

Историческая информатика

Правильная ссылка на статью:

Парфенов В.А. — Лазерное 3D-сканирование в оцифровке, реконструкции и копировании скульптурных памятников // Историческая информатика. – 2023. – № 1. DOI: 10.7256/2585-7797.2023.1.40440 EDN: ODGXGC
URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=40440

Лазерное 3D-сканирование в оцифровке, реконструкции и копировании скульптурных памятников

Парфенов Вадим Александрович

ORCID: 0000-0002-2048-4677

доктор технических наук

профессор, кафедра фотоники, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ул. Профессора Полова, 5

✉ vadim_parfenov@mail.ru



[Статья из рубрики "Новые методы и технологии обработки исторических источников"](#)

DOI:

10.7256/2585-7797.2023.1.40440

EDN:

ODGXGC

Дата направления статьи в редакцию:

13-04-2023

Аннотация: Данная статья посвящена применению технологии лазерного 3D-сканирования для решения актуальных задач современной музейной работы. Показана возможность использования данной технологии для оцифровки объектов культурно-исторического наследия с целью их документирования, мониторинга состояния сохранности, реставрации, виртуальной реконструкции и репродуцирования. Приведены результаты практических работ по созданию высокоточных физических копий мраморных скульптур из музеев Санкт-Петербурга в результате комбинированного использования 3D-сканирования и фрезерных камнеобрабатывающих станков с числовым программным управлением. Кроме того, показана перспективность применения лазерных аддитивных технологий для реставрации и копирования исторических памятников. Приведенные в статье результаты работ по созданию копии мраморной итальянской скульптуры XVIII века «Примавера» из коллекции музея-заповедника «Царское село» являются первым опытом применения лазерного бесконтактного метода копирования скульптурных памятников в России. Данный подход был предложен и реализован автором данной статьи в кооперации с петербургской реставрационной компанией ООО «Ресстрой» и итальянскими партнерами. Кроме того, также впервые в нашей стране, автор

продемонстрировал возможность применения технологии лазерного 3D-сканирования для мониторинга экстерьерных памятников и применения лазерных аддитивных технологий для реставрации и реконструкции поврежденных и полностью утраченных объектов культурно-исторического наследия.

Ключевые слова:

Лазерное трехмерное сканирование, культурно-историческое наследие, скульптурные памятники, документирование, мониторинг, оцифровка, реставрация, реконструкция, копирование, лазерные аддитивные технологии

Введение

Применение лазерной техники в области сохранения объектов культурно-исторического наследия является новым, но быстроразвивающимся научно-техническим направлением. Его основоположником является американский физик Джон Асмус, который в 1972 году впервые продемонстрировал возможность использования лазеров в реставрации, а также для неразрушающего контроля и 3D-визуализации исторических памятников [\[1\],\[2\]](#). В своих работах Дж.Асмус использовал технологию лазерной очистки и голографию, но сегодня в музейной работе применяют также множество других лазерных методов, включая спектроскопию комбинационного рассеяния и лазерно-индуцированной плазмы, лазерную доплеровскую виброметрию, цифровую спекл-интерферометрию, 3D-сканирование и др. [\[3\],\[4\],\[5\]](#).

Основным достоинством технологии 3D-сканирования является то, что в отличие от голографии, она позволяет не только фиксировать объемное изображение объектов, но и предоставляет высокоточную информацию об их размерах [\[3\],\[5\]](#) – [\[8\]](#). В результате сканирования создается так называемое облако точек – точечная компьютерная модель поверхности исходного объекта, которая является его виртуальной копией (по сути дела – его высокоточным электронным паспортом). Изображение 3D-моделей, получаемых в результате сканирования, можно рассматривать на экране компьютера под любым углом зрения (как бы «облетая» памятник со всех сторон) и с любым увеличением. Поскольку 3D-модель – это компьютерный файл в одном из графических форматов (как правило, STL или OBJ), она может быть легко экспортирована во все основные стандарты обмена 3D-данными для последующей обработки. Благодаря этому, с помощью специализированных компьютерных программ можно производить различные вычисления, например, определять объем и площадь развернутой поверхности объекта, получать его обмерные чертежи и т. д.

Информация, которую содержит в себе 3D-модель памятников, может оказаться просто незаменимой в случае их повреждения или гибели в результате войн, стихийных бедствий или вандальных нападений. 3D-модели могут быть использованы для создания всевозможных компьютерных анимаций, например, для исторических реконструкций дворцов, парковых ансамблей, улиц давно исчезнувших городов и т. д. Другая интересная возможность связана с созданием виртуальных музеев. В этом случае в единую «галерею» (доступную ее посетителям благодаря сети Интернет) можно собрать наиболее известные памятники из одного конкретного музея или даже музеев со всего света. Помимо повышения доступности музейных коллекций это открывает широкие возможности для обмена информацией между музейными специалистами из разных стран за счет введения в полноценный научный оборот большого количества памятников.

Помимо этого, 3D-модели можно использовать для компьютерной реконструкции скульптур, барельефов и архитектурных объектов, в том числе по их отдельным фрагментам. Например, в случае поврежденных памятников при помощи методов компьютерной графики можно реконструировать их предполагаемый первоначальный вид, либо промоделировать различные варианты реставрационных «доделок», не прикасаясь при этом к самому памятнику. Подобный подход позволяет спланировать весь комплекс необходимых работ в процессе будущей реставрации. 3D-сканирование может быть полезно и для решения проблемы изменения габаритов памятника при литье скульптур из бронзы, свинца и других металлов. В реставрационной практике нередки ситуации, когда поврежденные части скульптур приходится изготавливать заново. Эти новые части, отлитые в формы, изготовленные по оригиналу скульптуры, из-за усадки формовочного материала могут значительно отличаться от него по размерам. Эту проблему можно легко решить, создав литейную форму с «припуском» за счет масштабирования 3D-модели с учетом усадки (для этого в исходной модели достаточно увеличить соответствующий фрагмент памятника в необходимой пропорции).

Другое важное и перспективное применение – это мониторинг состояния экстерьерных (т. е. экспонируемых на открытом воздухе) памятников. В результате периодического (с интервалом от нескольких месяцев до года) сканирования и создания 3D-моделей поверхности одного и того же памятника (целиком или его отдельных фрагментов) возможен контроль за ходом процессов его разрушения [\[9\],\[10\]](#). Например, можно следить за увеличением размеров трещин, площади гипсовых корок и биообрастаний (речь идет о колониях микроорганизмов – биодеструкторов, приводящих к разрушению памятников) и т. д. Точно так же можно проверять состояние памятников до начала и после завершения реставрационных работ.

Отдельная область применения 3D-сканирования – это создание высокоточных физических копий и реконструкция поврежденных и/или утраченных памятников [\[5\],\[12\]](#).

О ряде упомянутых выше работ, выполненных в Санкт-Петербурге под руководством автора, и пойдет речь в данной статье.

3D-сканирование в копировании скульптурных памятников

Как и все памятники, экспонируемые на открытом воздухе, скульптуры не вечны, так как любые материалы, использованные при их создании (будь то мрамор, бронза и даже гранит) постепенно разрушаются с течением времени. В этой ситуации на повестку дня уже давно встал вопрос о необходимости постепенной замены экстерьерных скульптур на копии с последующим переносом оригиналов в закрытые музейные помещения. Как показывает мировая практика, сегодня это единственная возможность сохранить для потомков творения мастеров прошлого, по крайней мере, наиболее ценные из них. И хотя идея замены оригиналов на копии всегда вызывала и вызывает в обществе и даже среди музейных работников неоднозначное отношение, другого способа спасти памятники от разрушения в наши дни не существует.

Именно по такому пути уже давно пошли во многих городах Европы, а в последние годы и в нашей стране. Однако сегодня, когда хранители, искусствоведы и реставраторы постепенно приходят к согласию о необходимости копирования памятников в принципе, все более актуальным становится вопрос о том, какие технологии можно (а самое главное – допустимо) использовать при создании копий?

На протяжении многих веков копии памятников из камня изготавливались вручную из исторического (авторского) материала. В XX в. появились новые технологии копирования. Поначалу они основывались на изготовлении гипсовой модели с последующей отливкой копии из цемента или камнезаменителя. Позднее появилась технология, при которой копии стали изготавливать путем заливки или набивки композиции на основе синтетического связующего (полиэфирной смолы) и минерального наполнителя (мраморной крошки с добавлением красителя) в форму, изготовленную из силиконового герметика. Однако очень серьезным недостатком данной технологии является то, что она является *контактной*. В процессе изготовления копии (на стадии создания формы) оригинальная скульптура подвергается значительному химическому и физико-механическому воздействиям, что может нанести урон состоянию сохранности памятника. Так, после использования силиконовых герметиков на поверхности белого мрамора зачастую остаются трудноудаляемые следы в виде потеков желто-коричневого цвета, кусочки формовочного пластилина и чешуйки самого силикона. Другая проблема состоит в том, что при разборе армированной силиконовой формы могут появиться механические повреждения, проявляющиеся в виде сколов и даже сломов отдельных мелких деталей скульптуры (кончиков пальцев, завитков волос и т.д.).

В итоге копируемой скульптуре может потребоваться внеплановая реставрация, а, следовательно, возникает поистине парадоксальная ситуация. Копии создаются для сохранения оригиналов, но в результате копирования оригиналу скульптуры может быть нанесен непоправимый вред!

Однако, применение 3D-сканирования создает очень эффективную альтернативу контактному копированию скульптурных памятников. Речь идет о способе создания копий, в основе которого лежит инновационная технология, основанная на комбинации 3D-сканирования и камнеобрабатывающих фрезерных станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Это позволяет изготавливать копии скульптурных памятников из натурального камня (мрамора, известняка, гранита и т.д.).

Впервые подобное копирование памятников было выполнено в Великобритании [\[13\]](#). Главное достоинство данного метода состоит в том, что он является бесконтактным и не оказывает никакого негативного воздействия на оригинал памятника. Благодаря этому, в настоящее время лазерная технология копирования получила широкое распространение в ряде стран Европы (в Италии, Франции и Австрии). Однако в России ее применение пока еще находится в зачаточной стадии.

Впервые технология бесконтактного копирования скульптурных памятников в нашей стране была использована при создании копии мраморного бюста «Примавера» (XVIII в., Италия) из коллекции ГМЗ «Царское село» (г. Пушкин, Санкт-Петербург). Эта работа была выполнена петербургской реставрационной компанией «Ресстрой» при участии специалистов СПбГЭТУ «ЛЭТИ», которые занимались созданием компьютерной 3D-модели этого памятника (см. Рис. 1).



Рис. 1. Скульптура «Примавера»: слева – процесс лазерного 3D-сканирования, справа – готовая 3D-модель на экране компьютера

Сама копия скульптуры была изготовлена при помощи фрезерного станка-робота из белого каррарского мрамора в Италии (Рис. 2) и была установлена на месте оригинального памятника возле Екатерининского дворца. Более подробные сведения об этом проекте приведены в работах [\[14\]](#), [\[15\]](#).



Рис.2. Скульптура «Примавера»: слева – процесс изготовления копии на станке с ЧПУ (октябрь 2009 г.); справа – готовая копия (июль 2010 г.)

Еще одним примером бесконтактного копирования скульптурных памятников в России является создание копии мраморного бюста российского императора Петра I из коллекции музея-заповедника «Петергоф» в Санкт-Петербурге. Эта скульптура была преподнесена в дар Французской Академии наук в Париже в связи с отмечавшимся в 2017 году 300-летним юбилеем визита Петра I во Францию. Идея данного проекта была предложена А.К.Орловым, чрезвычайным и полномочным Послом России во Франции в 2008–2017 гг., и нашла активную поддержку со стороны директора ГМЗ «Петергоф» Е. Я. Кальницкой, которые общими усилиями смогли найти спонсоров данного проекта.

В создании копии бюста Петра I активное участие вновь принимала научная группа автора данной статьи. Работа по копированию этого памятника началась с проведения его 3D-сканирования в фондохранилище ГМЗ «Петергоф». Затем, как и в случае «Примаверы», копия была изготовлена из глыбы мрамора на станке с ЧПУ в Италии в г. Каррара. Все подробности данного проекта описаны в работе [\[16\]](#), а на Рис. 3 можно видеть фотографии оригинала памятника и его копии.

Результаты работ по созданию копий мраморных бюстов Петра I и «Примаверы» являются убедительным доказательством высокой эффективности лазерного бесконтактного метода создания физических копий скульптурных памятников из камня. Его относительно невысокая стоимость, быстрота исполнения и обеспечение полной сохранности оригинала в процессе работы являются наиболее значимыми достоинствами

данного метода.



Рис. 3. Мраморный бюст Петра I: слева – оригинал; в центре – процесс изготовления копии на станке с ЧПУ; справа – готовая копия

Применение 3D-сканирования для реконструкции и реставрации исторических памятников

Выше говорилось о возможности применения 3D-сканирования для виртуальной реконструкции памятников. Интересным примером работ такого рода является проект по реконструкции полностью утраченной скульптуры из бывшей усадьбы Сергиевка в пригороде Санкт-Петербурга, которая в XIX веке была загородной резиденцией герцога Лейхтенбергского, пасынка Наполеона Бонапарта.

Герцог Лейхтенбергский был собирателем древностей и обладал богатейшей коллекцией произведений искусства. К сожалению, практически всё это уникальное собрание погибло в годы Великой Отечественной войны, так как Сергиевка оказалась в эпицентре боевых действий. В числе погибших произведений искусства была цинковая скульптура XIX века «Ева у источника».

Данная скульптура была изготовлена в XIX веке методом фрагментарного литья из шпиадра в знаменитой литейной мастерской Морица Гайса (Moritz Geiss) в Берлине^[5]. Шпиадр, представляющий собой сплав цинка с оловом, это сравнительно недорогой заменитель бронзы. Благодаря своим свойствам, этот материал широко применялся в XIX веке при изготовлении скульптурных памятников. «Ева у источника» изображала полулежащую обнаженную фигуру молодой женщины и была копией мраморной скульптуры с одноименным названием, созданной в 1818 году английским скульптором Эдвардом Ходжесом Бейли (Edward Hodges Baily) (1788-1867). Считается, что данная скульптура олицетворяет собой «Потерянный Рай». Долгие годы «Ева» из усадьбы Сергиевка считалась полностью утраченной, но ее фрагменты были неожиданно обнаружены в 2007 году в земле во время строительных работ.



Рис. 4. Фрагменты скульптуры «Ева»

Эти фрагменты представляли собой грудку разрозненных обломков (Рис. 4), что не позволяло провести реконструкцию данного памятника традиционными методами. Хотя отдельные фрагменты «Евы» хорошо «сочленялись» между собой, реконструировать скульптуру целиком (даже с использованием доделочной массы – традиционного способа восстановления полуразрушенных памятников) было невозможно, так как из-за значительных утрат скульптуры не удавалось правильно сориентировать их друг относительно друга в пространстве. Однако в результате использования лазерного 3D-сканирования и последующего компьютерного 3D-моделирования удалось провести виртуальную реконструкцию данной скульптуры (Рис. 5).



Рис. 5. Виртуальная реконструкция скульптуры «Ева» (участки поверхности темно-серого цвета показывают местоположение сохранившихся фрагментов скульптуры)

На заключительном этапе данного проекта с помощью технологии 3D-печати FDM (Fused deposition modeling) была изготовлена реплика скульптуры «Ева», которая позволяет судить о том, как выглядел оригинал данного памятника (Рис. 6). Более подробные сведения об этом проекте приведены в работе [\[21\]](#).



Рис. 6. Реплика скульптуры «Евы»

Здесь необходимо заметить, что упомянутая технология FDM является одной из разновидностей так называемых аддитивных технологий, которые основаны на создании трехмерных объектов в результате их послойного «выращивания» из различных

материалов (пластика, фотополимера, металлического порошка и др.). Отправной точкой для создания копий объектов методами 3D-печати являются их компьютерные 3D-модели, которые могут быть получены в результате 3D-сканирования или 3D-моделирования.

В настоящее время аддитивные технологии находят все более широкое применение при создании реплик объектов культурного наследия [18] – [21]. Обычно реплики изготавливают по технологии FDM или с помощью технологии лазерной стереолитографии. Однако принципиально новым направлением в применении аддитивных технологий в музейной работе может стать реставрация памятников из металлов. Для восполнения утрат таких объектов можно использовать технологию лазерной наплавки, которая позволяет воссоздавать утраченные части памятника из металлических порошков путем их плавления под действием высокоинтенсивного лазерного излучения. В одной из недавних работ автора данной статьи [22] была продемонстрирована возможность реставрации памятника из чугуна в результате комбинированного использования порошковой наплавки и лазерной сварки (Рис. 7). Данная работа – это первый случай применения лазерной наплавки для восполнения утрат исторических памятников из металлов.



Рис. 7. Декоративный элемент чугунной ограды XIX века из Некрополя Александро-Невской лавры в Санкт-Петербурге: слева – общий вид, справа – реконструкция одного из утраченных кончиков «звезды» в результате применения лазерной наплавки

Заключение

В данной статье описаны результаты наиболее интересных работ по реставрации и реконструкции скульптурных памятников в Санкт-Петербурге, выполненных при помощи лазерного 3D-сканирования. Приведенные в статье примеры показывают возможность эффективного решения сложных задач современной музейной работы при использовании 3D-сканирования в комбинации с другими инновационными технологиями. Это открывает перспективы для широкого применения лазерного 3D-сканирования для оцифровки, виртуальной реконструкции, реставрации и создания копий объектов культурно-исторического наследия.

Автор выражает надежду на то, что в ближайшей перспективе технология 3D-сканирования получит еще более широкое применение в музейной практике в нашей стране.

Библиография

1. Lazzarini L., Asmus J., Marchesini M. L. Laser for cleaning of statuary, initial results and potentialities // 1st Int. Symp. on the Deterioration of Building Stone, La Rochelle, 1972. P. 89–94.

2. Asmus J, Guattari G., Lazzarini L. et al. Holography in the conservation of statuari // Studies in Conservation. 1973. Vol. 18. P. 49–63.
3. Cooper M. Laser Cleaning in Conservation: An Introduction. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.
4. Lasers in the Preservation of Cultural Heritage. Principles and Applications / C.Fotakis, D. Anglos, V. Zafiropulos et al. CRC Press, Taylor & Francis Group, BocaRayton (USA), 2007.
5. Асмус Дж., Парфенов В. А. Лазерные и оптико-электронные методы документирования, анализа и создания копий произведений искусства. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016 г. 168 с.
6. J.-A. Beraldin, F. Blais, L. Cournoyer et al. Portable digital 3-D imaging system for remote sites // Proceedings of IEEE Intern. Symp. on Circuits and Systems, 1998. Vol. 5. P. V-488–V-493.
7. Fontana R., Gambino M. C., Greco M. et al. High-resolution 3D digital models of artworks // Proceedings of SPIE, 2003. Vol. 5146. P. 34–43.
8. Фрейдин А. Я., Парфенов В. А. Трехмерное лазерное сканирование и его применение для съемки архитектурных сооружений и реставрации памятников // Оптический журнал. 2007. Т. 74. № 8. С. 44–49.
9. Boochs F., Huxhagen U., Kraus K. Potential of high-precision measuring techniques for the monitoring of surfaces from heritage objects // In situ monitoring of monumental surfaces, ed. by P. Tiano and C. Pardini / Proceedings of the International Workshop SMW08, Sesto Fiorentino (FI), Italy, 2008. P. 87–96.
10. Парфенов В. А., Франк-Каменецкая О. В., Леонова И. А., Мошкина С. Л., Мошников Е. Е. Применение лазерного 3D-сканирования для мониторинга скульптурных памятников // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2018. № 3. С. 73–79.
11. Tucci G., Bonora V. Application of high resolution scanning systems for virtual moulds and replicas of sculptural works // Proceedings of the XXI International CIPA Symposium "AntiCIPAting the future of the cultural past" (Athens, Greece, 01–06 Oct., 2007), 2007. Vol. 1, P. 721 – 726.
12. Wachawian M., Karas B. V. 3D scanning in replication for museum and Cultural Heritage applications // JAIC. 2009. Vol. 48. P. 141–148.
13. Fowels P. The Garden Temple at Ince Blundell: a case study in the recording and noncontact replication of decayed sculpture // J. Cult. Heritage. Vol. 1. 2000. P. S89–S91.
14. Парфенов В. А. Бесконтактное копирование мраморных скульптур с использованием лазерной технологии / Скульптура XVIII-XIX веков на открытом воздухе. Проблемы сохранения и экспонирования. СПб: Государственный музей городской скульптуры, 2010. 84 с. (С.66 – 69).
15. V.A.Parfenov. Use of laser technologies for restoration, documentation and replication of sculptural monuments in St.Petersburg // Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, Vol. 62, No. 3, March 2020, pp. 129–133. doi: 10.1784/insi.2020.62.3.129.
16. Парфенов В. А. О создании копии бюста Петра I для Французской Академии наук / Музей под открытым небом. Стратегия сохранения скульптуры в городской среде. СПб: Знак, 2018. 140 с. (С.114 – 117).
17. Игнатъев П. П., Осипов Д. В., Парфенов В. А., Тишкин В. О. Реконструкция скульптуры «Ева у источника» из усадьбы «Сергиевка» с помощью лазерного 3D-сканирования, компьютерного моделирования и аддитивных технологий //

Общество. Среда. Развитие. 2017. № 2. С. 69-74.

18. H. Hjalgrim, N. Lynnerup, M. Liversage, A. Rosenklint, Stereolithography: Potential Applications in Anthropological Studies, American Journal of Physical Anthropology. Vol. 97 (3), pp. 329–333. (1995). doi:10.1002/AJPA.1330970307
19. G. Tucci, V. Bonora, Application of high resolution scanning systems for virtual moulds and replicas of sculptural works, Proc. XXI CIPA, pp. 721–726. (2007).
20. M. Neumüller, A. Reichinger, R. Florian, C. Kern, 3D Printing for Cultural Heritage: Preservation, Accessibility, Research and Education, in M. Ioannides, E. Quak (Eds.), 3D Research Challenges, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 119-134. (2014). doi:10.1007/978-3-662-44630-0_9
21. A. Galushkin, S. Gonobobleva, V. Parfenov, A. Zhuravlev. Application of 3D Scanning for Documentation and Creation of Physical Copies of Estampages. Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material. 2019. doi:10.1515/res-2018-0010.
22. Parfenov, V., Igoshin, S., Masaylo, D., Orlov, A., Kuliashou, D. Use of 3D Laser Scanning and Additive Technologies for Reconstruction of Damaged and Destroyed Cultural Heritage Objects // Quantum Beam Science. 2022. 6(1), 11. DOI: 10.3390/qubs6010009

Результаты процедуры рецензирования статьи

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

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

Рецензируемая статья посвящена актуальной задаче создания цифровых копий памятников архитектуры и реставрации скульптуры по сохранившимся фрагментам. Данная задача решается с помощью лазерной техники, обеспечивающей бесконтактное взаимодействие под различными углами и высокую чувствительность метода. Авторы уделяют внимание предпосылкам развития метода, высокой практической и исторической значимости, упоминая про особенности реставрации отдельных фрагментов скульптуры, новым направлениям развития. Рассматриваемый лазерный метод может также использоваться для оценки изменений поверхности памятников архитектуры и скульптуры, находящихся на открытом воздухе, выявление и контроль дефектов поверхностей.

Затронутая тема имеет высокую актуальность, является развитием существующих методов неразрушающего контроля и преимущества перед контактным методом создания копий скульптур. Отдельного внимания заслуживают приведенные Автором примеры практического использования метода и фотографии.

Структура статьи отвечает требованиям к публикации. Экспериментальная часть и количественные оценки результатов отсутствуют.

Стиль изложения более характерен для обзорной публикации. В ряде случаев содержатся стилистические повторения (например, "постепенно" и "с течением времени" в одном предложении, "на повестку дня встал вопрос" и пр.). Имеются иллюстрации, качество фотографий высокое, необходимые детали оценить возможно.

Библиография содержит 22 отечественных и зарубежных источника, преимущественно рецензируемых публикаций. Ссылки по тексту имеются.

Замечания.

Описание 3D сканирования (рис. 1) не содержит схемы или упоминания необходимых

условий. Эти сведения дадут читателю более полную картину описываемых исследований.

Крайне желательно упоминать модели и технические характеристики использованного оборудования, с указанием достигнутого пространственного разрешения, затраченного на создание 3D модели времени.

Вероятно, большую роль играет использованное оборудование для создания копий (станок с ЧПУ), необходимо привести данные.

Нежелательно в тексте подчеркивать личное участие автора в тех или иных проектах, достаточно сослаться на уже опубликованные работы, ФИО будет в ссылке.

Описание процесса реставрации с использованием 3D-сканирования содержит подробные сведения об истории создания скульптуры и весьма сжатые данные о процессе реставрации. Отсутствуют численные характеристики (например, % сохранности скульптуры, время построения 3D модели, особенности сканирования). Нет упоминания использования архивных описаний скульптуры или использования данных по оригинальной скульптуре 1818г.

В каких случаях используется порошковая наплавка и каковы ограничения этой технологии? Подходит ли она только для стандартных повторяющихся элементов (аналогично приведенному на рис. 7)

Библиографию оформить в соответствии с требованиями Журнала и ГОСТ.

В библиографии 9 из 22 источников принадлежат одному автору. Рекомендуется не злоупотреблять самоцитированиями.

Статья будет интересна широкому кругу читателей.

Статья может быть опубликована после внесения технических правок, в повторное рецензирование не требуется.