

Историческая информатика

Правильная ссылка на статью:

Бабайцев М.Н., Степанова Ю.В. — Технологии 3D моделирования и 3D печати в сохранении и популяризации архитектурных памятников музея-заповедника "Василево" (Тверская область) // Историческая информатика. – 2023. – № 1. DOI: 10.7256/2585-7797.2023.1.40375 EDN: OIVKSG URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=40375

Технологии 3D моделирования и 3D печати в сохранении и популяризации архитектурных памятников музея-заповедника "Василево" (Тверская область)

Бабайцев Михаил Николаевич

генеральный директор, ООО "Авросистем" (Тверь)

170042, Россия, Тверская область, г. Тверь, пер. Артиллерийский, 22, кв. 52

✉ michailbabajcev@yandex.ru



Степанова Юлия Владимировна

кандидат исторических наук

доцент, Тверской государственный университет

119334, Россия, г. Тверь, ул. Трехсвятская, 16/31, оф. 207

✉ m000142@mail.ru



[Статья из рубрики "Геоинформационные системы и 3D-реконструкции"](#)

DOI:

10.7256/2585-7797.2023.1.40375

EDN:

OIVKSG

Дата направления статьи в редакцию:

05-04-2023

Аннотация: В статье представлены результаты проекта по созданию виртуальных моделей архитектурных памятников ландшафтного музея-заповедника "Василево" в Тверской области с их последующей 3D печатью и созданием масштабного макета. Музей-заповедник "Василево" расположен на территории усадьбы Львовых XVIII-XIX вв. и включает в себя усадебные постройки, а также 16 памятников деревянного зодчества XVIII-XIX вв., привезенных и установленных на территории заповедника их различных районов Тверского региона. Среди них - объекты культурного наследия федерального значения: деревянные храмы, памятники гражданской застройки. Музей является филиалом Тверского государственного объединенного музея и входит в туристический

маршрут "Пушкинское кольцо Верхневолжья". В результате реализации проекта авторов статьи были выполнены виртуальные модели и масштабные физические модели 19 архитектурных объектов музея-заповедника "Василево". В работе использовались технологии фотограмметрии, полигонального 3D моделирования, FFF 3D печати, макетирования. Процесс фотографирования для создания цифровой модели по технологии фотограмметрии осуществлялся с использованием профессионального БПЛА и зеркального фотоаппарата. Основным программным обеспечением являлись Blender, Autodesk Meshmixer, Agisoft Metashape. Опыт оцифровки объектов показал, что фотограмметрия позволяет хорошо запечатлеть передать в компьютерной модели мелкие детали, которые могут быть в дальнейшем отражены в масштабных моделях при 3D печати. В частности, это деревянные стены и перекрытия различной конструкции, каменная кладка, гравированные изображения и надписи на камне. 3D печать осуществлялась на 3D-принтерах Creality Ender 3 и Creality Ender 5. Материалом для печати являлась пластмасса полилактид. Напечатанные модели были раскрашены и укреплены в виде масштабного макета. Готовый макет был передан музею "Василево" и используется в целях музейного показа.

Ключевые слова:

архитектура, виртуальная модель, 3D моделирование, 3D печать, музей, макет, деревянное зодчество, фотограмметрия, оцифровка, Тверская область

Технологии компьютерного моделирования в последние годы все активнее используются в изучении и сохранении памятников архитектуры. Виртуальные реконструкции являются не только результатом собственно исследовательских задач, но и способом сохранения информации об объектах уже утраченных или имеющих такую перспективу [\[5\]](#). Демонстрировалась перспективность использования виртуальных моделей в презентации музейных экспозиций [\[4\]](#). Для создания компьютерных реконструкций архитектурных объектов используется различное аппаратное и программное обеспечение. На наш взгляд, применение технологий компьютерного моделирования является особенно актуальным применительно к памятникам деревянной архитектуры. Именно они являются наиболее уязвимыми среди архитектурных объектов культурного наследия [\[1\]](#).

Для Тверского региона тема сохранения деревянных памятников архитектуры как никогда актуальна. Имеются произведения исторической деревянной архитектуры, гражданской и церковной, которые не поставлены на государственную охрану, либо имеющие лишь статус выявленных объектов культурного наследия. Одновременно имеются сведения об утратах таких памятников. Так, в 2008 г. в Тверской области был принят закон «Об областной целевой программе "Сохранение памятников и традиций народного деревянного зодчества Тверской области на 2008 год"» [\[8\]](#). В нем предполагалось увеличение выявленных и зафиксированных памятников деревянного зодчества на 20 единиц. Программа предусматривала проведение экспедиций с целью выявления и фиксации памятников деревянной архитектуры северо-восточной части Тверской области; формирование банка данных по объектам деревянной архитектуры о состоянии объекта, пользователе, форме собственности, выполненных ремонтно-реставрационных работах. При этом документ констатировал утрату 51 памятника деревянного зодчества в Тверской области. Эти утраты продолжаются в настоящее время. Научные исследования памятников деревянной архитектуры тоже нельзя назвать многочисленными. По словам А.Б. Бодэ, деревянная архитектура Тверского региона

никогда специально не изучалась ^[3].

С учетом приведенных обстоятельств создание банка компьютерных моделей памятников деревянной архитектуры Тверской области представляется актуальным. Первая апробация этой задачи была выполнена для объектов архитектурно-этнографического музея под открытым небом «Василёво» в Тверской области. В настоящей статье представлены основные результаты реализации этого проекта.

Он был создан в 1976 г. на территории родового имения Львовых, на р. Тверца (приток Волги) в окрестностях г. Торжка. В первой половине 1970-х гг. было организовано несколько экспедиций в Тверскую область, целью которых был поиск сохранившихся памятников деревянного зодчества. В 1973–1974 гг. авторским коллективом в составе А.В. Ополовникова, А.И. Кустова и И.Н. Шургина по результатам рекогносцировочных выездов был разработан эскизный проект первого генерального плана Калининского областного архитектурно-этнографического музея под открытым небом в селе Василево Торжокского района ^[2].

13 декабря 1976 г. Калининским облисполкомом было принято решение о создании архитектурно-этнографического музея под открытым небом, а 17 мая 1977 г. принято решение об отводе земельного участка под музей. К 1978 г. А.И. Кустовым был разработан первый генеральный план музея и перевезен первый экспонат музея – Преображенская церковь (1732 г.) из села Спас-на-Сози Калининского района. К перевозке на территорию музея предварительно были запланированы 22 объекта, предполагаемых к размещению в соответствии с генпланом в четырех зонах – северной, западной и зоны переселения карел: южной и восточной. По результатам экспедиционных обследований территории Тверской области к 1982 г. на территорию музея перевезено 10 объектов, в том числе две церкви, пожарное депо, ветряная и водяная мельницы, жилые дома и хозяйственные постройки.

С 1985 по 1990 г. разработку генерального плана и проведение комплексного обследования территории Тверской области осуществлял исторический факультет Горьковского государственного университета под руководством Ф.В. Васильева. По результатам экспедиционного обследования был разработан новый генеральный план (с учетом первого генерального плана), предполагавший в своей структуре уже шесть зон: восточную, северную, селигерскую, карельскую, южную и пеновскую. Разработаны генеральные планы карельской и восточной зон музея. В результате на территории музея должны были располагаться 80 объектов различного назначения. Уже в то время констатировалось, что имеющейся территории музея недостаточно для размещения запланированных к перевозке построек.

В настоящее время музей Музей является филиалом Тверского государственного объединенного музея. Он входит в туристический маршрут «Пушкинское кольцо Верхневолжья», включающий в себя Тверь, Старицу, Торжок, а также памятники истории культуры, расположенные в округе основных пунктов маршрута ^[9].

Кратко памятники деревянного зодчества, входящие в состав музея-заповедника «Василёво», характеризуются в путеводителе «Василёво» ^[7]. Сведения о составе памятников деревянного зодчества в музее-заповеднике «Василёво» содержатся на странице музея на сайте Тверского государственного объединенного музея ^[2].

В настоящее время музейный комплекс включает 16 памятников (19 объектов). Объектами культурного наследия федерального значения среди них являются Спасо-

Преображенская церковь погоста Спас на Сози (1720-е гг.), Михайло-Архангельская церковь из д. Максимовской Удомельского района (1760 г.), Знаменская церковь из с. Пылево Весьегонского района (1742 г.), церковь Успения Богоматери из с. Финдиряево Вышневолоцкого района (1800–1825 гг.), пожарное депо из деревни Лаптиха (постройка 1912 г., Бежецкий район). В составе музейной экспозиции находятся карельский дом и амбар из села Пылева (Весьегонский район), амбар и водяная мельница из деревни Устье (Удомельский район), амбар из деревни Пореево (Весьегонский район), и др. Относительно недавно в музей были перевезены две часовни, для них не указано их место происхождения и датировка. В музейных комплекс входят также три каменных креста и валунные надгробия с гравированными изображениями периода позднего средневековья и Нового времени. На территории усадьбы находится арочный мост, сложенный по проекту Н.А. Львова из валунов, держащихся с помощью силы тяжести, получивший известность под именем «Чёртов мост». Сохранился флигель усадьбы Львовых-Цвылёва первой половины XIX в., использовавшийся под оранжерею (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема архитектурно-этнографического музея под открытым небом «Василёво» (Тверская область).

Несмотря на охранный статус, памятники деревянного зодчества музея находятся в зоне риска. Так, в 2013 г. обрушилась кровля объекта «Пожарное депо» из д. Лаптиха [\[6\]](#). Впоследствии оно было восстановлено.

В итоге реализации настоящего проекта были оцифрованы 19 объектов музейного комплекса, включая не только памятники деревянного зодчества, но и каменные исторические объекты. В проекте по созданию компьютерных моделей архитектурных объектов музея «Василёво» и их последующем изготовлении были использованы следующие технологии: фотограмметрия, полигональное 3D моделирование, FFF 3D печать, макетирование. Процесс фотографирования для создания цифровой модели по технологии фотограмметрии осуществлялся с использованием профессионального БПЛА – «летающей камеры» и зеркального фотоаппарата. Фотосъемка с земли составила около 60–70% всего объема фотоснимков, аэрофотосъемка – 30-40%. Количественные показатели для создания модели можно охарактеризовать следующим образом на примере объекта «Флигель усадьбы Львовых-Цвылёва (первая половина XIX в.), бывшая оранжерея»: количество фотоснимков – 466; количество точек разреженного облака – 1

500 000; количество точек плотного облака – 243 000 000; количество полигонов модели – 16 200 000; время расчета разреженного облака – 4 часа; время расчета плотного облака – 12,6 часа; время расчета полигональной модели – 6,5 часа; время расчета текстуры полигональной модели – 1,2 часа. Время, затраченное на создание модели, зависит от используемого оборудования, в нашем случае – персональный компьютер на базе GeForce GTX 1080 Ti, 64 Гб ОЗУ, ЦП AMD Ryzen 7 3700X 3,7 ГГц 8 потоков. Основными погрешностями в создании модели являлись свободные точки или массивы точек, не относящиеся к объекту, полости и пустоты, связанные с возможностью свободного доступа к съемке (рис. 2).



Рис. 2. Обработка массива фотографий объекта «Флигель усадьбы Львовых-Цвылёва первой половины XIX в., бывшая оранжерея».

Основным программным обеспечением являлись Blender, Autodesk Meshmixer, Agisoft Metashape. Опыт оцифровки объектов показал, что фотограмметрия позволяет хорошо запечатлеть передать в компьютерной модели мелкие детали, которые могут быть в дальнейшем отражены в масштабных моделях при 3D печати. В частности, это деревянные стены и перекрытия различной конструкции (рис. 3, 4), каменная кладка (рис. 5).

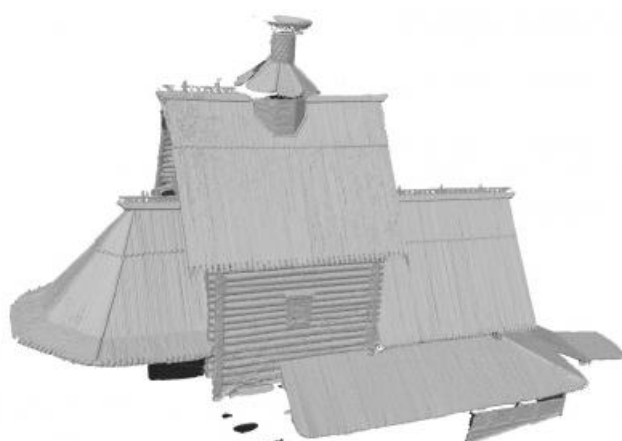


Рис. 3. Церковь Спаса-на-Сози (1720-е гг.) и фрагмент создания 3D модели ее кровли.



Рис. 4. Церковь Михаила Архангела (1760 г.): а – полигональная модель, б – плотное облако точек, в – текстурированная модель.

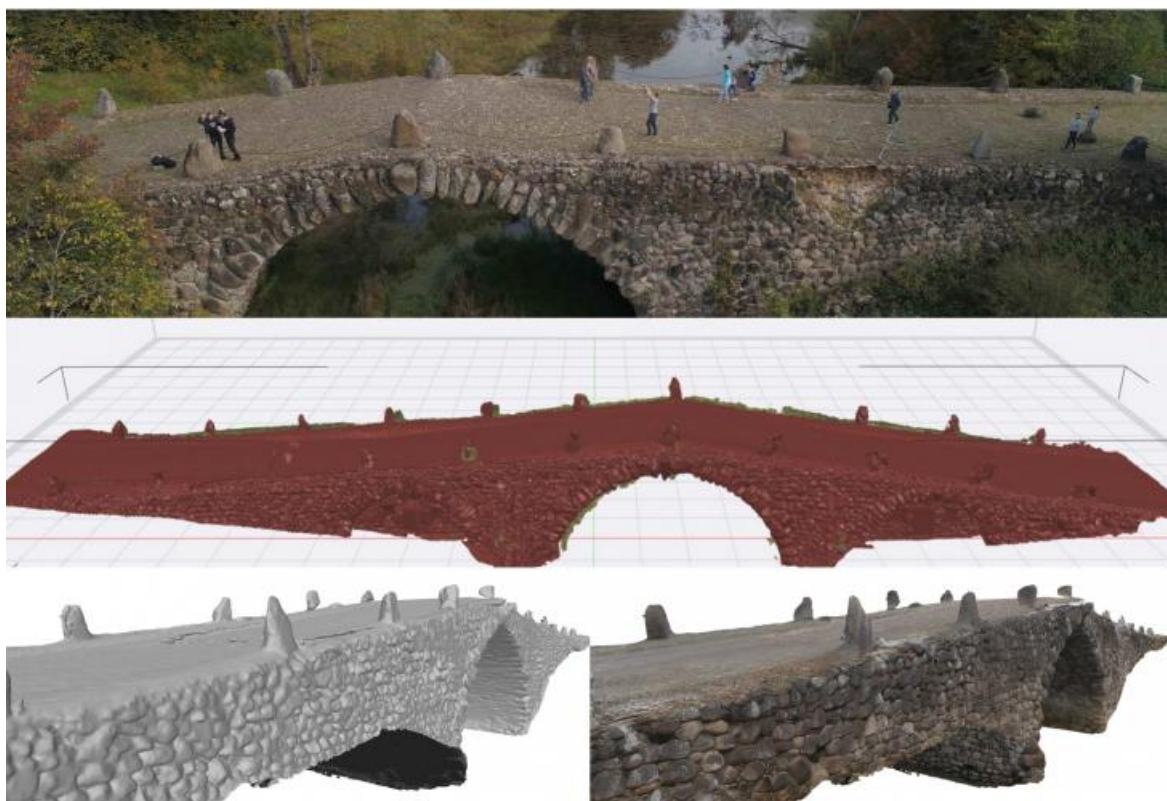


Рис. 5. Создание 3D модели каменного моста.

Хорошо отображаются текст и изображения на каменных крестах, которые плохо видны на самих объектах при дневном свете (рис. 6).

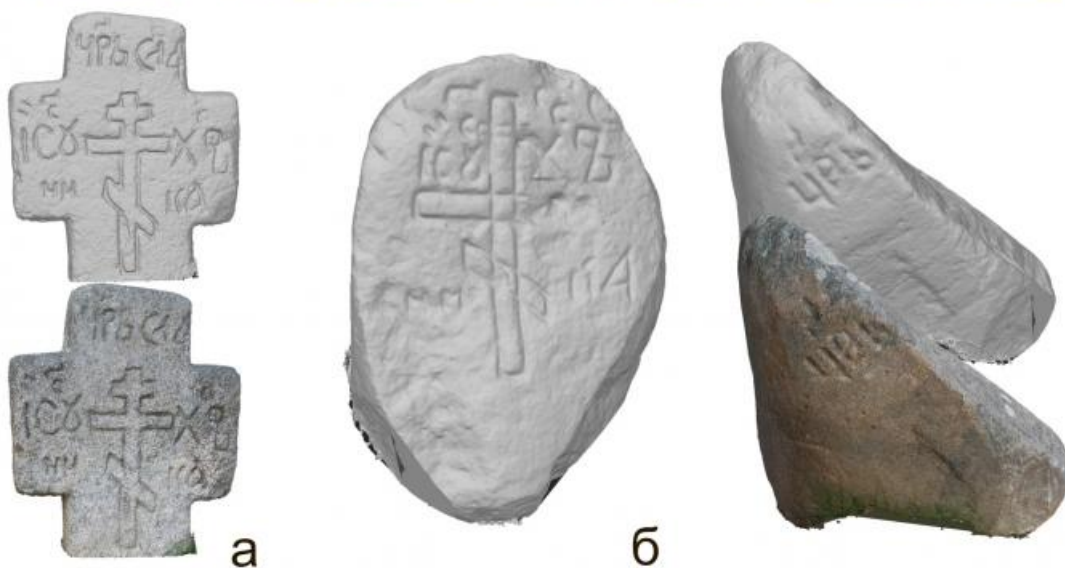


Рис. 6. Каменные кресты (а) и надгробие (б) и их 3D модели.

Стоит отметить, что на основе полученного скана можно сделать различного рода побочный контент: панорамы 360, VR/AR, рендеринги (визуализации) (рис. 7).



Рис. 7. Ретопологизированная компьютерная модель объектов деревянного зодчества

архитектурного музея «Василево», интегрированная в игровой движок Unreal Engine 5.

3D печать осуществлялась на 3D-принтерах Creality Ender 3 и Creality Ender 5. Материалом для печати являлась пластмасса полилактид (PLA). Подготовка компьютерной модели к 3D печати происходила в специализированном программном обеспечении – слайсере CURA. При этом придерживались следующий параметров: толщина сопла – 0,3 мм, высота слоя – 0,15 мм, скорость печати – 80 мм/сек, температура экструдера и стола – 225 и 40⁰ соответственно, наличие поддержек – да. Объем затрачиваемого материала и время печати зависели от конкретной компьютерной модели.

Основными проблемами 3D печати являлись пересекающиеся полигоны, пустоты в полигональной сетке – как следствие ошибок, неизбежно получаемых при построении цифровой копии объекта по технологии фотограмметрии. Сложными для воспроизведения были тонкие конструкции, например, перила крыльца у карельского дома. Имелись и перебои технического характера: засорение сопла 3D-принтера, не оптимальные настройки слайсера, некачественный материал, скачки напряжения в сети. Имелись загибание краев из-за неплотного контакта модели с столом в силу сложной геометрии объекта; изобилие нависающих элементов.

Количественные характеристики 3D печати на примере объекта «Карельский дом» (рис. 8) следующие: израсходовано пластика 227 г, время печати – 12,6 часа, заходов печати – 2 (крыша и сруб), время постобработки – 1,2 часа. Время, затраченное на печать, обусловлено используемым оборудованием и настройками ПО слайсера.

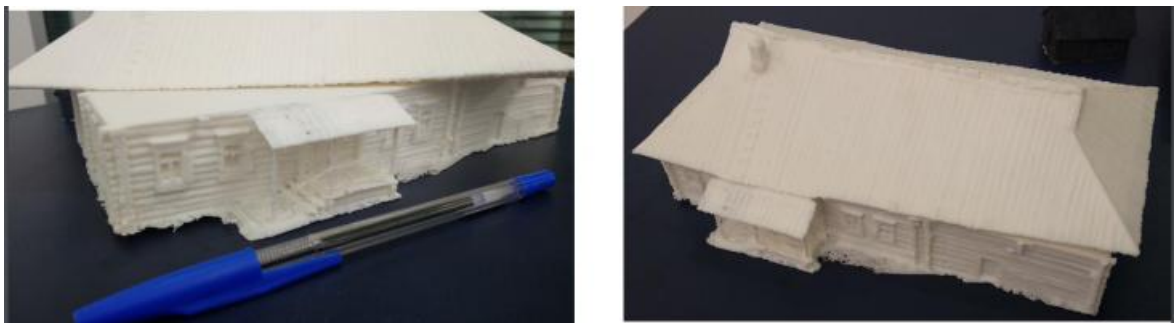


Рис. 8. Модель объекта «Карельский дом», напечатанная на 3D принтере. Масштаб 1:200.

Использование технологий быстрого прототипирования, в частности FFF 3D-печати, показало свою состоятельность и превосходство по времязатратным по отношению к классическим методам создания исторических макетов.

В итоге реализации проекта оцифрованные 19 объектов музейного комплекса были напечатаны на 3D принтере, раскрашены (рис. 9) и укреплены в виде масштабного макета (рис. 10).



Рис. 9. Раскрашенные 3D модели объектов «Баня» и «Амбар», напечатанные на 3D принтере. Масштаб 1:200.



Рис. 10. Масштабный макет архитектурного комплекса «Василево». Масштаб деревянных построек 1:200, масштаб каменных крестов и валунного надгробия 1:100.

Макет был передан в дар музею «Василево». Опыт работы оказался востребованным музейными специалистами. Масштабный макет архитектурного комплекса используется в экскурсионном показе.

Библиография

1. Аникеева С.О. Об опыте использования технологии BIM для музеефикации деревянных памятников архитектуры // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2014. № 1(13). С. 32-36.
2. Архитектурно-этнографический музей «Василёво» [Электронный ресурс]. URL: <https://tvermuzeum.ru/affiliates/AM> (дата обращения 24.03.2023).
3. Бодэ А.Б. Архитектура деревянных храмов Тверской области. Традиции и влияния // Архитектура: наследие, традиции и новации. Материалы международной научной конференции 9-10 марта 2021 г. М., 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://archi.ru/elpub/92562/arkhitektura-derevyannykh-khramov-tverskoi-oblasti-tradicii-i-vliyaniya> (дата обращения 10.03.2023).
4. Бородкин Л.И. Виртуальные реконструкции исторической городской застройки:

- новые технологии презентации музейных экспозиций // Роль музеев в информационном обеспечении исторической науки: сборник статей / Авт.-сост. Е.А. Воронцова; отв. ред. Л.И. Бородкин, А.Д. Яновский. М.: Этерна, 2015. С. 386-395.
5. Бородкин Л.И., Жеребятёв Д.И. Технологии 3D-моделирования в исторических исследованиях: от визуализации к аналитике // Историческая информатика. 2012. №2. С. 49-63.
 6. В Василёве рухнуло пожарное депо – памятник архитектуры федерального значения // Тверские своды. [Электронный ресурс]. URL: <http://tversvod.ru/event120/> (дата обращения 12.03.2023).
 7. Василево. Путеводитель / сост. П.И. Верхов. М.: Б.и., 2019. 32 с.
 8. Закон Тверской области «Об областной целевой программе "Сохранение памятников и традиций народного деревянного зодчества Тверской области на 2008 год"». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499306404> (дата обращения 12.03.2023).
 9. Пушкинские места России: путеводитель (сост. В. С. Бозырев, Н. М. Волович, Т. Н. Кезина и др.; предисл. Д. С. Лихачева). М.: Профиздат, 1984. 318 с.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Технологии 3D моделирования и 3D печати в сохранении и популяризации архитектурных памятников музея-заповедника "Василево" (Тверская область)
Журнал: Историческая информатика

Рецензия

Предметом исследования, представленного в данной статье, является применение технологий компьютерного моделирования к памятникам деревянной архитектуры. Эти объекты наследия наиболее уязвимы, а многие являются аварийными или уже утрачены, таким образом, использование виртуальных моделей в презентации музейных экспозиций имеет большие перспективы.

Автор подчеркивает, что для Тверского региона тема сохранения деревянных памятников архитектуры как никогда актуальна. Это объясняется в том числе тем, что многие из существующих в регионе произведений исторической деревянной архитектуры, гражданской и церковной, не поставлены на государственную охрану. Продолжается процесс утраты этой части наследия региона. На материале архитектурно-этнографического музея под открытым небом «Василёво» в Тверской области продемонстрирован процесс создания банка компьютерных моделей памятников деревянной архитектуры.

В методологическом отношении автор стремится к сочетанию наработок из сферы истории культуры и исторической информатики. В статье использованы научные методы, позволяющие провести анализ ценности объектов наследия, а также специфические методы 3d моделирования.

Актуальность работы видна уже из постановки темы. На примере музейного комплекса «Василёво» представлено решение сложной проблемы сохранения уязвимых объектов культурного наследия и реконструкции утраченных памятников с целью включения их в музейные экспозиции. Предложенные автором решения могут быть полезны в работе историко-архитектурных и этнографических музеев.

Научная новизна работы определяется предложенным методом создания компьютерных моделей. Исследованы также способы решения проблем, неизбежно возникающих при построении цифровой копии объекта по технологии фотограмметрии. Метод автора показал свою состоятельность и превосходство по времязатратам по отношению к классическим методам создания исторических макетов.

Стиль работы соответствует требованиям научного подхода к изложению результатов исследования. Его характеризуют логичность, строгая последовательность изложения, смысловая точность, информативная насыщенность, объективность. Структура изложения не вызывает нареканий и характеризуется взаимосвязанностью частей, логичностью переходов от одного раздела к другому. Текст сопровождается большим количеством иллюстраций, позволяющих проследить ход работы по созданию моделей.

По содержанию данная статья является логически завершенным исследованием актуальной проблемы, осуществленным посредством применения комплекса научных методов. В статье содержится аргументированная оценка существующих методов, предложено авторское решение поставленной проблемы. В итоге реализации авторского проекта были оцифрованы 19 объектов музейного комплекса, включая не только памятники деревянного зодчества, но и каменные исторические объекты. Практическая значимость представленной статьи не вызывает сомнений. Опыт работы оказался востребованным музейными специалистами – созданный макет является частью экспозиции музея «Василево» и используется в экскурсионном показе.

Библиография включает 9 источников, посвященных истории моделируемых объектов на территории музея, а также проблемам 3d моделирования памятников архитектуры. В качестве замечания можно отметить отсутствие отсылок к зарубежному опыту.

Статья, несомненно, имеет практическую ценность, а также вызовет интерес у широкого круга читателей.