисциплинарные подходы к истории науки и техники» (27 мая 2015 г., ИИЕТ РАН, Москва), вторые чтения по историографии и источниковедению истории науки и техники «История науки: источники, памятники, наследие» (2016 г., ИИЕТ РАН, Москва), ежегодные научные конференции ИИЕТ РАН в 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 гг. (ИИЕТ РАН, Москва), доклад на Ученом совете ИИЕТ РАН (26 июня 2014 г., Москва), III международную научную школу молодых ученых ИИЕТ РАН (2014 г., ИИЕТ РАН и ЦПК им. Ю.А. Гагарина, Королев), V международную научную школу молодых ученых ИИЕТ РАН (2016 г., ИИЕТ РАН и Дом русского зарубежья имени Александра Солженицына, Москва), а также зарубежные конференции: 2010 International Conference on Cyberworlds (20-22 октября 2010 г., Nanyang Technological University, Сингапур), IADIS International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision And Image Processing 2011 (20-26 июля 2011 г., Рим, Италия), Seminar of the International D-A-CH Research Project “Konstruktionswissens der fruhen Moderne. Suchovs Strategien des sparsamen Eisenbaus” (18-21 февраля 2012 г., Institute of Conservation and Building Research (IDB), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich), Цюрих, Швейцария).

Виртуальные 3D-модели технических и природных объектов, связанных с историей науки и техники, созданные под руководством и при непосредственном участии автора, демонстрируются или демонстрировались на Постоянно действующей выставке достижений Российской академии наук (ПДВ РАН, Москва), в Российском государственном архиве научно-технической документации (РГАНТД, Москва), Государственном центральном музее современной истории России (Москва), музее ФГБУ «Кроноцкий государственный заповедник» (г. Елизово Камчатского края), на выставках, конференциях и веб-сайте Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова Российской академии наук (ИИЕТ РАН, Москва), мероприятиях Геофизического центра Российской академии наук (ГЦ РАН, Москва), а также используются или использовались для задач ФГБУ «Политехнический музей» (Москва), Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск), Центрального военно-морского музея (ЦВММ, Санкт-Петербург), ГосНИИАС (Москва), ФСК ЕЭС (Москва).

Основные научные публикации. По теме диссертационного исследования автором опубликовано 53 научных работы общим объёмом около 67,75 п.л. (лично автором – 62,5 п.л.), в том числе 1 индивидуальная монография и 15 статей в журналах, рекомендуемых ВАК для публикации основных научных материалов диссертации на соискание ученой степени доктора наук. Также автором получено (в соавторстве) 6 свидетельств на программное обеспечение.

Объем и структура работы. Структура и содержание диссертации обусловлены целью и задачами настоящего исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и списка литературы. Общий объем диссертации, без учета списка литературы, составляет 319 страниц.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с поставленными целями и задачами в диссертации исследуются взаимосвязанные теоретические и практические проблемы, последовательно отраженные в соответствующих главах работы.

1. В первой главе **«История и актуальные задачи виртуального 3D-моделирования в истории науки и техники»** рассматривается и анализируется зарубежный и российский опыт применения виртуальных 3D-моделей в области истории науки и техники. Рассмотрен ряд проектов по виртуальному моделированию и виртуальной реконструкции различных научно-технических экспонатов, выполненных отдельными рабочими группами и индивидуальными исследователями в разных странах мира, в том числе в России, рисунки 1-2.

Выполненный анализ показал, что тематика виртуального 3D-моделирования историко-технических объектов является слабо разработанной как в научных, так и в прикладных аспектах – не только в России, но и в мире в целом. При этом виртуальное 3D-моделирование имеет большой потенциал для историко-научного и историко-технического исследования технических и природных объектов, сохранения информации об объектах и их популяризации.

Показано, что применение лазерного сканирования и 3D-моделирования для сохранения и изучения памятников техники имеет свою специфику. Требуется проведение детального историко-технического анализа всего доступного массива архивной документации, определение и обоснование требуемой метрической точности и детальности (подробности) моделирования разных частей и элементов объекта (которые могут существенно различаться в зависимости от поставленных задач по сохранению и изучению объекта), индивидуальная оптимизация методик 3D-моделирования в зависимости как от специфики объекта, так и от будущих задач визуализации и презентации созданных 3D-моделей и т. д. Не менее сложной задачей, чем 3D-моделирование крупных технических объектов, является 3D-моделирование природных территорий, особенно в тех случаях, когда стоит задача выполнения такого моделирования с высокой точностью и детализацией для достаточно крупной территории.

Показано также, что проблема общедоступного представления виртуальных 3D-моделей является еще более острой, чем проблема создания таких моделей.

Несмотря на доступную информацию о ряде проектов в области 3D-моделирования объектов истории науки и техники, созданные виртуальные 3D-модели, как правило, не доступны для просмотра и изучения широкой публике – несмотря на очевидную их ценность как для исследовательских задач, так и для задач популяризации науки и техники. Как представляется, основной причиной этого является техническая сложность визуализации крупных и сложных виртуальных 3D-моделей средствами веб-браузера, а также сложность организации интуитивно понятного интерфейса для самостоятельного взаимодействия пользователя со сложными виртуальными 3D-моделями.

Таким образом, в ходе исследования показана высокая актуальность и перспективы применения виртуального 3D-моделирования в истории науки и техники и выделено два наиболее сложных комплекса задач, связанных с виртуальным 3D-моделированием историко-технических объектов:

1. 3D-моделирование крупномасштабных технических и природных объектов, в том числе в их историческом развитии, с учетом как исторической документации, так и современного состояния;

2. Создание общедоступных 3D-презентаций для обеспечения свободного доступа к созданным виртуальным 3D-моделям и связанной с ними информации.

Разработка методов и технологий решения этих задач представляется наиболее актуальной. Поэтому именно эти задачи в первую очередь определяют направления настоящего исследования. Анализу и разработке подходов к решению этих задач посвящены вторая и третья главы диссертационной работы.

Также в рамках первой главы был выполнен анализ значения понятия «виртуальный» и дано его определение для целей данной работы. Показано, что спектр значения слова «виртуальный» является очень широким. В рамках данной работы, мы будем называть «виртуальной 3D-моделью» любой трехмерный цифровой объект (информацию, зафиксированную на материальном носителе в цифровой электронной форме в привязке к трехмерной системе координат), который при его воспроизведении (или выполнении) с использованием современной компьютерной техники обеспечивает формирование образа объекта в воображении человека без взаимодействия с реальным объектом. Сам этот образ, формируемый в воображении человека, мы также будем называть «виртуальным».

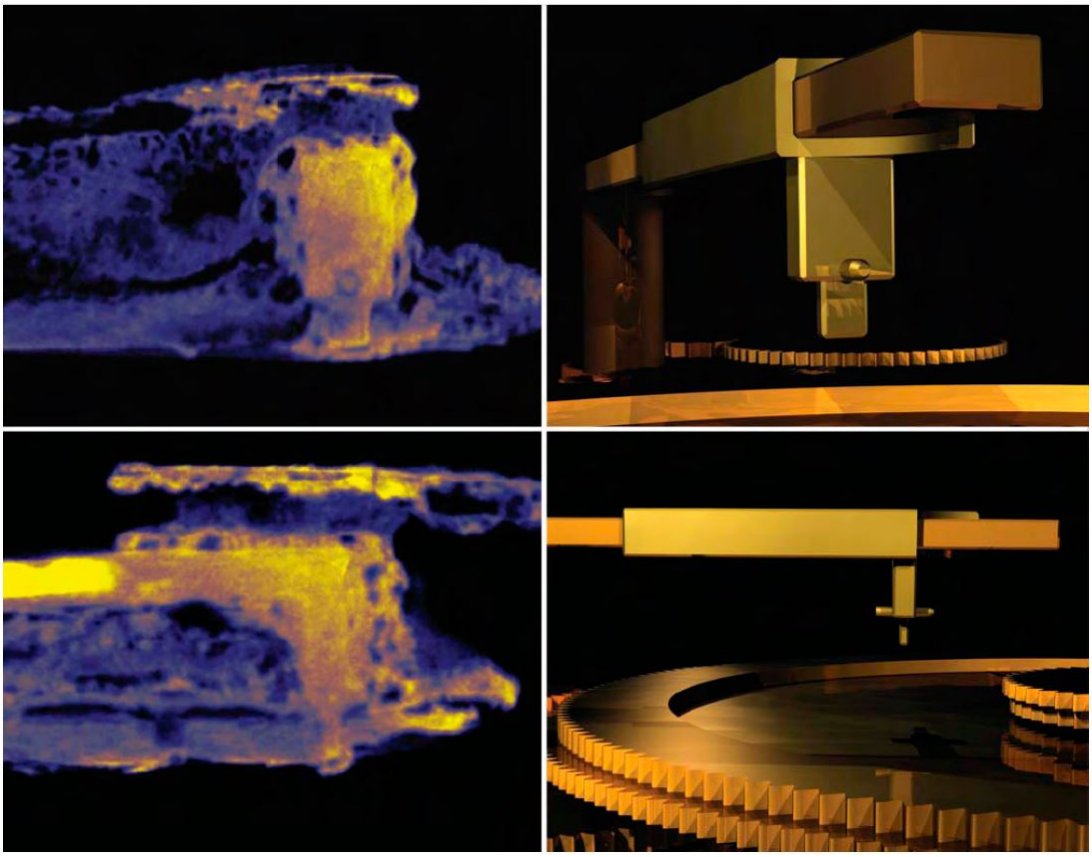

Рисунок 1 — Результаты компьютерной томографии элементов Антикитерского механизма (слева) и их виртуальная 3D-реконструкция (справа)[13]

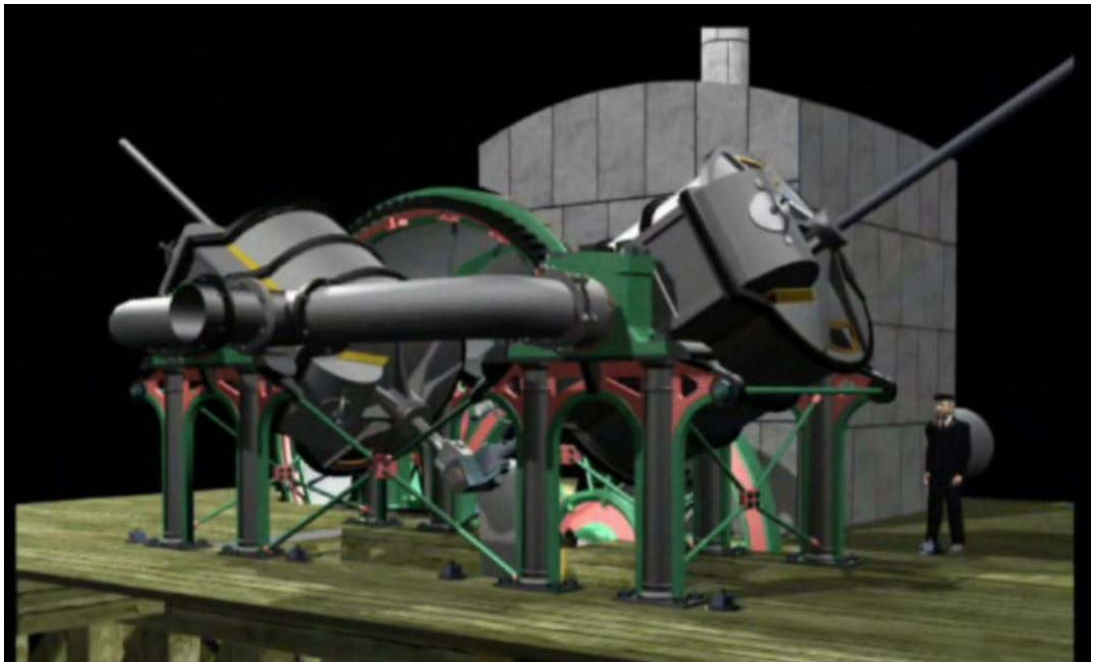

Рисунок 2 — Виртуальная 3D-реконструкция воздуходувных мехов Нижнетагильского завода Демидовых[14]

[13] *Freeth et al.*, 2006.

[14] *Баранов, Кузовкова, 2013.*

2. Во второй главе **«Разработка подходов к виртуальному 3D-моделированию крупномасштабных объектов истории науки и техники»** подробно рассматривается и анализируется опыт двух крупных проектов, выполненных под руководством и при непосредственном участии автора: виртуальное 3D-моделирование крупномасштабного технического объекта – Шуховской башни на Шаболовке, и виртуальное 3D-моделирование крупномасштабного природного объекта – Долины гейзеров на Камчатке. Исследуется опыт применения разработанных методов и подходов для виртуального 3D-моделирования других природных и технических объектов (электромобиля «Колумбия» из коллекции Политехнического музея, крейсера «Аврора», Денисовой пещеры на Алтае и др.).

Показано, что лазерное сканирование Шуховской башни позволило с высокой точностью и пространственным разрешением задокументировать общую геометрию конструкции и создать точную и детальную виртуальную 3D-модель башни, рисунки 3-6. Созданная виртуальная модель может использоваться для исследования конструкции башни, изучения истории ее постройки, контроля точности реставрации-реконструкции, инженерных расчетов, а также для разнообразных научно-популярных и образовательных приложений. Все результаты проекта и созданные 3D-модели башни были переданы в РГАНТД.

В ходе работ был выполнен анализ исторической документации, обнаружен ряд отличий документации от фактической конструкции башни, выявлены ошибки в описании памятника техники. В частности, впервые установлена истинная высота оригинальной несущей конструкции башни – 145 м, выявлено упрощение способа монтажа промежуточных колец в процессе монтажа. Таким образом, виртуальное 3D-моделирование позволило не только сохранить информацию о памятнике техники, но и получить новые историко-технические результаты.

Виртуальное 3D-моделирование крупного природного объекта – Долины гейзеров на Камчатке – на основе спутниковых данных высокого разрешения позволило создать современную геопространственную основу для изучения его истории и современного состояния, а также для изучения и анализа исторических карт и схем расположения гейзеров и других термальных объектов. В результате проекта впервые была создана точная цифровая 3D-модель территории Долины

гейзеров, привязанная к мировой системе координат. Важно отметить, что виртуальное 3D-моделирование природного объекта оказалось эффективным средством анализа и систематизации исторической картографической и топонимической информации. С использованием созданной виртуальной 3D-модели был впервые проведен подробный анализ истории развития картографии и топономики уникального природного объекта со сложным и меняющимся во времени рельефом; определены точные географические координаты более чем 150 гейзеров и кипящих источников — как существующих, так и утерянных к настоящему времени; выполнена геопривязка исторических карт и схем. Одним из результатов работы стало издание автором индивидуальной монографии – полного современного каталога гейзеров Кроноцкого заповедника[15].

Виртуальное 3D-моделирование электромобиля «Колумбия» из коллекции Политехнического музея и виртуальная реконструкция утраченных элементов позволили выявить ошибки, допущенные при его реставрации, смоделировать расположение утраченных элементов и подготовиться к физической реставрации объекта, рисунки 7-8. Лазерное сканирование крейсера «Аврора» и скульптуры «Родина-Мать зовет!» позволило сохранить точную трехмерную информацию о геометрии этих объектов, рисунок 9. Эта информация может оказаться полезной в будущем для различных научно-исследовательских и прикладных задач: оценки изменений геометрии (деформаций, деградации) объектов во времени, планировании реставраций и реконструкций, задач популяризации.

Виртуальное 3D-моделирование Денисовой пещеры на Алтае позволило с недоступным ранее уровнем точности проанализировать историческую документацию об археологических раскопках, выявить расхождение исторической документации (используемых археологами схем пещеры) с истинной геометрией пещеры. Впервые в России была создана трехмерная цифровая модель палеолитической пещерной стоянки, выполнена привязка этой 3D-модели к используемой исследователями археологической системе координат, создан программный инструментарий для трехмерного анализа расположения археологических находок, анализа стратиграфии и осадконакопения, рисунок 10.

---

[15] *Леонов А. В.* Каталог гейзеров Кроноцкого заповедника. Долина гейзеров и кальдера вулкана Узон: история и современность. М.: Издательство ООО «Реарт», 2017. 384 с.

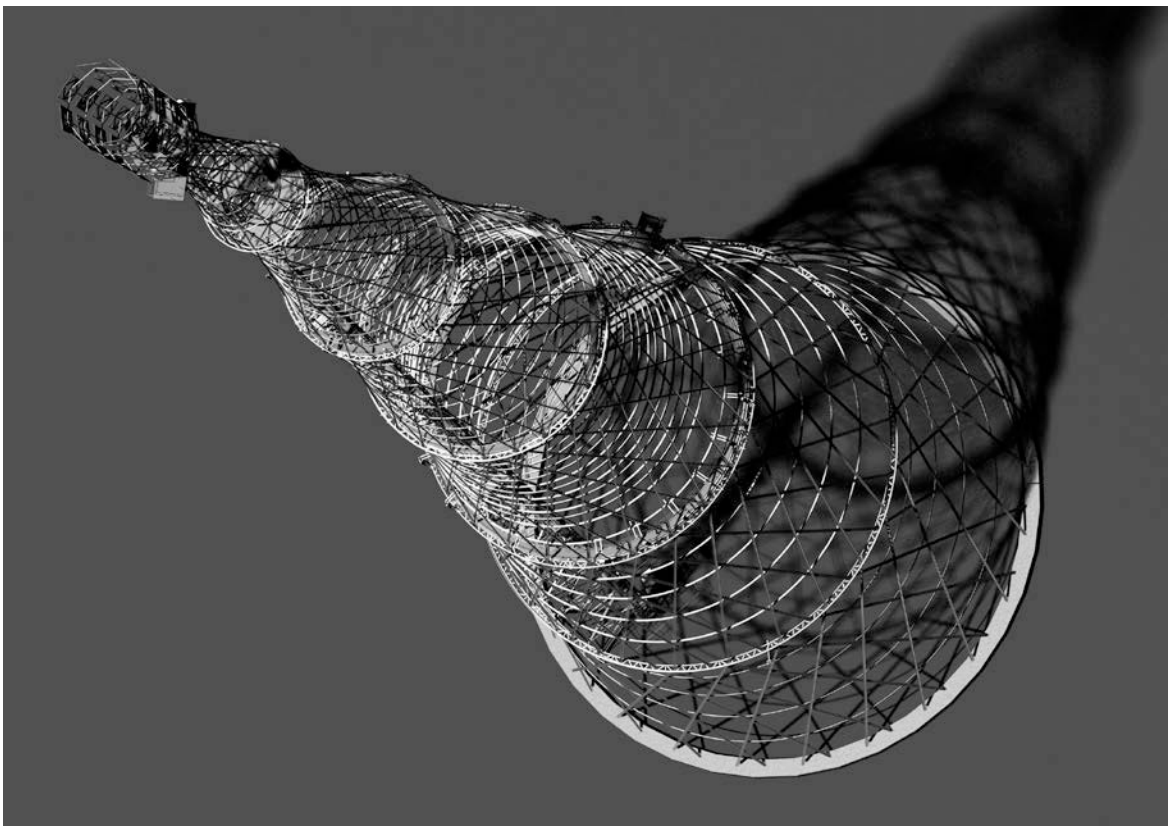

Рисунок 3 – Виртуальная 3D-модель Шуховской башни на Шаболовке.

Рисунок 4 – Виртуальная 3D-модель Шуховской башни на Шаболовке, фрагмент.

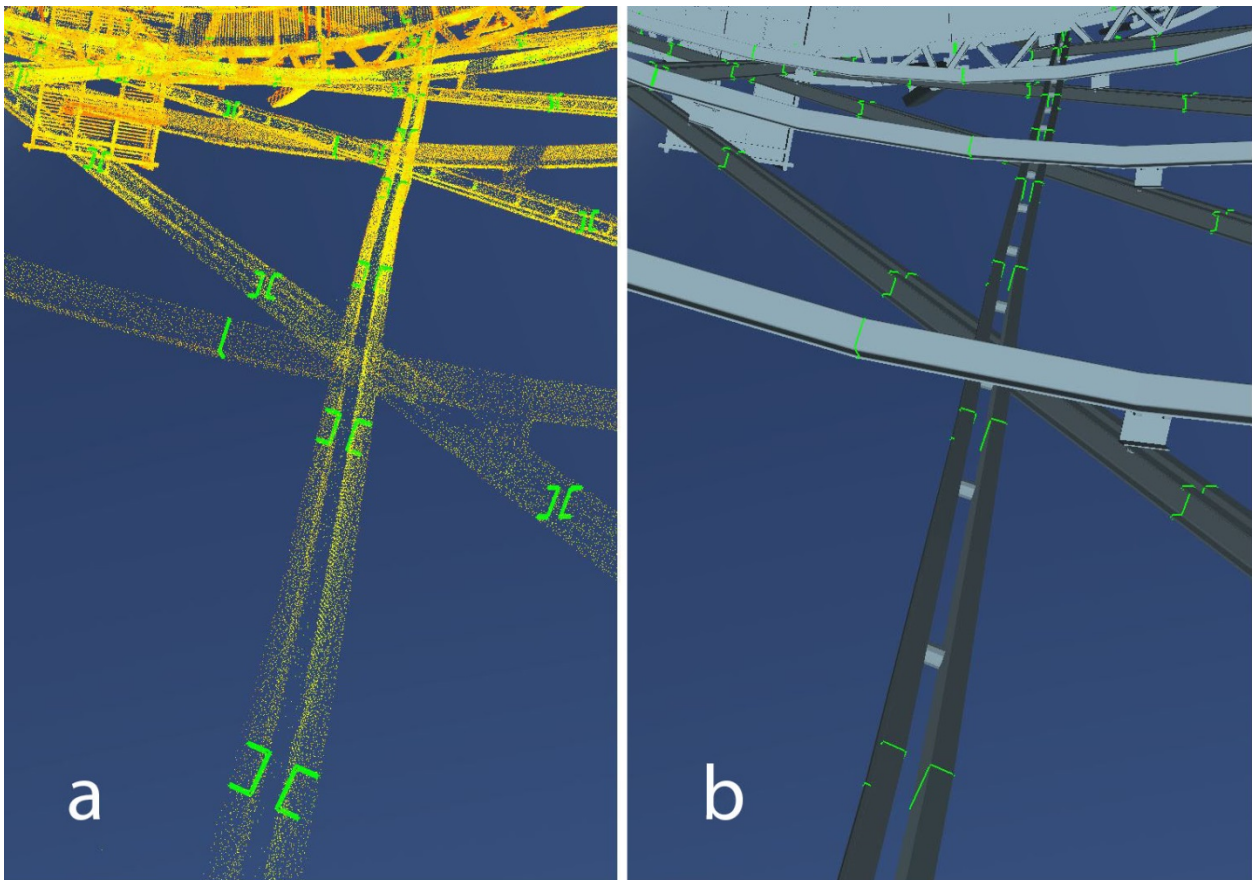

Рисунок 5 — Расстановка сечений (а) и 3D-моделирование по сечениям (б)

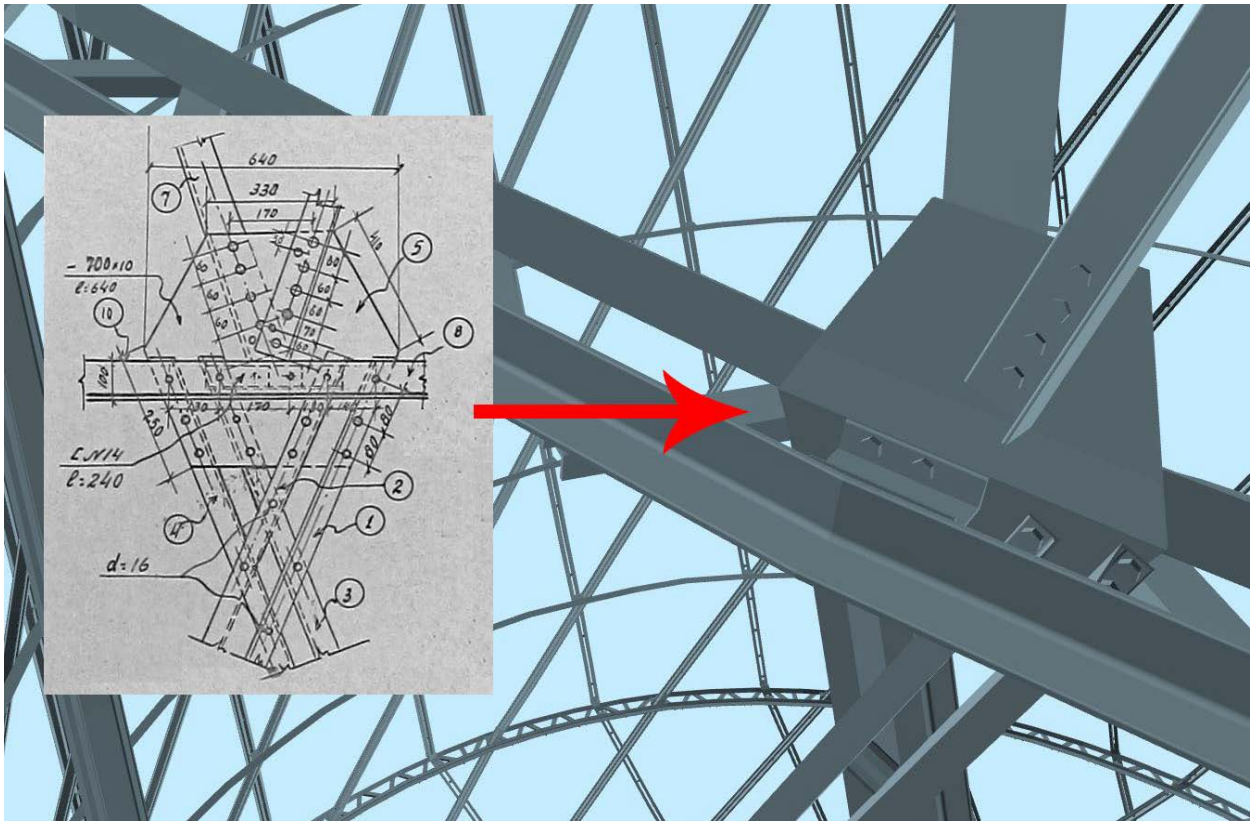

Рисунок 6 — 3D-моделирование соединительных узлов на основе исторической документации

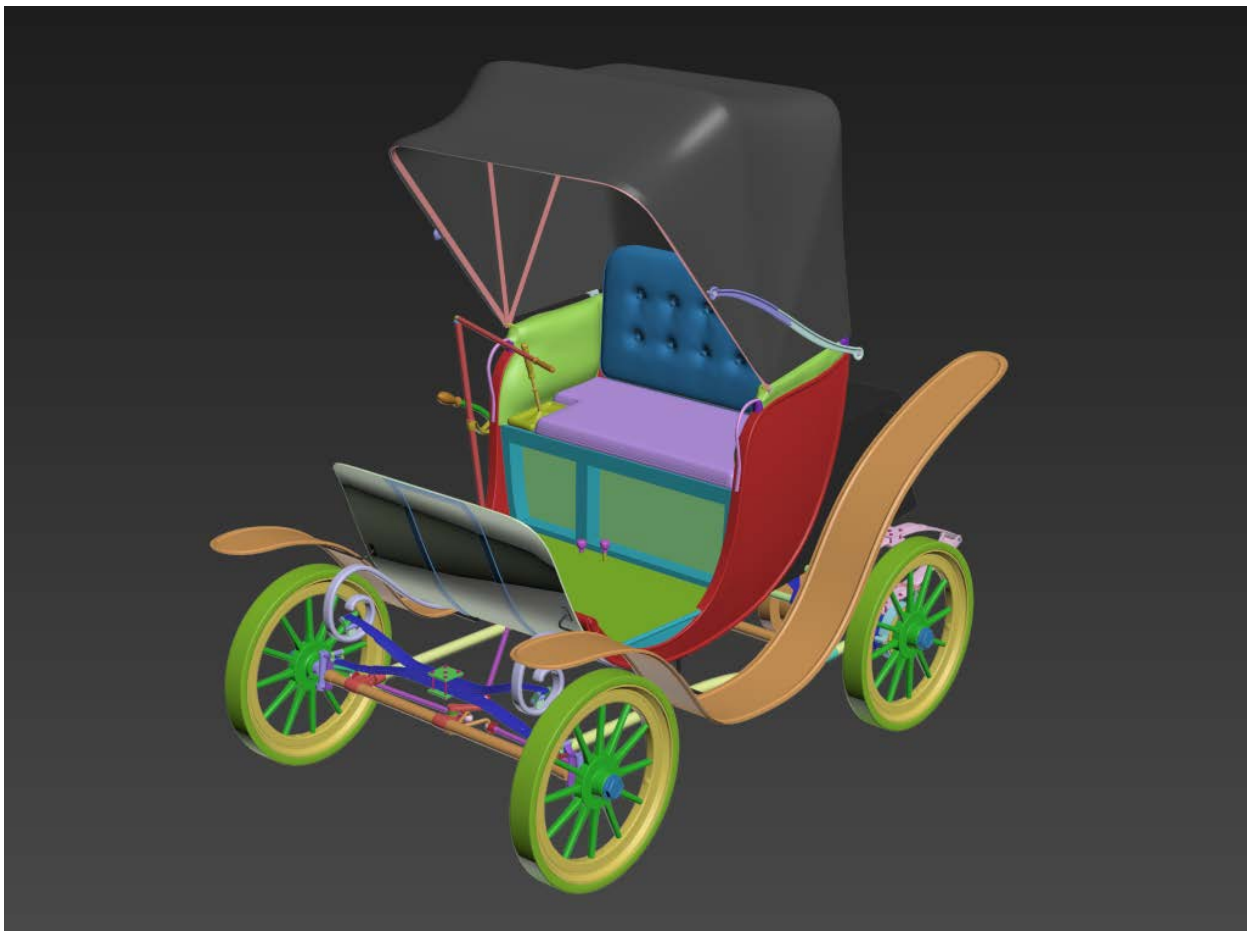

Рисунок 7 — 3D-модель электромобиля «Колумбия», общий вид

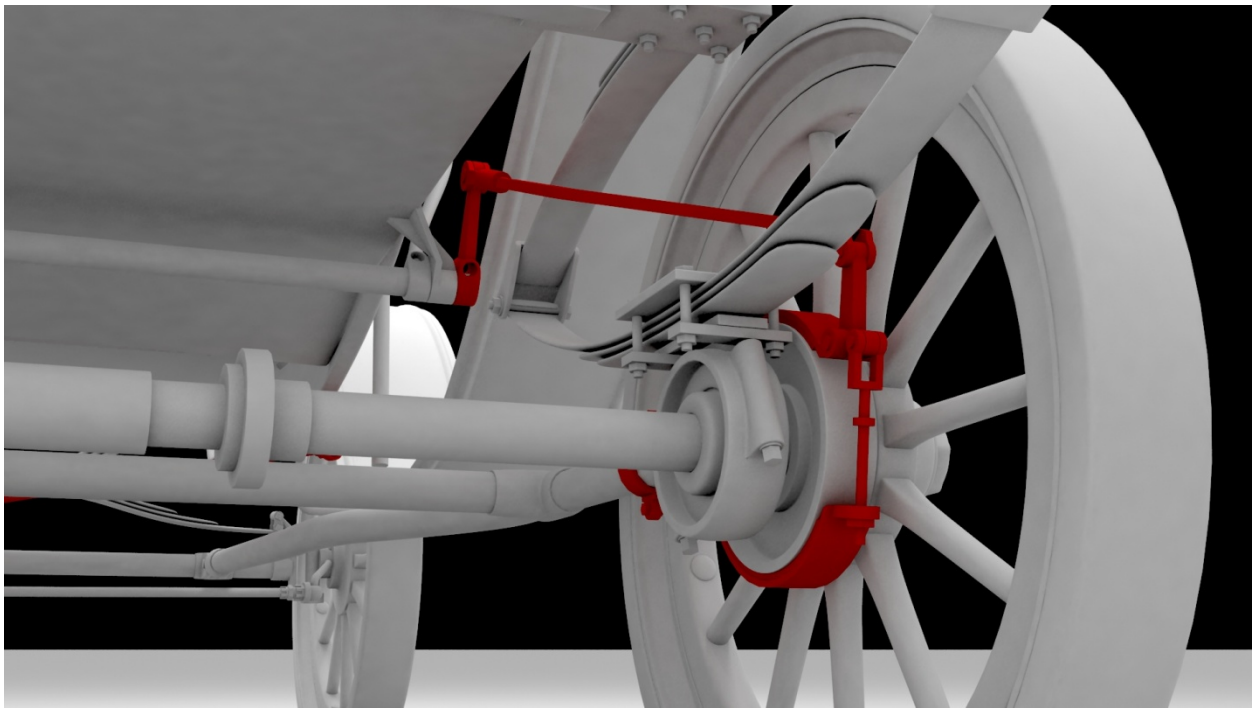

Рисунок 8 — Тормозной механизм электромобиля «Колумбия», восстановленный с помощью 3D-моделирования имеющихся демонтированных деталей и фотографий аналогичного электромобиля из музея Бьюли

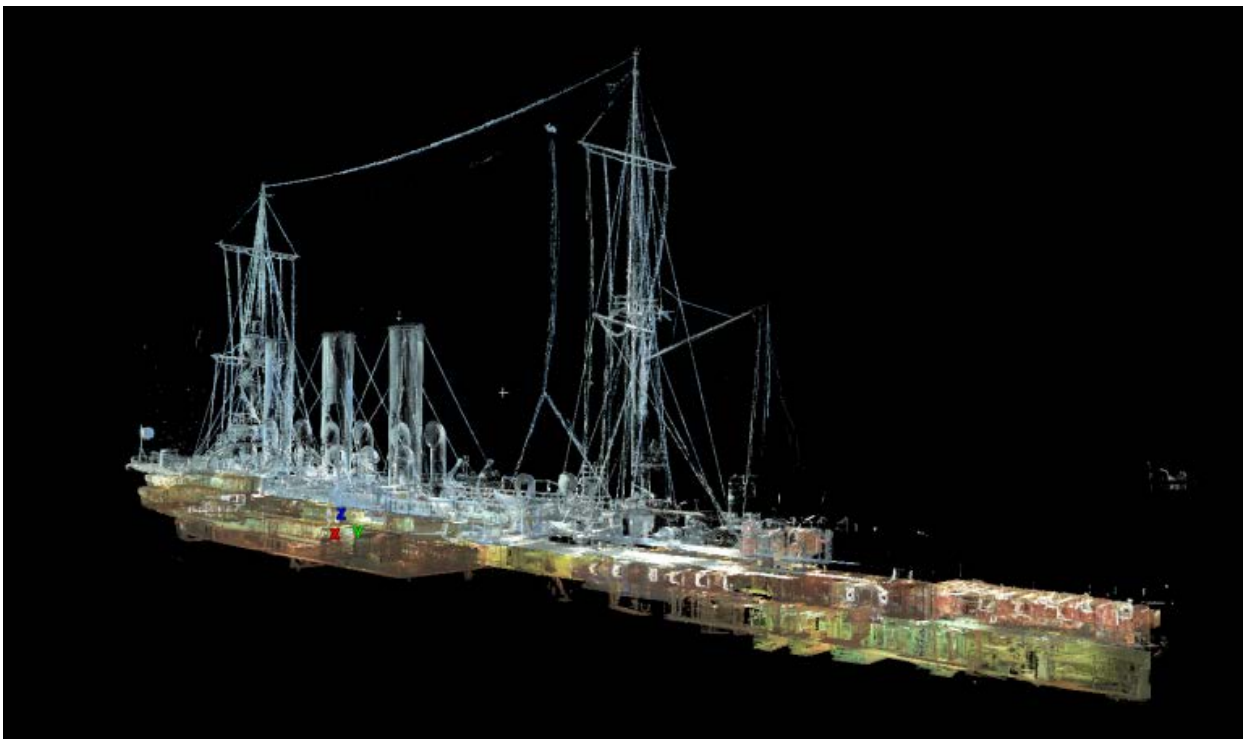

Рисунок 9 — Результат лазерного сканирования крейсера «Аврора» (трехмерная точечная модель), 2015 г.

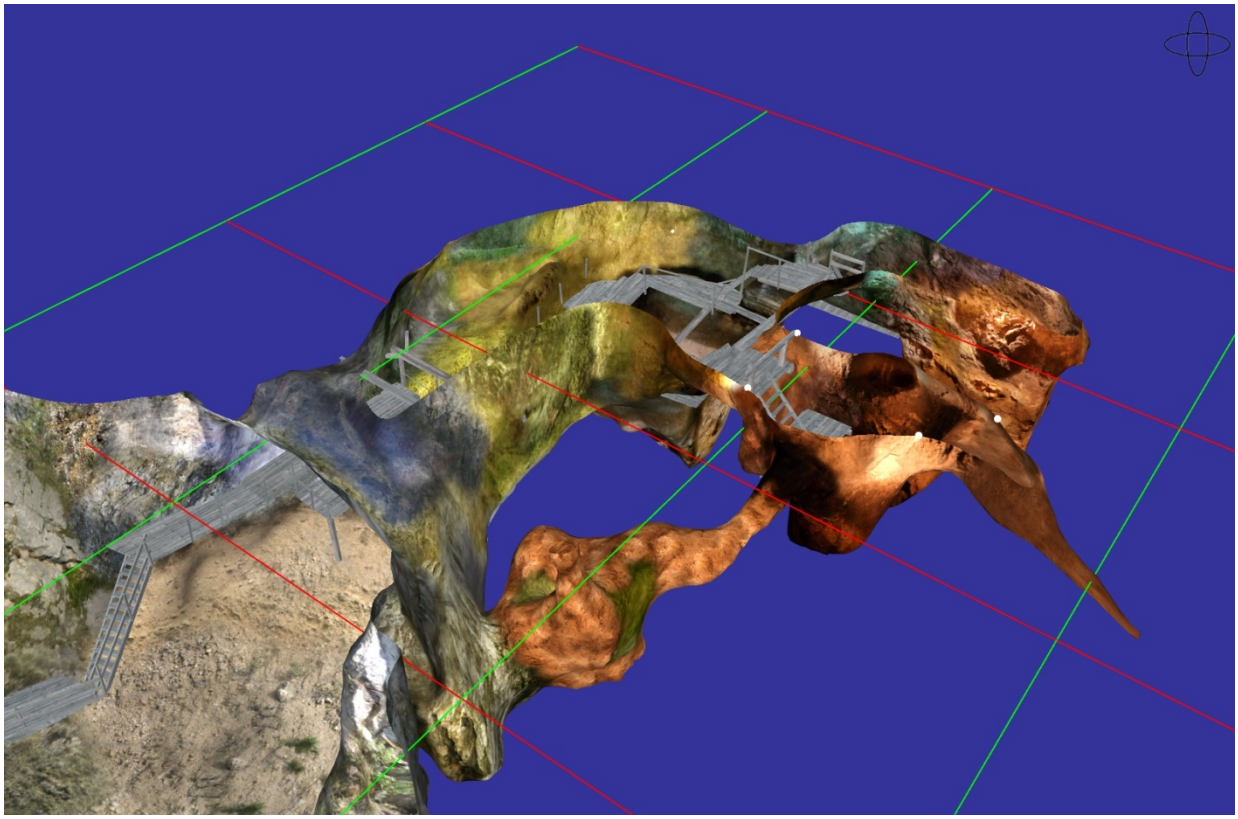

Рисунок 10 — Срез 3D-модели Денисовой пещеры на уровне +1 м с наложением координатной сетки (шаг сетки – 10 м). Точками показано положение реперов на стенах пещеры (4 репера на уровне +1 м и один репер на уровне 0 м)

3. В третьей главе **«Разработка методов и технологий представления виртуальных 3D-моделей крупномасштабных объектов»** исследуется актуальный вопрос представления виртуальных 3D-моделей и связанной с ними информации специалистам и широкой публике. Показано, что в задаче представления виртуальных 3D-моделей и связанной с ними информации можно выделить два основных вопроса: методический и технический.

С методической точки зрения, основной задачей разработчика является синтетическое представление информации, т.е. представление больших массивов разнородных данных в форме (или на основе) визуально осмысленных 3D-моделей, в том числе с применением игровых элементов. Благодаря этому достигается гармоничная активизация левополушарного (логического) и правополушарного (ассоциативного) мышления и лучшее понимание (восприятие) информации. При этом применяются методы и подходы виртуальной реальности (virtual reality, virtual environment), интерактивного повествования (interactive storytelling), ситуационной осведомленности (situational awareness), неогеографии (neogeography), а также тесно связанные с ним методы и технологии совмещения развлечения и образования («edutainment» = «education» + «entertainment»), современным воплощением которых являются «серьезные игры» (serious games).

С технологической точки зрения, для обеспечения доступа к виртуальным 3D-моделям (3D-документам) и их коллекциям (наборам) могут применяться два подхода: индивидуализированный или массовый. Индивидуализированный подход предполагает использование стационарного или мобильного программно-аппаратного комплекса, как правило с большим экраном, зачастую с поддержкой специфических функций отображения (например, стерео) или взаимодействия (сенсорные экраны, манипуляторы). Массовый подход предполагает создание автономного программного продукта, который можно установить на пользовательском компьютере, либо создание веб-приложения, предназначенного для просмотра в браузере. Наиболее массовый доступ к 3D-моделям может быть обеспечен за счет создания веб-приложения, не требующего установки плагина.

Разработаны методы и технологии создания интерактивных 3D-приложений для представления и популяризации виртуальных 3D-моделей. Представлен ряд примеров интерактивных 3D-приложений, разработанных автором совместно с

коллегами для представления и популяризации созданных виртуальных 3D-моделей объектов истории науки и техники. Разработаны как 3D-приложения с поддержкой стерео-режима для систем виртуальной реальности, рисунки 11-12, так и 3D-приложения со свободным веб-доступом, основанные на современных технологиях визуализации трехмерной графики в браузере, рисунки 13-14. На ряде примеров показано, что виртуальное 3D-моделирование является эффективным средством популяризации истории науки и техники.

Показана высокая практическая значимость разработанных методов и технологий, на примере прикладной задачи – создания виртуальной 3D-модели действующей электроподстанции для задач обучения персонала и обеспечения безопасности эксплуатации и ремонтных работ, рисунки 15-16. Показано, что использование программного комплекса позволило: сократить расходы на подготовку ремонтных работ; выявить особо сложные, в части организации ремонтных работ, участки электроустановки; оптимизировать последовательность производства этапов работ, перемещения техники и механизмов; создать совершенно новый метод обучения и тестирования оперативного персонала.

На ряде примеров показано, что виртуальное 3D-моделирование является эффективным средством популяризации истории науки и техники. Виртуальные 3D-модели технических и природных объектов могут применяться для создания интерактивных 3D-демонстраций, реализующих принцип совмещения развлечения и образования — как для систем виртуальной реальности, основанных на стереоскопической визуализации, так и для массового доступа через сеть Интернет.

В работе также показано, что виртуальный глобус — цифровая трехмерная модель Земли — является эффективным средством представления виртуальных 3D-моделей крупномасштабных объектов и процессов, связанных с историей науки и техники. Приведены примеры успешного применения виртуального глобуса для представления крупномасштабных технических и природных объектов, расположенных на поверхности Земли, а также для визуализации виртуальных 3D-моделей крупномасштабных природных процессов под поверхностью земли, и для визуализации виртуальных 3D-моделей технических объектов, крупномасштабных комплексов и систем в околоземном пространстве, рисунки 17-18.

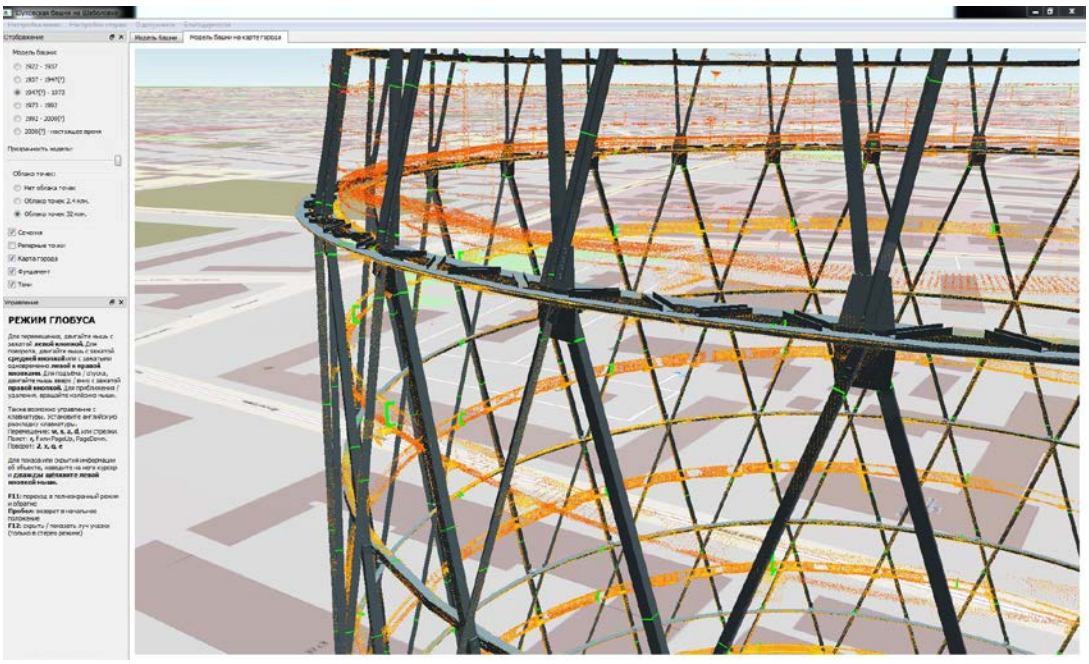

Рисунок 11 — Одновременная визуализация (совмещение в единой системе координат) нескольких наборов данных: точечной 3D-модели, набора сечений и полигональной 3D-модели Шуховской башни на Шаболовке, с привязкой к геопространственной основе (карта Open Street Map).

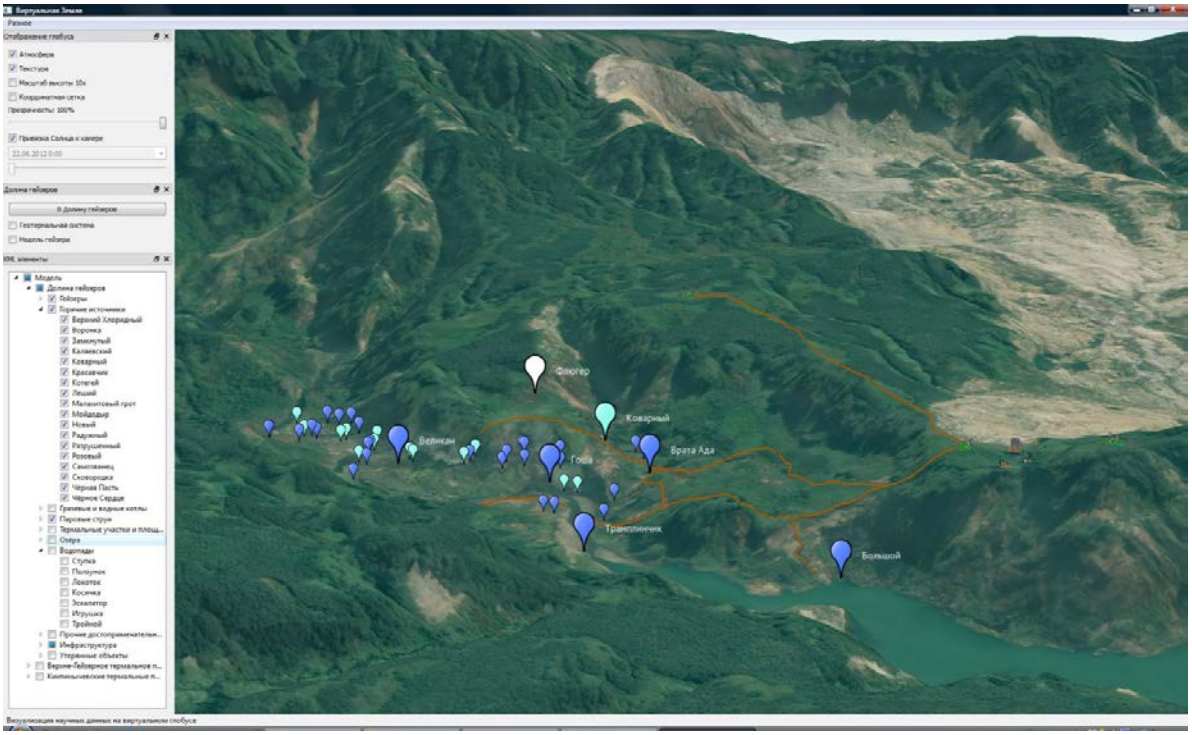

Рисунок 12 — Интерактивная визуализация 3D-модели рельефа в районе Долины гейзеров на Камчатке, крупный план центрального участка. Метки показывают положение объектов (гейзеров, кипящих источников и др.), при нажатии на метку открывается описание из каталога объектов.

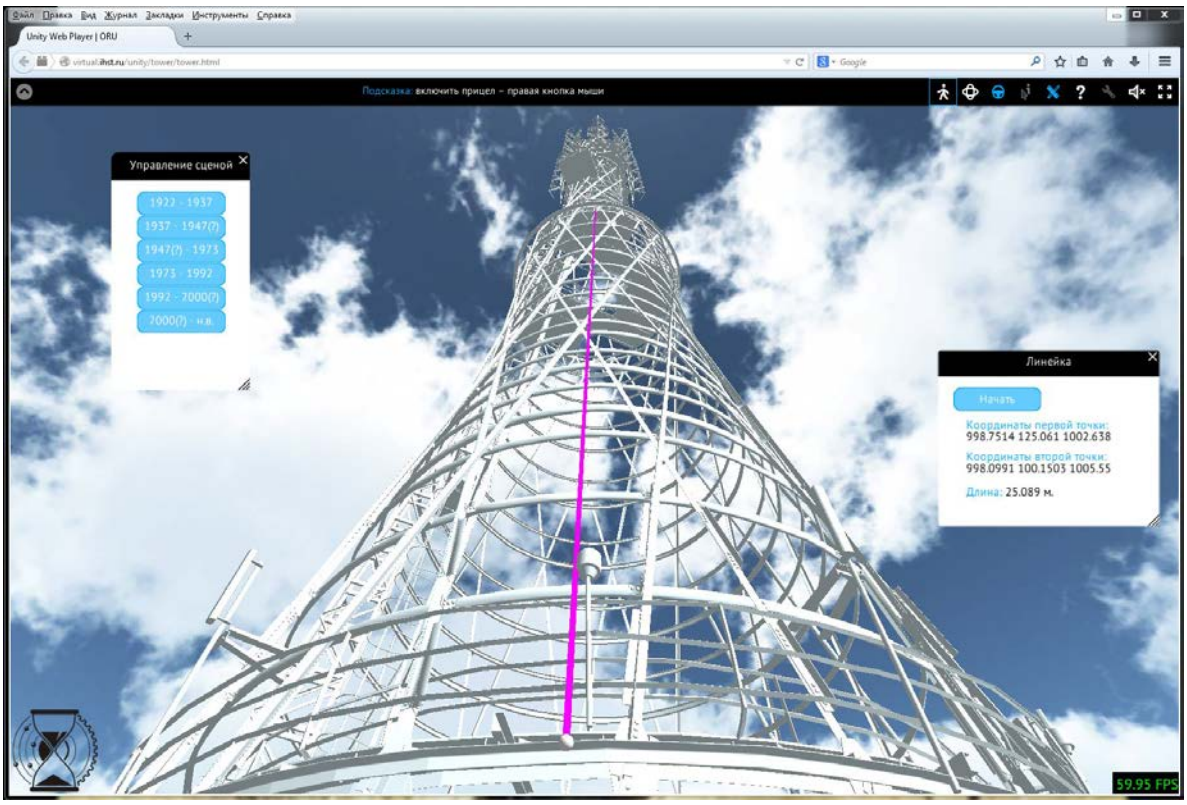

Рисунок 13 — Веб-приложение для интерактивной визуализации виртуальных 3D-моделей на основе Unity3D. Измерение расстояния между элементами виртуальной 3D-модели.

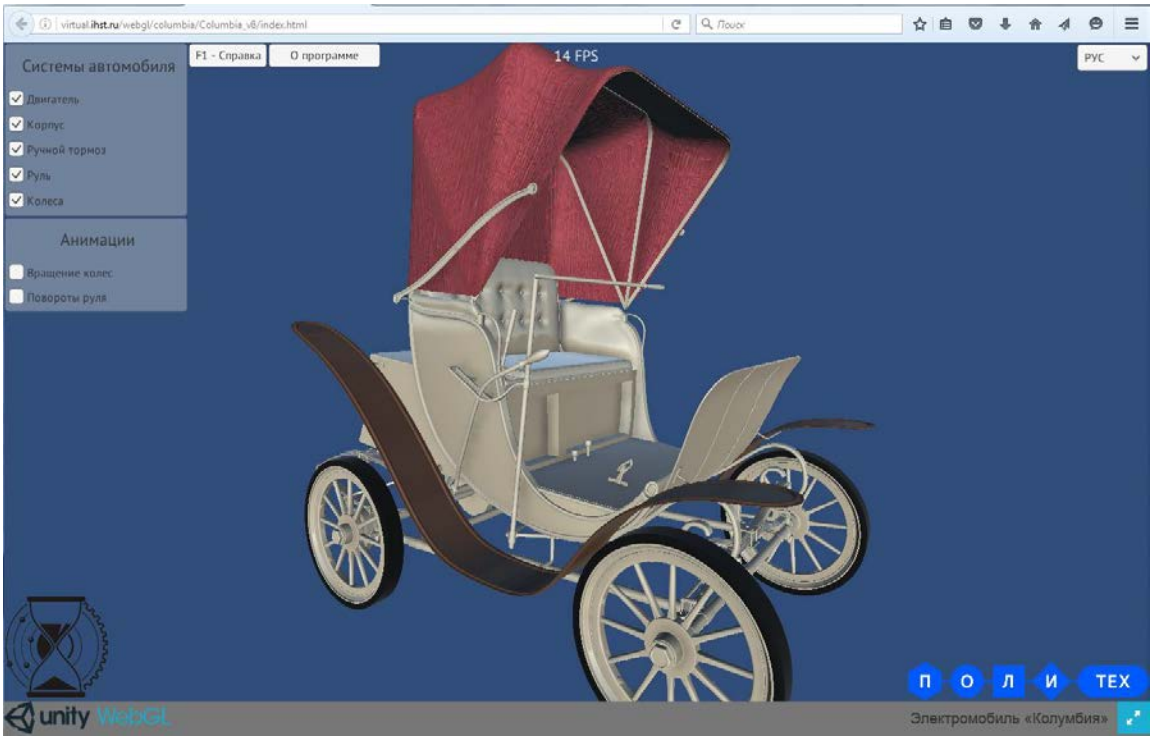

Рисунок 14 — Интерфейс веб-приложения «Виртуальный электромобиль Columbia». Слева вверху – панель управления просмотром отдельных элементов виртуальной 3D-модели.

Рисунок 15 — Общий вид 3D-модели электроподстанции с уровня земли

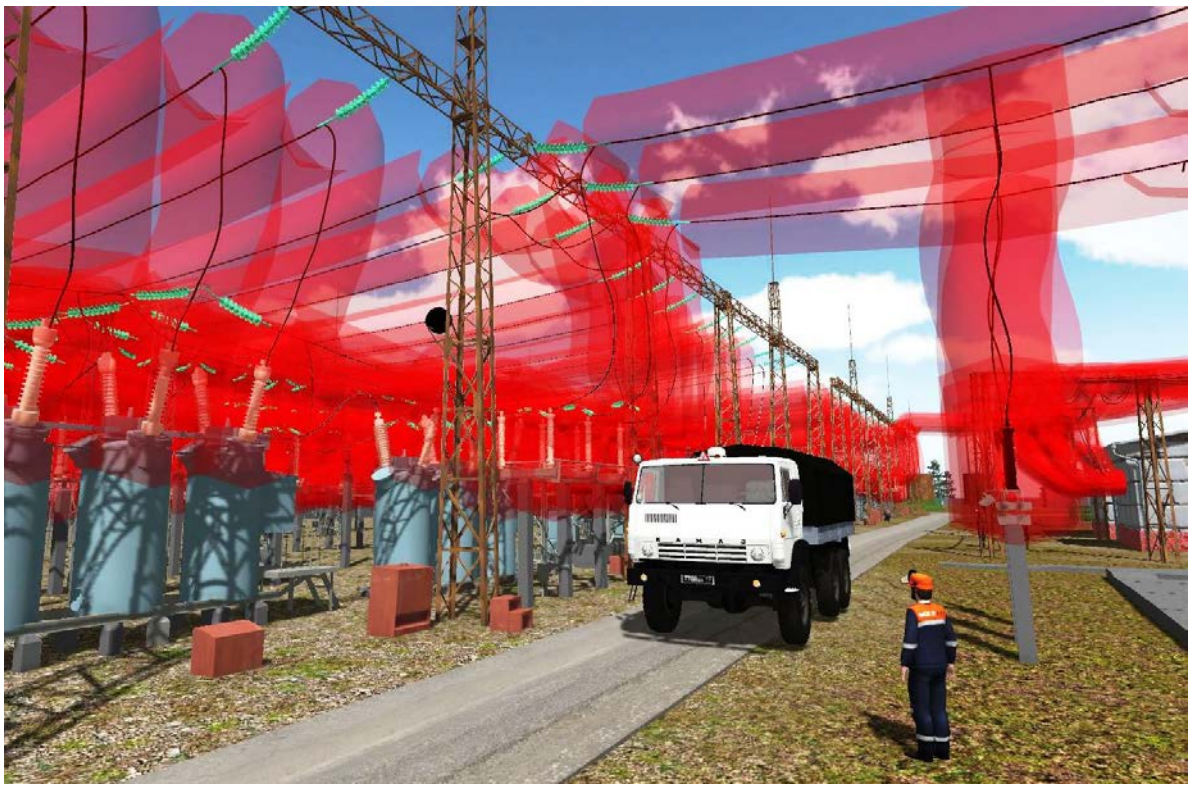

Рисунок 16 — Визуализация зон электробезопасности. Опасные зоны смоделированы и визуализированы как полупрозрачные трубки вокруг проводников (токоведущих проводов). Опасные зоны для рабочих окрашены в красный цвет, для техники – в синий (не показаны на рисунке).

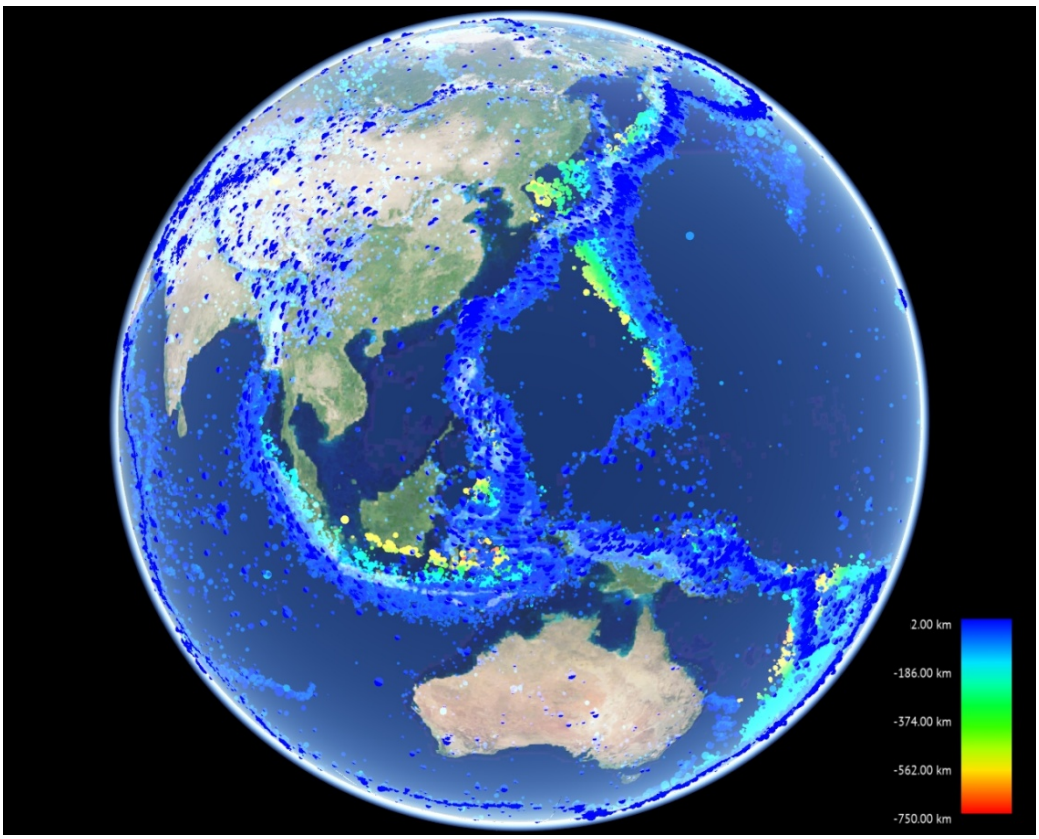

Рисунок 17 — Визуализация мирового каталога сейсмических событий USGS (United States Geological Survey) за 1900-2011 гг. на основе полупрозрачного виртуального глобуса с поддержкой стерео-режима. Разные цвета соответсвуют разным глубинам сейсмических событий.

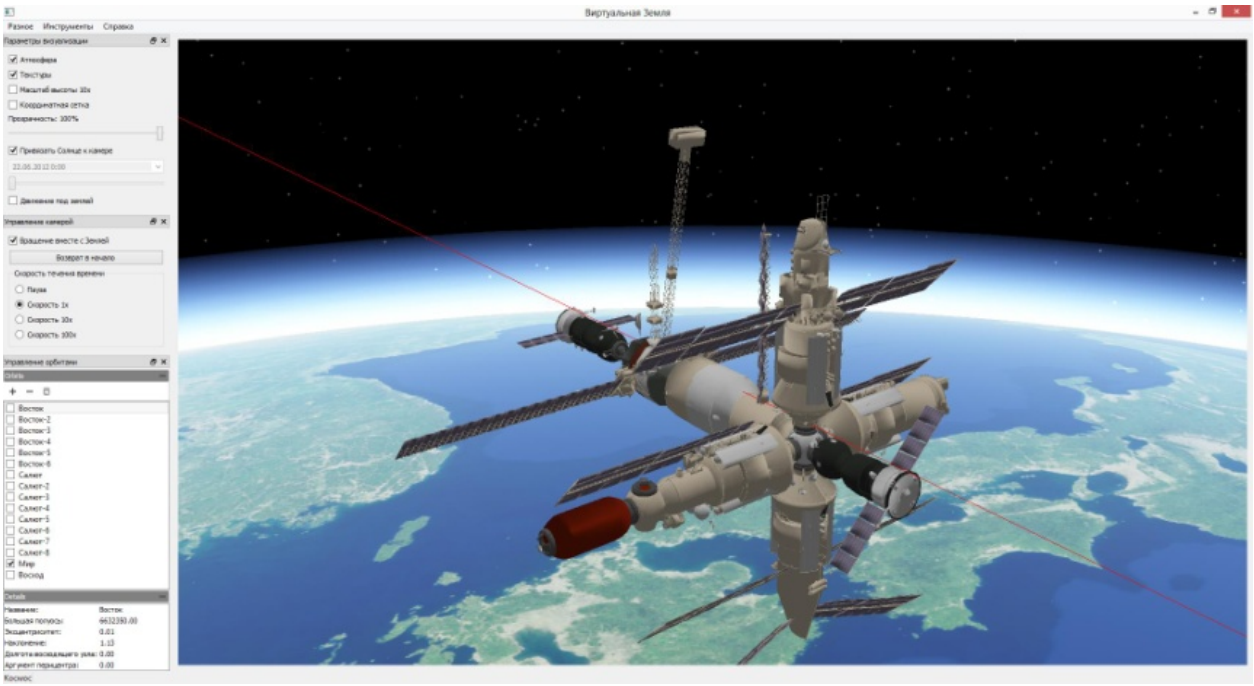

Рисунок 18 — Визуализация движения космической станции «Мир» по орбите с использованием виртуального глобуса

4. В четвертой главе **«Разработка подходов к созданию виртуального музея науки и техники»** доказывается, что виртуальные 3D-модели представляют собой документ нового типа: 3D-документ. Анализируются технические, методические и правовые аспекты 3D-документа, вводится его четкое определение и классификация типов 3D-документов. Анализируются существующие подходы к созданию виртуальных музеев, и предлагается подход к созданию виртуального музея истории науки и техники на основе 3D-документов.

Показано, что полноценное включение 3D-документов в электронный документооборот сегодня сдерживается рядом проблем, основной из которых является отсутствие правовой и нормативной базы, неопределенность правового статуса 3D-документов в российском законодательстве. В законодательстве РФ отсутствует понятие «3D-документ»; правовой режим 3D-документа в законодательных и иных нормативных актах не конкретизирован; стандарт на состав реквизитов 3D-документа отсутствует. Как показал выполненный анализ, правовой режим 3D-документа является по своей природе составным, т.е. предполагает сочетание в одном 3D-документе элементов с разным правовым режимом. Соответственно, представляется предпочтительным конструировать правовой режим 3D-документа на основе понятия «мультимедиапродукта».

Важность создания виртуальных музеев признана в РФ на государственном уровне. Однако предложенное Министерством культуры РФ в 2014 г. определение понятия «виртуальный музей» — *«интерактивный мультимедийный программный продукт, представляющий музейные коллекции в электронном виде»*[16] — не учитывает специфику виртуальных музеев в области истории науки и техники, сводит задачи виртуального музея лишь к представлению музейных коллекций в электронном виде. Необходима более широкая трактовка понятия «виртуальный музей», по крайней мере, в области истории науки и техники.

В заключительной части работы представлена концепция новой научной дисциплины – виртуальной истории науки и техники, которая лежит в русле общей мировой тенденции формирования и изучения «виртуального наследия» (Virtual Heritage) — цифровых копий объектов культурного и природного наследия.

---

[16] Технические рекомендации по созданию виртуальных музеев. М.: Мин-во культуры РФ, 2014. https://www.mkrf.ru/documents/po-sozdaniyu-virtualnykh-muzeev-250714/

В заключение сформулируем **основные выводы** диссертационного исследования:

1. В диссертации исследован мировой и российский опыт применения цифрового 3D-моделирования для задач истории науки и техники. Показано, что применение 3D-технологий для задач истории науки и техники находится в начальной стадии. При этом виртуальное 3D-моделирование имеет большой потенциал для историко-научного и историко-технического исследования технических и природных объектов, сохранения информации об объектах и их популяризации.

2. Впервые исследована специфика применения 3D-технологий в задачах истории науки и техники и развиты новые методы и подходы к 3D-моделированию и визуализации крупномасштабных технических и природных объектов. Доказано, что цифровое 3D-моделирование является новым эффективным методом исследования объектов истории науки и техники (технических и природных объектов, процессов и комплексов). Доказано, что новые методы и технологии работы с трехмерной информацией позволяют на новом уровне подойти к исследованию известных объектов и получить новые историко-научные и историко-технические результаты.

На ряде примеров показано, что цифровое трехмерное моделирование позволяет успешно:

— реконструировать утерянные элементы (части) объекта и исторический облик объекта в целом;

— исследовать взаимосвязи элементов исследуемого объекта между собой и с внешней средой в их историческом развитии;

— исследовать структуру (конструкцию) и историю развития (жизненный цикл) технических и природных объектов;

— анализировать точность исторической документации и различия между документацией разных лет;

— изучать историю развития представлений об объекте; выдвигать и проверять гипотезы об истории развития и изучения объекта;

— систематизировать известную информацию и ставить вопросы для новых исследований.

3. Впервые выявлен ряд расхождений между фактической конструкцией Шуховской башни на Шаболовке и исторической документацией. В частности, благодаря виртуальному 3D-моделированию впервые установлена истинная высота оригинальной несущей конструкции Шуховской башни на Шаболовке – 145 м, которая более чем на метр отличается от значения, приведенного в сохранившейся обмерной документации. Впервые детально проанализированы расхождения проектной и обмерной документации с реальной конструкцией башни, выявлено упрощение технологии монтажа промежуточных колец непосредственно в ходе возведения башни.

4. Виртуальное 3D-моделирование территории Долины гейзеров на Камчатке позволило впервые провести подробный анализ истории развития картографии и топономики этого уникального природного объекта со сложным и меняющимся рельефом, определить точные географические координаты более чем 150 гейзеров и кипящих источников — как существующих, так и утерянных к настоящему времени. В результате этой работы был впервые создан и опубликован полный иллюстрированный каталог гейзеров и кипящих источников Кроноцкого заповедника, включающий все упоминавшиеся ранее в литературе объекты.

5. Виртуальное 3D-моделирование электромобиля «Колумбия» из коллекции Политехнического музея и виртуальная реконструкция утраченных элементов позволили выявить ошибки, допущенные при его реставрации, смоделировать расположение утраченных элементов и подготовиться к физической реставрации объекта.

6. Лазерное сканирование крейсера «Аврора», скульптуры «Родина-Мать зовет!» позволило сохранить точную трехмерную информацию о геометрии этих объектов, которая может оказаться полезной в будущем для различных научно-исследовательских и прикладных задач: оценки изменений геометрии (деформаций, деградации) объектов во времени, планировании реставраций и реконструкций, задач популяризации.

7. Виртуальное 3D-моделирование Денисовой пещеры на Алтае позволило с недоступным ранее уровнем точности проанализировать историческую документацию об археологических раскопках, выявить расхождение исторической документации с истинной геометрией пещеры. Впервые в России была создана

трехмерная цифровая модель палеолитической пещерной стоянки, создан программный инструментарий для трехмерного анализа расположения археологических находок, анализа стратиграфии и осадконакопения.

8. В диссертации разработаны методы и технологии создания интерактивных 3D-приложений для представления виртуальных 3D-моделей. Представлен ряд примеров интерактивных 3D-приложений, разработанных автором совместно с коллегами для популяризации созданных виртуальных 3D-моделей объектов истории науки и техники. Разработаны как 3D-приложения с поддержкой стерео-режима для систем виртуальной реальности, так и 3D-приложения со свободным веб-доступом, основанные на современных технологиях визуализации трехмерной графики в браузере.

9. Виртуальные 3D-модели технических и природных объектов могут применяться для создания интерактивных 3D-демонстраций, реализующих принцип совмещения развлечения и образования — как для систем виртуальной реальности, основанных на стереоскопической визуализации, так и для массового доступа через сеть Интернет. Примеры проектов, выполненных в ходе работы над диссертацией, показывают, что виртуальное 3D-моделирование может успешно использоваться в задачах популяризации истории науки и техники.

10. Виртуальный глобус — цифровая трехмерная модель Земли — является удобным инструментарием для представления виртуальных 3D-моделей крупномасштабных объектов и процессов, связанных с историей науки и техники. В диссертации приведены примеры успешного применения виртуального глобуса для представления крупномасштабных технических и природных объектов, расположенных на поверхности Земли, а также для визуализации виртуальных 3D-моделей технических объектов, крупномасштабных комплексов и систем в околоземном пространстве. В ходе работы над диссертацией автором совместно с коллегами были впервые разработаны и апробированы методы и технологии применения виртуального глобуса для визуализации виртуальных 3D-моделей крупномасштабных природных процессов, регистрируемых под поверхностью земли (геофизических данных).

11. Виртуальное 3D-моделирование является эффективным средством сохранения информации об объектах, комплексах и процессах. Современные

технологии трехмерной фиксации информации, такие как лазерное сканирование и фотограмметрия, позволяют сохранить намного больший объем информации об объекте, чем традиционные текстовые описания, двумерные схемы и чертежи, кинофотофонодокументы. В диссертации доказывается, что информация, зафиксированная в привязке к трехмерной системе координат, представляет собой новый тип документа: 3D-документ.

12. В работе впервые дано научное определение 3D-документа: *3D-документ – зафиксированная на материальном носителе в цифровой электронной форме в привязке к трехмерной системе координат информация с определенным составом реквизитов, предназначенная для хранения и предъявления пользователю трехмерного (пространственного) визуального образа (3D-модели) объекта или процесса, а также дополнительной информации, связанной с данной 3D-моделью.* Выделено три типа 3D-документов: первичные трехмерные данные, метрически точная трехмерная документация, трехмерный рисунок.

13. Показано, что сохранение трехмерной информации (3D-документирование) особенно актуально для объектов, находящихся под угрозой деградации и разрушения – прежде всего, объектов культурного и природного наследия, памятников науки и техники. Примером такой работы служит 3D-документирование Шуховской башни на Шаболовке, которая находится под угрозой уничтожения или разрушения. В 2013 г. созданные виртуальные 3D-модели башни вместе с программным обеспечением для их просмотра были переданы в РГАНТД и Архив РАН, причем впервые в России — как документ нового типа: 3D-документ[17].

14. Разработанные в диссертации подходы к 3D-документированию и общедоступному представлению созданных виртуальных 3D-моделей (3D-документов) открывают широкие возможности создания современного образовательного инструментария, развития виртуальных музеев науки и техники, привлечения молодежи к изучению истории науки и техники.

[17] РГАНТД. Ф. 399. Оп. 1. «Виртуальная модель Шуховской башни на Шаболовке», 2013 г.

Результаты диссертационного исследования опубликованы в следующих работах:

Индивидуальная монография

1. *Леонов А.В.* Каталог гейзеров Кроноцкого заповедника. Долина гейзеров и кальдера вулкана Узон: история и современность. М.: Издательство ООО «Реарт», 2017. — 40,3 п.л.

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК России

1. *Бобков А. Е., Леонов А. В.* Виртуальный глобус: история и современность // Научная визуализация. 2017. № 2. — 1,0 п.л. (лично автором — 0,6 п.л.)

2. *Andrey V. Leonov, Mikhail N. Anikushkin, Andrey V. Ivanov, Stanislav V. Ovcharov, Alexander E. Bobkov, Yuri M. Baturin.* Laser Scanning and 3D Modeling of the Shukhov Hyperboloid Tower in Moscow // Journal of Cultural Heritage. 2015. Volume 16, Issue 4. — 1,0 п.л. (лично автором — 0,8 п.л.)

3. *Леонов А. В.* Виртуальный музей науки и техники: настоящее и будущее // Вопросы истории естествознания и техники. 2015. Т. 36. № 4. — 0,9 п.л.

4. *Бобков А. Е., Леонов А. В.* Процедурная реконструкция территорий на виртуальном глобусе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 11. — 1,0 п.л. (лично автором — 0,5 п.л.)

5. *Леонов А. В.* Историко-технический анализ малоизвестных особенностей конструкции Шаболовской радиобашни // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 5. — 0,5 п.л.

6. *Леонов А. В. Аникушкин М. Н., Бобков А. Е., Рысь И. В., Козликин М. Б., Шуньков М. В., Деревянко А. П., Батурин Ю. М.* Создание виртуальной 3D-модели Денисовой пещеры // Археология, этнография и антропология Евразии. 2014. № 3. — 0,5 п.л. (лично автором — 0,3 п.л.)

7. *Леонов А. В.* Анализ различий между исторической документацией и фактической конструкцией Шаболовской радиобашни с использованием 3D-модели // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. — 0,6 п.л.

8. *Леонов А. В., Батурин Ю. М.* 3D документ — новый тип научно-технической документации // Вестник архивиста. 2013. № 2. — 0,8 п.л. (лично автором — 0,6 п.л.)

9. *Леонов А. В., Батурин Ю. М., Петропавловская И. А.* О необходимости 3D документирования памятников техники: пример Шуховской башни на Шаболовке // Вопросы истории естествознания и техники. 2013. № 3. — 1,1 п.л. (лично автором — 1,0 п.л.)

10. *Аникушкин М. Н., Леонов А. В.* 3D-моделирование Шуховской радиобашни на основе лазерного сканирования // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 4. — 0,4 п.л. (лично автором — 0,3 п.л.)

11. *Корчуков А. С., Леонов А. В.* Использование технологии лазерного сканирования при создании 3D моделей и мониторинге памятников архитектуры // Технология и организация строительного производства. 2013. № 1(2). — 0,4 п.л. (лично автором — 0,3 п.л.)

12. *Леонов А. В., Бобков А. Е., Ерёмченко Е. Н.* 3D-документирование территории для систем виртуальной реальности // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 9. — 0,6 п.л. (лично автором — 0,4 п.л.)

13. *Леонов А. В.* Систематизация названий основных объектов в районе Долины гейзеров (Кроноцкий заповедник, Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 1. Вып. № 19. — 1,9 п.л.

14. *Алейников А. А., Бобков А. Е., Дрознин В. А., Ерёмченко Е. Н., Леонов А. В., Шпиленок Т. И.* Интерактивное 3D-приложение «Виртуальная Долина гейзеров» // Компьютерные инструменты в образовании. 2011. № 4. — 1,1 п.л. (лично автором — 0,8 п.л.)

15. *Леонов А. В., Алейников А. А., Бобков А. Е., Ерёмченко Е. Н., Клименко А. С., Фролов П. В.* Виртуальное моделирование территории на основе данных дистанционного зондирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2011. № 2. — 0,9 п.л. (лично автором — 0,7 п.л.)

Статьи в журналах и сборниках научных трудов, материалы всероссийских и международных конференций

1. *Леонов А.В., Аникушкин М.Н.* Лазерное сканирование крейсера «Аврора» и скульптуры «Родина-мать зовёт!»: цифровое сохранение советских символов. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция (2016) / Отв. ред. Р. В. Артеменко. М.: ИИЕТ РАН, 2016. — 0,4 п.л. (лично автором — 0,3 п.л.)

2. *Рысь И.В., Леонов А.В.* Методы виртуальной реконструкции памятников техники: мировой опыт. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция (2016) / Отв. ред. Р. В. Артеменко. М.: ИИЕТ РАН, 2016. — 0,1 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

3. *Бобков А.Е., Леонов А.В., Рысь И.В.* Прототип виртуального музея истории техники на WebGL. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция (2016) / Отв. ред. Р. В. Артеменко. М.: ИИЕТ РАН, 2016. — 0,2 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

4. *Рысь И.В., Бобков А.Е., Карташев М.О., Леонов А.В.* 3D-моделирование электромобиля Columbia (1901) и виртуальная реконструкция утраченных механических элементов. В сб.: История техники и музейное дело: материалы IX Международной научно-практической конференции. 1-3 декабря 2015 г. / Отв. ред. Р. В. Артеменко. — М.: ИИЕТ РАН, 2016. — 0,4 п.л. (лично автором — 0,3 п.л.)

5. *Леонов А.В.* Трёхмерный документ как историко-технический источник. В сб.: История науки: источники, памятники, наследие: вторые чтения по историографии и источниковедению истории науки и техники : Материалы науч. конф., Москва, 19-20 октября 2016 г. / Отв. ред. С. С. Илизаров. М.: ИИЕТ РАН, 2016. — 0,6 п.л.

6. *Леонов А. В.* Применение 3D-технологий в истории науки и техники. 3D-модель как историко-технический источник. В сб.: Междисциплинарные методы в изучении истории науки и техники: Материалы науч. конф., Москва, 27 мая 2015 г. / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: ИИЕТ РАН, 2015.— 0,5 п.л.

7. *Леонов А. В., Рысь И. В.* Вопросы применения технических рекомендаций Минкультуры России для разработки виртуального музея истории науки и техники. В сб.: История техники и музейное дело: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 2-4 декабря 2014 г. / Отв. ред. Р. В. Артеменко. М.: ИИЕТ РАН, 2015. — 0,5 п.л. (лично автором — 0,4 п.л.)

8. *Леонов А. В.* 3D-документы в музейной экспозиции: виртуальная реальность и веб-приложения. В сб.: Виртуальная археология (эффективность методов) : материалы Второй Международной конференции, Санкт-Петербург, 1–3 июня 2015 г. / Отв. ред. Д. Ю. Гук. СПб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2015. — 0,8 п.л.

9. *Леонов А. В.* Малоизвестные особенности конструкции Шаболовской радиобашни: историко-технический анализ. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2015, Т.2 / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: ИИЕТ РАН, 2015. — 0,3 п.л.

10. *Леонов А. В.* Виртуальная модель Шуховской башни на Шаболовке. В сб.: Гений В.Г. Шухова и современная эпоха. Материалы международного конгресса, Москва, 17-18 апреля 2014 г. / Отв. ред. Н.Г. Багдасарьян, Е.А. Гаврилина. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 0,5 п.л.

11. *Рысь И.В., Бобков А.Е., Карташев М.О., Леонов А.В.* 3D-моделирование электромобиля Columbia (1901) и виртуальная реконструкция утраченных механических элементов. В сб.: IX Международная научно-практическая конференция «История техники и музейное дело», Москва, 1-3 декабря 2015 г. (материалы) / Отв. ред. Р. В. Артеменко. М.: ИИЕТ РАН, 2015. — 0,1 п.л. (лично автором — 0,05 п.л.)

12. *Рысь И. В., Карташев М. О., Леонов А. В.* Виртуальная реконструкция электромобиля Columbia (1901): методика 3D-моделирования и первые результаты. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2015, Т.1 / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: ИИЕТ РАН, 2015. — 0,3 п.л. (лично автором — 0,2 п.л.)

13. *Леонов А. В.* Виртуальная история науки и техники // Наука та наукознавство — Наука и науковедение — Science and Science of Science (ISSN 0374-3896). 2014. № 2. — 0,5 п.л.

14. *Леонов А. В.* Применение методических рекомендаций Минкультуры России для разработки виртуального музея истории науки и техники. В сб.: VIII Международная научно-практическая конференция «История техники и музейное дело», Москва, 2-4 декабря 2014 г. (материалы) / Отв. ред. Р. В. Артеменко. М.: ИИЕТ РАН, 2014. — 0,1 п.л.

15. *Леонов А. В., Бобков А. Е.* Актуальные вопросы применения 3D-документов для создания виртуальных музеев. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2014 / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: ЛЕНАНД, 2014. — 0,2 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

16. *Леонов А. В.* Интерактивная трёхмерная визуализация памятников науки и техники в Интернете. В сб.: История науки и техники в свидетельствах и памятниках: Материалы науч. конф., Москва, 24 апреля 2014 г. / Отв. ред. С. С. Илизаров. М.: ИИЕТ РАН, 2014. — 0,2 п.л.

17. *Леонов А. В.* Включение 3Д-документов в электронный документооборот: проблемы и перспективы. В сб.: Документация в информационном обществе: эффективное управление электронными документами. Доклады и сообщения на XX Международной научно-практической конференции 20-21 ноября 2013 г. (Росархив, ВНИИДАД) / Отв. ред. М. В. Ларин. М.: ООО Издательско-полиграфическое объединение «У Никитских ворот», 2014. — 0,3 п.л.

18. *Леонов А. В.* О результатах проекта «Виртуальная Долина гейзеров». В сб.: Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Выпуск 3 / Отв. ред. А. П. Никаноров. Воронеж: ООО «СТП», 2014. — 0,7 п.л.

19. *Аникушкин М. Н., Леонов А. В.* Результаты спутниковой геодезической съёмки в Долине гейзеров в 2009 году. В сб.: Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Выпуск 3 / Отв. ред. А. П. Никаноров. Воронеж: ООО «СТП», 2014. — 0,6 п.л. (лично автором — 0,4 п.л.)

20. *Леонов А.В., Бобков А.Е.* 3D-документы и виртуальная реальность в музейной экспозиции. В сб.: Объединенная международная научно-практическая конференция «Электронный век культуры» и «EVA 2013 Москва», Москва, 20–21 ноября 2013 г.: Труды конференции / РГБ, 2013. Режим доступа: https://eva.rsl.ru/ru/2013/report/list/1204 (10.04.2017). — 0,2 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

21. *Леонов А.В.* Проект по трёхмерному документированию Шуховской башни на Шаболовке. В сб.: Международная конференция «Великий русский инженер В.Г. Шухов и его научное наследие», посвященная 160-летнему юбилею со дня рождения В.Г. Шухова, Москва, 25-27 ноября 2013 г. (ИИЕТ РАН, ИПМех РАН): Труды конференции / Отв. ред. Ф. Л. Черноусько, Ю. М. Батурин. М.: ИПМех РАН, 2013. — 0,1 п.л.

22. *Леонов А. В.* Анализ проектной документации Шуховской башни на Шаболовке и её сравнение с современной 3D моделью. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. Годичная научная конференция (2013). Т. 2 / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: ЛЕНАНД, 2013. — 0,3 п.л.

23. *Аникушкин М. Н., Бобков А. Е., Леонов А. В.* Создание виртуальной 3D модели Денисовой пещеры на Алтае. В сб.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. Годичная научная конференция (2013). Т. 2 / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: ЛЕНАНД, 2013. — 0,15 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

24. *Батурин Ю. М., Леонов А. В.* 3D-документирование объектов истории науки и техники. В сб.: Документ. Архив. История. Современность. Материалы IV Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 1-4 ноября 2012 г. / Отв. ред. Л. Н. Мазур. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. — 0,3 п.л. (лично автором — 0,2 п.л.)

25. *Леонов А. В.* Четыре аспекта виртуальности: документирование, визуализация, образование, шоу. В сб.: XVIII годичная научная конференция,

посвящённая 80-летию ИИЕТ РАН: Москва, Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 17–19 апреля 2012 г.: Труды конференции, Т. II / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: Янус-К, 2012. — 0,2 п.л.

26. *Аникушкин М. Н., Иванов А. В., Леонов А. В.* О первых результатах лазерного сканирования и 3D-моделирования Шуховской башни на Шаболовке. В сб.: XVIII годичная научная конференция, посвящённая 80-летию ИИЕТ РАН: Москва, Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 17–19 апреля 2012 г.: Труды конференции, Т. II. / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: Янус-К, 2012. — 0,2 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

27. *Бобков А. Е., Леонов А. В., Чебров В. Н.* Визуализация сейсмических данных на виртуальном глобусе // Научная визуализация. 2012. № 4. — 0,8 п.л. (лично автором — 0,4 п.л.)

28. *Бобков А. Е., Леонов А. В., Чебров В. Н.* Визуализация сейсмических данных на виртуальном глобусе. В сб.: ГрафиКон'2012: 22-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению: Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова, 1-5 октября 2012 г.: Труды конференции / М.: МАКС Пресс, 2012. — 0,8 п.л. (лично автором — 0,5 п.л.)

29. *Andrey Leonov, Alexander Aleynikov, Dmitriy Belosokhov, Alexander Bobkov, Evgeny Eremchenko, Pavel Frolov, Andrey Klimenko, and Stanislav Klimenko.* 3D Documentation of Natural Heritage for Virtual Environments and Web — Case Study: Valley of Geysers, Kamchatka. Proc. of the IADIS International Conference CGVCVIP 2011, Rome, Italy, 20-26 July 2011 / Ed. by Yingcai Xiao. IADIS Press, 2011. — 0,6 п.л. (лично автором — 0,5 п.л.)

30. *Батурин Ю. М., Клименко А. С., Клименко С. В., Конышев В. А., Леонов А. В., Сумкин Д. А., Щербинин Д. Ю.* Применение 3D-документов для представления достижений науки и техники. В сб.: Труды годичной научной конференции ИИЕТ РАН, посвящённой 120-летию со дня рождения С И Вавилова, 2011 / Отв. ред. Ю. М. Батурин. М.: Янус-К, 2011. — 0,2 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

31. *Белосохов Д. Е., Бобков А. Е., Леонов А. В.* Возможности 3D-визуализации для эффективного представления результатов научных исследований. В сб.: Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9-15 октября 2011 г. / Отв. ред. В. Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2011. — 0,6 п.л. (лично автором — 0,4 п.л.)

32. *Andrey Leonov, Alexander Serebrov, Mikhail Anikushkin, Dmitriy Belosokhov, Alexander Bobkov, Evgeny Eremchenko, Pavel Frolov, Ilya Kazanskiy, Andrey Klimenko, Stanislav Klimenko, Viktoria Leonova, Andrey Rashidov, Vasil Urazmetov, Valeriy Droznin, Viktor Dvigalo, Vladimir Leonov, Sergey Samoylenko, Alexander Aleynikov, and Tikhon Shpilenok.* Virtual story in cyberspace: Valley of Geysers, Kamchatka. Proc. of 2010 International Conference on Cyberworlds, Singapore, 20-22 October 2010 / Ed. by Alexei Sourin and Olga Sourina. IEEE CS CPS, 2010. — 0,9 п.л. (лично автором — 0,8 п.л.)

33. *Леонов А. В., Серебров А. А., Алейников А. А., Аникушкин М. Н., Белосохов Д. Е., Дрознин В. А., Ерёмченко Е. Н., Казанский И. П., Клименко А. С.,*

Клименко С. В., Леонов В. Л., Леонова В. Ф., Рашидов А. В., Самойленко С. Б., Уразметов В. Ф., Фролов П. В., Шпиленок Т. И. Виртуальное природное наследие: 3D-модель Долины Гейзеров. В сб.: Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: Труды V Международной научно-практической конференции. МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Москва, 28-29 апреля 2010 г. / Отв. ред. В. И. Кружалин, М. Н. Ломоносов. СПб: Д.А.Р.К, 2010. — 0,8 п.л. (лично автором — 0,7 п.л.)

34. *Бобков А. Е., Казанский И. П., Клименко С. В., Леонов А. В.* Исследование и разработка методов создания и изменения интерактивных трехмерных геоцентрических моделей рельефа в системах виртуального окружения. В сб.: Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: Часть VII. Управление и прикладная математика. Том 2 / М.: МФТИ, 2010. — 0,2 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

35. *Афанасьев А. П., Афанасьев В. О., Батурин Ю. М., Бобков А. Е., Борисов Т. Н., Брагута М. В., Бугров Н. В., Ерёмченко Е. Н., Исламов Р. Т., Кириллов И. А., Клименко А. С., Клименко С. В., Леонов А. В., Петрухин В. А., Мещерин С. А., Уразметов В. Ф., Фролов П. В., Юрченко Ю. Ю.* Программно-технический комплекс для мониторинга территорий и объектов. В сб.: Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: Часть IV. Молекулярная и биологическая физика / М.: МФТИ, 2010. — 0,1 п.л. (лично автором — 0,05 п.л.)

36. *Леонов А. В., Серебров А. А., Алейников А. А., Дрознин В. А., Ерёмченко Е. Н., Казанский И. П., Клименко А. С., Клименко С. В., Леонов В. Л., Леонова В. Ф., Самойленко С. Б., Уразметов В. Ф., Фролов П. В., Шпиленок Т. И.* Создание виртуальной модели Долины Гейзеров с использованием технологий неогеографии и виртуального окружения. В сб.: Труды 52-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: Часть IV. Молекулярная и биологическая физика. Том 1 / М.: МФТИ, 2009. — 0,2 п.л. (лично автором — 0,1 п.л.)

37. *Леонов А. В.* Визуализация Долины Гейзеров на Камчатке в Google Earth. В сб.: Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: Труды IV Международной научно-практической конференции. МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет. Москва, 28-29 апреля 2009 г. / Отв. ред. В. И. Кружалин, Ю. Н. Голубчиков. М.: Диалог культур, 2009. — 0,8 п.л.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Свид. 2015619269. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа визуализации 3D-моделей космического эксперимента «Плазменный кристалл» / *Бобков А. Е., Леонов А. В.*; заявитель и правообладатель ИИЕТ РАН (RU). – Заявка № 2015615807; дата поступления 30.06.2015 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 27.08.2015.

2. Свид. 2015619270. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа визуализации 3D-моделей орбит космических полётов на основе виртуального глобуса» / *Бобков А. Е., Леонов А. В.*; заявитель и правообладатель ИИЕТ РАН (RU). – Заявка № 2015615806; дата поступления

30.06.2015 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 27.08.2015.

3. Свид. 2015619271. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа визуализации 3D-моделей Денисовой пещеры на Алтае» / *Бобков А. Е., Леонов А. В.*; заявитель и правообладатель ИИЕТ РАН (RU). – Заявка № 2015615805; дата поступления 30.06.2015 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 27.08.2015.

4. Свид. 2015660907. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа визуализации 3D-моделей супергидрофобных покрытий» / *Бобков А. Е., Леонов А. В.*; заявитель и правообладатель ИИЕТ РАН (RU). – Заявка № 2015615770; дата поступления 30.06.2015 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 13.10.2015.

5. Свид. 2015661073. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа визуализации 3D-моделей Шуховской башни на Шаболовке» / *Бобков А. Е., Леонов А. В.*; заявитель и правообладатель ИИЕТ РАН (RU). – Заявка № 2015615792; дата поступления 30.06.2015 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 16.10.2015.

6. Свид. 2015661074. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа визуализации геофизических данных и 3D-моделей на основе полупрозрачного виртуального глобуса» / *Бобков А. Е., Леонов А. В.*; заявитель и правообладатель ИИЕТ РАН (RU). – Заявка № 2015615793; дата поступления 30.06.2015 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 16.10.2015.