

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ СОХРАНЕНИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РОССИИ

Е. П. Яхина, О. И. Светлова

Яхина Елена Петровна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел. + 7 (938) 501-52-50; e-mail: eyakhina@gmail.com;

Светлова Ольга Игоревна, старший преподаватель кафедры информатики, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел.: + 7 (931) 348-89-09; e-mail: dolganovapersonal@gmail.com

Авторами представлены результаты анализа развития лазерного сканирования объектов архитектуры с момента его появления в России – с начала XXI века. В ходе работы проанализировано 267 объектов культурного наследия из 33 российских регионов. Базой исследования послужили портфолио работ компаний, предоставляющих услуги лазерного сканирования, которые с разной степенью детализации публикуются в открытом доступе на сайтах компаний, а также сведения из информационных запросов в компании. Российскими учеными ранее не проводились подобного рода исследования, первая попытка была предпринята одним из авторов данной статьи в 2021 году при анализе 155 объектов. В ходе проведенной работы были выявлены ключевые тренды применения технологии лазерного сканирования архитектурных объектов и сделаны практико-ориентированные выводы.

Ключевые слова: методы сохранения объектов культурного наследия, лазерное сканирование, российский опыт лазерного сканирования, тенденция использования лазерного сканирования, цифровые технологии в реставрации культурного наследия.

ANALYSIS OF TRENDS IN THE USE OF LASER SCANNING TECHNOLOGY IN THE CONSERVATION OF RUSSIAN CULTURAL HERITAGE SITES

Ye. P. Iakhina, O. I. Svetlova

Iakhina Yelena Petrovna, Candidate of Pedagogical Science, Associate Professor of the Department of Computer Science, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation, phone: + 7 (938) 501-52-50; e-mail: eyakhina@gmail.com;

Svetlova Olga Igorevna, Senior Lecturer of the Department of Computer Science, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation, phone: + 7 (931) 348-89-09; e-mail: dolganovapersonal@gmail.com

The authors present the results of a study on the development of laser scanning of architectural objects in Russia since the early 21st century. During the research, 267 cultural heritage objects from 33 Russian regions were scrutinized. The study was based on the portfolios of works by companies offering laser scanning services, which are published with varying degrees of detail on company websites, as well as information obtained from inquiries to these companies. Prior to this research, similar studies had not been conducted by Russian scientists; the first attempt was made by us in 2021 when analyzing 155 objects. The study identified key trends in the application of laser scanning technology for architectural objects and yielded practical conclusions.

Keywords: laser scanning, cultural heritage objects, preservation of cultural heritage, development trend of laser scanning, digital technologies in the restoration of cultural heritage, Russian experience of laser scanning.

Введение

Проблема сохранности культурных ценностей является глобальной для любой страны. На текущий момент база Миникульты РФ насчитывает более 150 тыс. зданий и сооружений со статусом объекта культурного наследия (далее – ОКН), из которых в неудовлетворительном состоянии находятся порядка 24 тыс. объектов, что составляет 16 % [1].

Цифровая революция последних десятилетий произвела прорыв в сфере реконструкции и реставрации ОКН. Данные, полученные методом лазерного сканирования, позволяют получить цифровую обмерную модель объекта и в дальнейшем могут быть использованы при его реставрации.

Анализ показал, что технология лазерного сканирования вошла в арсенал методов обмера архитектурных памятников с начала 2000-х годов, поэтому перед авторами работы стояла задача изучения опыта лазерного сканирования (далее – ЛС) объектов архитектуры на протяжении двух последних десятилетий с целью выявить тенденции

проникновения цифровой технологии ЛС в сферу сохранения ОКН, сделать соответствующие выводы.

Анализ тенденций использования технологии лазерного сканирования

Отметим, что в 2021 году мы впервые предприняли попытку подобного рода анализа [2]. В данном исследовании был значительно расширен состав компаний (на 100 %) и количество проектов (на 72 %), а также учтены проекты более позднего периода – 2021, 2022, 2023 и частично 2024 годов.

Нами были проанализированы данные по проектам 20 компаний из Москвы (60 %) и Санкт-Петербурга (40 %). При этом большая часть собранного массива данных (60 %) оказалась представлена проектами двух крупнейших российских компаний: «НГКИ» (31,5 %) и «Фотограмметрия» (28,5%) (рис. 1).

Общий массив данных составляют 267 проектов, что на 72 % больше, чем в аналогичном анализе 2021 года. Почти половина из них (48,3 %) относится к объектам федерального значения, треть (33,7%) – регионального значения, небольшая

часть – выявленные ОКН (7,5 %). Следует отметить, что каждый десятый объект не имел статуса ОКН (10,5 %), но представлял культурную или историческую ценность. Например, Финляндский вокзал в Петербурге не входит в перечень ОКН, так как

построен не по оригинальному плану и впоследствии подвергался переделкам [3], хотя является важной частью памяти народа (с него начинался первый этап «дороги жизни»).

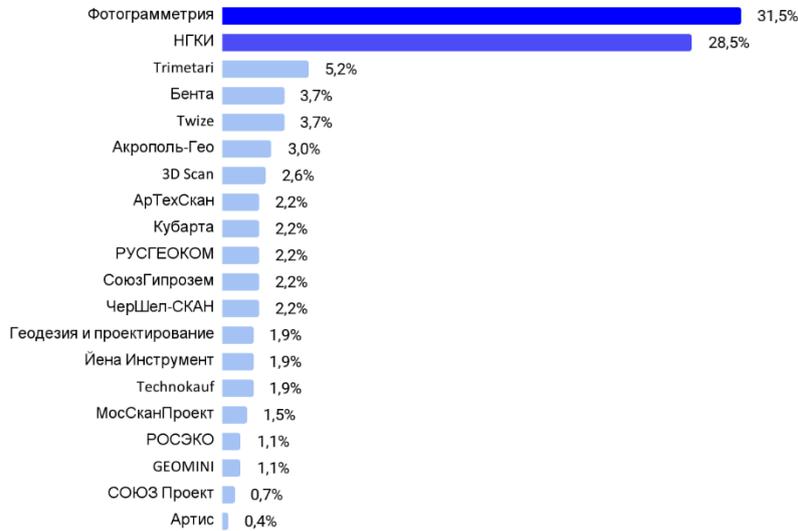


Рис. 1. Доля проектов среди компаний Москвы и Санкт-Петербурга

В общей сложности для анализа нами были использованы 12 параметров: компания, год и регион реализации проекта, статус объекта культурного наследия (федерального или регионального значения), сфера деятельности объекта, цель проекта, год его реализации, площадь сканируемой поверхности,

предмет работы, тип работы (лазерное сканирование или смешанный), результат и оборудование.

На рисунке 2 приведен ряд динамики числа проектов ЛС за два последних десятилетия, а также линии тренда, построенные к нему, при этом 2024 год не был учтен при расчете параметров линий тренда.

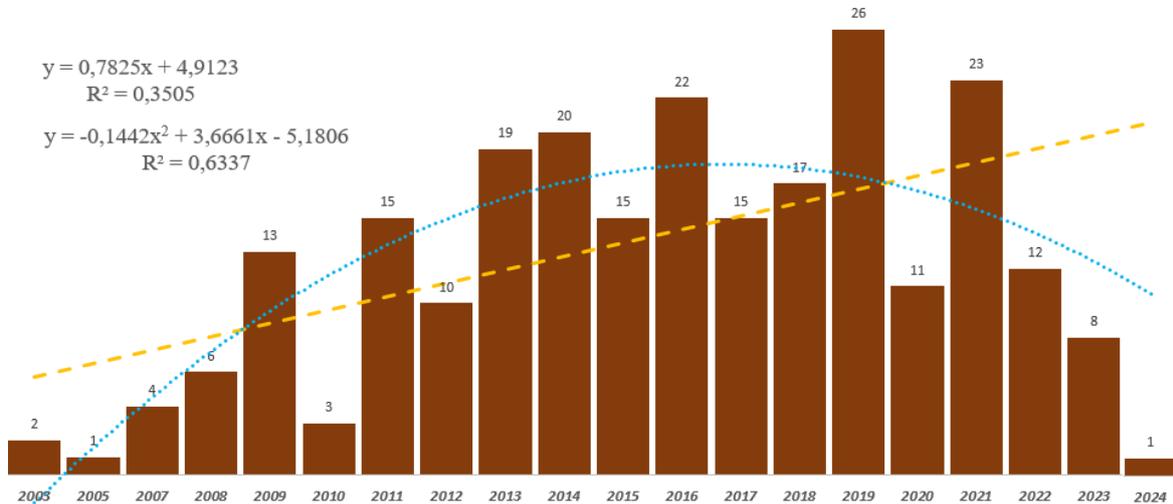


Рис. 2. Динамика и тренды выполненных проектов по годам

Линейный тренд был выбран как наиболее часто используемый и дающий адекватные прогнозы. Он показывает динамику к росту, однако значение коэффициента детерминации R^2 , говорит о том, только 35,05 % факторов объясняются данной зависимостью и при этом их связь характеризуется как «умеренная». Линия тренда по типу квадратичной функции показывает значение R^2 , равное 63,37 %, сильную связь, но при этом прогнозирует ниспадающий тренд на будущие периоды.

Хотя Москва по размеру больше Санкт-Петербурга, количество ОКН в этих двух регионах на конец марта 2024 года было практически одинаковым: 6237 и 6075 соответственно. Объем лазерного сканирования в них также находится почти на одном уровне: 94 и 89 объектов. В этом рейтинге Ленинградская область более чем на четверть (27 %) опередила Московскую область, что является закономерным, так как в первой находится в полтора раза больше ОКН, чем в московском регионе: 5897 и 3918 соответственно [4].

Всего проанализированные проекты по лазерному сканированию в сфере культурного наследия

охватили 33 региона, данные ТОП-15 из них представлены на рисунке 3.

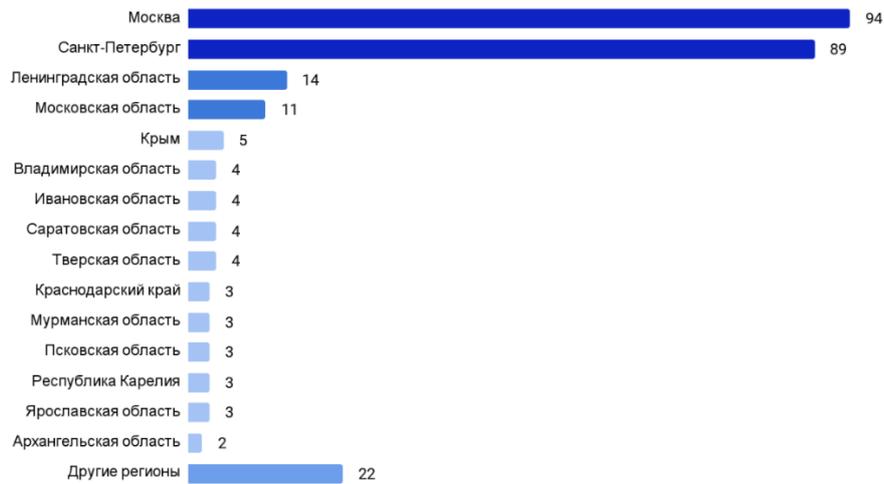


Рис. 3. ТОП-15 регионов России по числу проектов ЛС

Оценка сферы деятельности исследуемых объектов (рис. 4) показывает, что больше четверти из них (27 %) являются частью инфраструктуры культуры и отдыха (музеи, гостиницы, театры) и примерно столько же (24,7 %) представляют собой постройки религиозного характера (храмы, монастыри, подворья). Значительная доля объектов (18,7 %) относится к историческим усадьбам, особнякам и домам. Также были отсканированы объекты торговли: мебельная фабрика «Мюр и Ме-

рилиз» в Москве, Апраксин двор, в Санкт-Петербурге; здания образовательных учреждений: Московский архитектурный институт, художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица в Петербурге; а также больницы, правительственные и военные учреждения и такие редкие объекты как могильные монументы на Новодевичьем и Введенском кладбище, являющиеся памятниками культурного наследия федерального значения [5].

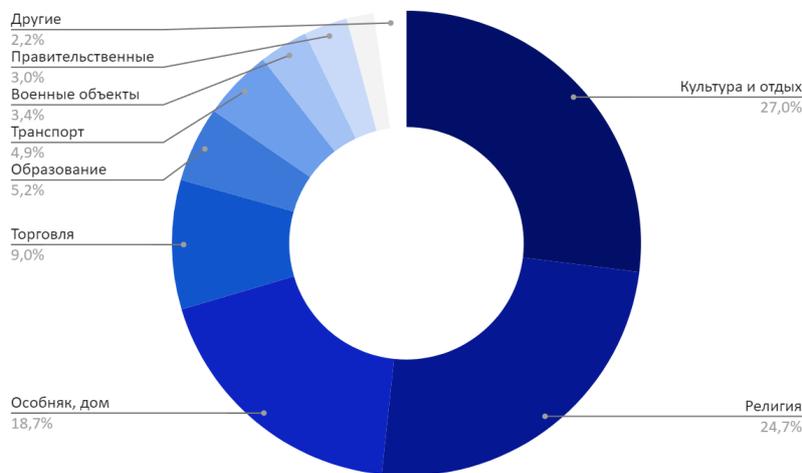


Рис. 4. Сферы деятельности оцифрованных объектов

Лазерное сканирование обладает рядом преимуществ, среди которых выделяется его бесконтактность, благодаря чему объекты остаются неповрежденными в процессе сканирования, что особенно важно для деликатных или исторически ценных предметов [6, 7]. И чем старше здание, тем оправданнее применение лазерного сканирования. Из рисунка 5 видно, что среди оцифрованных объектов было 15 построек (5,6 %) средневекового периода XI–XVI веков, среди которых Успенский кафедральный собор во Владимире, Свято-Троицкая Лавра, исторический центр Великого

Новгорода, Кенигсбергский и Выборгский замки, Псково-Печерский и Соловецкий монастыри, Ивановгородская крепость. Однако подавляющее большинство ОКН относится к более позднему периоду XVIII–XX веков: 245 (91,8 %). Одним из самых примечательных объектов этого периода является шедевр русского деревянного зодчества Преображенская церковь в г. Кижи (н. XVIII века), находящаяся под охраной ЮНЕСКО.

Проведенный анализ показал, что чаще всего в проектах по лазерному сканированию ОКН была необходима съемка фасадов (65,5 %), внутренних

помещений (39,3 %) и кровли здания (18 %). Почти две трети ОКН, которые были оцифрованы, ожидали реставрацию – 165 объектов (61,8 %), почти четверть (23,6 %) – реконструкцию (иногда наряду с реставрацией). В некоторых случаях к лазерному

сканированию обращались для решения отдельных задач: ремонта (3 %), обновления документации и данных (3 %) или проведения научного исследования (проект исторического факультета МГУ).

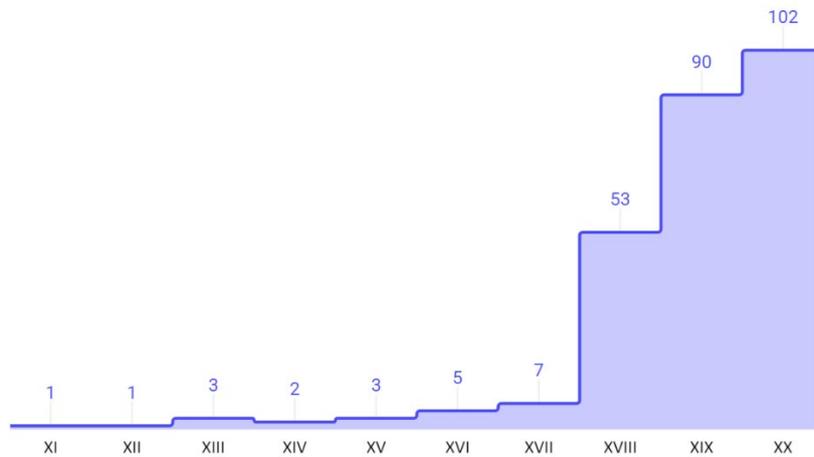


Рис. 5. Число проектов в зависимости от периода постройки объекта

В наше время электронная чертежная документация становится все более востребованной благодаря своей удобству, доступности и возможности быстрой актуализации. По этой причине 49,4 % проектов закончились ее актуализацией, а в значительной доле проектов было создано облако точек и/или более проработанная трехмерная модель здания (59,6 %). Проведенный анализ показал, что спрос на сводную информационную модель ОКН достаточно мал – всего 6,4 % проектов в дальнейшем были доведены до создания технологии информационной модели (BIM-модели) [8, 9]. К ним относятся: доходные дома Меркеля и Коровина в Москве, Дом культуры Мосрыбокомбината, Императорский воспитательный дом, Свято-Троицкая Лавра, Новая Голландия, Государственная консерватория им. Н. А. Римского-Корсакова, здание экономического факультета СПбГУ, Картонный корпус в Санкт-Петербурге, Церковь Сергия Радонежского и Церковь Спаса Преображения в Саратовской области и некоторые другие.

Одним из первых BIM-двойник появился у Южного вокзала в Калининграде (2017 год); его информационная модель включает более 27 тысяч элементов (несущие колонны, арки, фонари, балки и прогоны покрытия, витражные системы, покрытие кровли и др.). Важно также отметить, что в большинстве случаев BIM-моделирование проводилось в целях реконструкции объекта.

Анализ используемого оборудования иллюстрирует диаграмма рисунка 6. Среди лидеров: немецкая компания Leica (48,6 %) и канадская FARO (30,9 %). В некоторых проектах задействовано оборудование Callidus, Optech, Surphaser и Riegl. Самыми популярными среди моделей Leica были ScanStation P40, ScanStation P20, RTC360 и BLK360, а в модельном ряду FARO можно отметить три устройства: Focus 3D, Focus S150 и Focus M70. Примерно наравне с Focus M70 использовался лазерный сканер Trimble TX8.

При этом площадь в 48 тыс. м² одного из самых больших проектов – Бадаевского пивоваренного завода оцифровывалась сканерами Leica ScanStation P20 и Z+F Imager 5006.

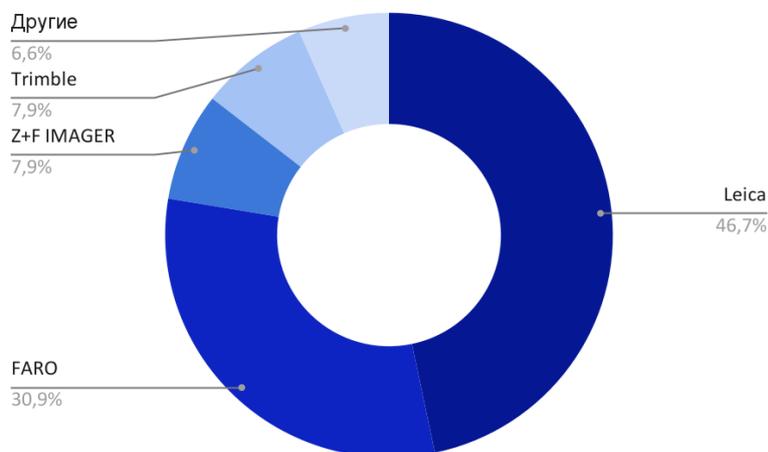


Рис. 6. Доля проектов в зависимости от производителя сканера

Заключение

Любое государство в целях формирования национальной идентичности должно поддерживать у своего народа дух патриотизма, который неотделим от исторической памяти, а значит и от культурного наследия, поэтому рассмотренная в данной статье проблема является актуальной.

Начало активного использования технологии лазерного сканирования приходится на начало XXI века, и мы наблюдаем стойкую тенденцию к росту объемов сканирования на протяжении двух десятилетий, вплоть до 2020 года. Однако, в 2020 году ситуация резко меняется – заметен явный ниспадающий тренд данного процесса. Мы полагаем, что это связано с пандемией 2020 года. Проанализированные тренды ряда динамики числа реализованных проектов по ЛС дают разночтение: линейный тренд прогнозирует рост, а полиномиальный – спад.

Анализ вливания финансовых потоков в сферу сохранения ОКН показывает, что объем средств в 2021 году был примерно на уровне 2011 года (в сопоставимых ценах) и за данное десятилетие сильного рывка в финансовом обеспечении ОКН со стороны государства не было, однако за этот период проектов по ЛС заметно увеличилось [10]. Частично этот факт можно объяснить ростом спроса на саму технологию, которая является логичной, но не полной заменой тахеометрии и фотограмметрии. Поэтому можно утверждать, что госфинансирование не является основополагающим фактором роста объемов сканирования ОКН и нужно искать связь числа проектов с другими факторами.

Например, в последние годы наблюдается спрос со стороны заказчиков, заинтересованных в восстановлении исторических зданий под бизнес-проекты негосударственного сектора, что также может положительно сказаться на характере тенденции [10, 11].

В целом можно сделать вывод о том, что в будущем мы все-таки будем наблюдать положительный тренд в использовании технологии ЛС для оцифровки архитектурных объектов, так как потенциал этой технологии в сфере реставрации и

реконструкции ОКН далеко не реализован, в том числе и за счет возможного уменьшения стоимости самого оборудования, а, следовательно, и удешевления проектов [12, 13].

На основе исследования разных факторов, можно сделать вывод, что для установления благоприятной институциональной среды в области сохранения культурного наследия необходимо сотрудничество государства, общества и бизнеса.

Мы предлагаем следующие меры для роста числа проектов в сфере реставрации и реконструкции ОКН:

- изменение существующей парадигмы финансирования культуры, которое может включать в себя пересмотр подходов к распределению бюджетных средств, поощрение частного инвестирования в культурные проекты, а также создание механизмов стимулирования финансовой поддержки культурных инициатив;
- создание банка данных по проектам сохранения культурного наследия, что поможет не только собрать информацию о существующих и планируемых проектах, но и выявить потенциальные источники финансирования и оптимизировать их использование;
- разработку методики оценки инвестиционной привлекательности объектов культурного наследия, которая может быть ключом к привлечению частных инвесторов, позволяя им оценить потенциальные риски и возможности вложения средств в конкретные проекты;
- поддержку общественных и волонтерских организаций, которые могут дополнить государственные и частные инициативы своими ресурсами, экспертизой и энтузиазмом.

Проведенный анализ поднимает проблему значимости, эффективности и распространенности использования лазерного сканирования ОКН, что способствует сохранению ценных исторических объектов для будущих поколений.

Список литературы

1. Актуальные вопросы государственной охраны объектов культурного наследия : рекомендации круглого стола : основные тезисы. 16 марта 2023 // Совет Федерации. – Режим доступа: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/144243/> (дата обращения: 01.04.2024).
2. Яхина Е. П. Обзор использования технологии лазерного сканирования в реставрации и реконструкции объектов культурного наследия в России / Е. П. Яхина // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 53–61.
3. Почему Финляндский вокзал не признали объектом культурного наследия // Телеканал Санкт-Петербург. 17 ноября 2018. – Режим доступа: <https://tvspb.ru/programs/stories/470783> (дата обращения: 01.04.2024).
4. Сведения из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации // Министерство культуры РФ. – Режим доступа: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/> (дата обращения: 30.03.2024).
5. Бесконечный процесс. Сколько памятников архитектуры реставрируют в Москве? // Аргументы и факты. – 24 марта 2021. – № 12. Почему рыба? – Режим доступа: https://aif.ru/moscow/beskonechnyy_process_skolko_pamyatnikov_arhitektury_restaviruyut_v_moskve (дата обращения: 01.04.2024)
6. Майничева А. Ю. Методика обмеров зданий методом лазерного сканирования (на примере двух объектов культурного наследия Новосибирской области) / А. Ю. Майничева, Е. А. Груздева, Е. Ю. Орлова // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. – 2023. – № 51. – С. 258–269.
7. Boardman C. 3D Laser Scanning for Heritage. Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture / C. Boardman, P. Bryan, L. McDougal, T. Reuter // Historic England. – 2018. – 113 p. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/343281484_3D_Laser_Scanning_for_Heritage_Advice_and_Guidance_on_the_Use_of_Laser_Scanning_in_Archaeology_and_Architecture (дата обращения: 01.04.2024).

8. Георгиев Н. Г. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций / Н. Г. Георгиев, К. А. Шумилов, А. А. Семенов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 117–123.
9. Лежнина Ю. А. Проблемы внедрения новой информационной технологии Building Information Modeling в строительном вузе / Ю. А. Лежнина, Т. В. Хоменко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 2 (12). – С. 78–82.
10. Музычук В. Ю. Экономика культурного наследия в России: особенности и противоречия / В. Ю. Музычук // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2022. – № 6. – С. 7–33.
11. Колчев А. А. Применение технологии цифровой информационной модели объектов культурного наследия для реализации проектов по ремонтно-реставрационным работам и эффективной эксплуатации зданий / А. А. Колчев, М. Петровский // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 330–335.
12. Хапин А. В. Использование BIM-модели производственного здания при реконструкции / А. В. Хапин, Б. Е. Махиев, А. Н. Ударцева // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 13–19.
13. Шангина Н. Н. О перспективах использования цифровых технологий для улучшения деятельности по реставрации объектов культурного наследия / Н. Н. Шангина // Сборник тезисов, посвященный итогам конференции в рамках Всероссийского съезда реставраторов, состоявшейся 22.11.2022. – Санкт-Петербург : Папирус, 2023. – С. 8–9.

© Е. П. Яхина, О. И. Светлова

Ссылка для цитирования:

Яхина Е. П., Светлова О. И. Анализ тенденций использования технологии лазерного сканирования при сохранении объектов культурного наследия России // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 2 (48). С. 58–63.

УДК 621

DOI 10.52684/2312-3702-2024-48-2-63-67

**УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ АРМАТУРЫ СО СЛУЧАЙНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

М. В. Шавыкина, П. С. Борисов

Шавыкина Марина Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация;

Борисов Павел Алексеевич, студент, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Проведен анализ механизма поведения арматурных стержней под воздействием нагрузок на основе вероятностной модели сопротивления разрушению и деформированию многоэлементной арматуры со случайными свойствами. Определены вероятностные характеристики распределения равномерного относительного удлинения многостержневой арматуры в зависимости от числа стержней в опасном сечении.

Ключевые слова: конструкций зданий и сооружений, вероятностные методы в расчетах строительных конструкций, снижение расхода стали, совместная работа остальных арматурных стержней.

**CLARIFICATION OF THE METHOD FOR DETERMINING DESIGN RESISTANCE
MULTI-ELEMENT REINFORCEMENT WITH RANDOM PROPERTIES**

M. V. Shavykina, P. S. Borisov

Shavykina Marina Vitalyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Structures, Buildings and Structures, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation;

Borisov Pavel Alekseyevich, student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation

The analysis of the mechanism of behavior of reinforcing bars under the influence of loads is carried out on the basis of a probabilistic model of resistance to fracture and deformation of multi-element reinforcement with random properties. The probabilistic characteristics of the distribution of uniform elongation of multi-rod reinforcement depending on the number of rods in the dangerous section are determined.

Keywords: structures of buildings and structures, probabilistic methods in the calculations of building structures, reduction of steel consumption, joint work of other reinforcing bars.

Введение

В последнее время значительное внимание уделяется повышению резервов несущей способности конструкций зданий и сооружений, в том числе исследованиям механизма поведения арматурных стержней в железобетонных конструкциях.

Расчет строительных конструкций по методу предельных состояний, широко применяемый сейчас, был разработан на основе четкого понимания

того факта, что поведение конструкций носит случайный характер.

В железобетонных конструкциях применяется многостержневое армирование, при котором прочность стержней в конструкции различна и находится выше нормированных значений. Однако эти резервы в конструкции не используются. Полное использование прочностных свойств арматуры при многостержневом армировании один из путей снижения расхода