

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR AUTOMATION OF CONSTRUCTION CONTROL OF OBJECTS

**A. Rada
A. Akulov
A. Timofeev**

Summary. Digital technologies have great potential in improving the quality, accuracy, and reducing the cost of construction control. The purpose of the study is to develop applied software product for automating the monitoring and construction control of objects based on spatial data, taking into account the specifics of performing work under state and municipal contracts. It received the name «Management system for monitoring construction work at facilities that have passed the state examination». Two-tier «client-server» architecture was used, including two server modules and a single-page client application. The structure of the database is presented, taking into account the specifics of the information that is necessary for monitoring and construction control of objects. The interface and functionality of the program is demonstrated. In particular, along with traditional functions (tracking work on objects, viewing photos, videos, downloading and viewing documents), it is possible to build a dense point cloud based on laser scanning. As a result, a three-dimensional model of the object is formed with the possibility of accurate measurements for the purposes of construction control. The program corresponds to the fifth level of technology readiness. In the future, it is planned to use it in managing the construction of facilities under state and municipal contracts.

Keywords: digital technologies, building control, software, 3D building models, technology readiness level.

Рада Артем Олегович

Кандидат экономических наук,
Кемеровский государственный университет
rada.ao@kemsu.ru

Акулов Анатолий Олегович

Кандидат экономических наук, доцент, доцент,
Кемеровский государственный университет
akuanatolij@yandex.ru

Тимофеев Антон Евгеньевич

Кандидат технических наук,
Кемеровский государственный университет
a.timofeev@i-digit.ru

Аннотация. Цифровые технологии имеют большой потенциал в повышении качества, точности, снижении стоимости строительного контроля. Цель исследования — разработка прикладного программного продукта для автоматизации мониторинга и строительного контроля объектов на основе пространственных данных, учитывающего особенности выполнения работ по государственным и муниципальным контрактам. Он получил название «Система управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу». Использована двухуровневая архитектура «клиент-сервер», включающая два серверных модуля и одностраничное клиентское приложение. Представлена структура базы данных, учитывающая специфику информации, которая необходима для мониторинга и строительного контроля объектов. Демонстрируется интерфейс и функциональные возможности программы. В частности, вместе с традиционными функциями (отслеживание работ по объектам, просмотр фотографий, видеозаписей, загрузка и просмотр документов) есть возможность построения плотного облака точек на основе лазерного сканирования. В результате формируется трехмерная модель объекта с возможностью точных измерений для целей строительного контроля. Программа соответствует пятому уровню готовности технологий. В перспективе планируется ее использование при управлении строительством объектов по государственным и муниципальным контрактам.

Ключевые слова: цифровые технологии, строительный контроль, программное обеспечение, трехмерные модели, уровень готовности технологий.

Введение. Обзор литературы и известных подходов

Строительство является важнейшим видом экономической деятельности в современных условиях, оно способствует восстановлению макроэкономических показателей, стабилизации положения дел в смежных отраслях. Согласно оперативным данным Федеральной службы государственной статистики РФ, за январь-май 2023 г. объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство» превысил аналогичный

показатель предыдущего года на 8,9%¹. В Кемеровской области — Кузбассе данный индикатор также стабильно растет. Это обусловлено, в том числе, вводом знаковых не только для региона, но и для страны объектов. Среди них — самый большой в Западной Сибири спортивно-развлекательный комплекс «Кузбасс-Арена», Кемеровское президентское кадетское училище, кампус

¹ Социально-экономическое положение России. Январь-май 2023 года. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/osn-05-2023.pdf> (дата обращения 10.07.2023).

Сибирской высшей школы музыкального и театрального искусства, 8-ой кассационный суд, объекты культурного кластера и др.

Перспективы развития строительного контроля в данной ситуации связаны с широким использованием цифровых технологий, которые предоставляют возможность значительной экономии времени и средств на работу с информацией, а также исключают зависимость от «человеческого фактора». Цифровые технологии уже нашли самое широкое применение при решении таких разных научных и производственных задач, как оценка состояния сельскохозяйственных угодий в рамках точного земледелия [1], принятие решений в горном деле на основе цифровых двойников шахт [2], мониторинг объектов инфраструктуры [3], выявление правонарушений при использовании недвижимого имущества [4], учет охотничьих животных [5], обеспечение общественной безопасности [6] и др.

Известны публикации по созданию цифровых двойников зданий, технологиям информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM) [7–10]. В рамках модели BIM накапливается информация о геометрических размерах, конфигурации, состоянии элементов объекта строительства. На основе данной модели могут приниматься оперативные и более качественные решения, способствующие соблюдению проектной документации, эффективному использованию ресурсов [11–13], а также повышению безопасности на строительной площадке [14]. При получении необходимой для BIM-модели информации используются фотограмметрия и лазерное сканирование [15–17], в том числе с использованием беспилотных воздушных судов [18–20]. Лазерное сканирование позволяет получить плотное облако точек, по которому затем строится 3D-модель объекта строительства [21–24]. Эта модель и выступает цифровым двойником, в соответствии с которым анализируется информация по объекту строительства, принимаются управленческие решения. Наряду с BIM-моделью и лазерным сканированием, обсуждаются новые цифровые решения для управления строительством, в частности, виртуальная и дополненная реальность [25], искусственный интеллект [26], блокчейн [27], машинное обучение [28] и др.

Представленное на рынке программное обеспечение [29–36] также ограничено в возможностях ведения строительного контроля в соответствии с существующей нормативной базой. Авторами выполнялся анализ программных продуктов, присутствующих на российском рынке, чтобы оценить возможности их использования для целей строительного контроля при возведении объектов. Были рассмотрены такие программы, как «SODIS Building M», «Ехон», «MStroy», «SIGNAL», «Мобильные решения для строительства», «Платформа строительных

сервисов», «Техзор», «Стройбот», «Pilot-BIM». Качественный анализ показал, что существующие программные продукты ориентированы на автоматизацию проектного управления и ведение технической документации при взаимодействии подрядчиков и заказчиков. В ряде программ есть опции по созданию замечаний, учета их устранения, планированию выхода сотрудников для непосредственного проведения замеров, отбора проб. Однако практически отсутствуют программные продукты, способные автоматизировать строительный контроль в соответствии с нормативными требованиями путем дистанционной оценки качества работ на основе физических измерений с высокой точностью. Соответствующие работы пользователи по-прежнему вынуждены выполнять вручную.

Гипотеза исследования состояла в разработке программного продукта для автоматизации строительства, позволяющего вести комплексный мониторинг и контроль объектов, значительно ускорит и удешевит решение задач оценки качества строительных работ, снизит зависимость от квалификации и мотивации исполнителей. Цель исследования — разработка специализированного программного продукта для автоматизации мониторинга и строительного контроля объектов на основе пространственных данных.

Материалы и методы исследования

Для разработки программного продукта была использована традиционная методология двухуровневой архитектуры «клиент-сервер». Соответствующая архитектура наглядно представлена на рисунке 1. Клиентской частью является веб-приложение (интерфейс пользователя), с помощью которого можно выполнять конкретные действия и просматривать данные по объектам строительства. Оно реализовано как одностороннее приложение (Single Page Application, SPA), основные элементы интерфейса которого загружаются при первом запуске. При перемещении между разделами системы добавляется только информация об объектах строительства и относящиеся к ним файлы. Это позволяет ускорить процесс загрузки данных с учетом большого объема информации в системе (до 2 терабайт). Серверная часть включает два модуля. Первый — это сервис для хранения и обработки данных (добавления файлов в систему, создания плотных облаков точек и т.д.).

Второй модуль представляет собой REST API сервис, который обеспечивает взаимодействие веб-приложения с сервером, в частности, предоставляет пользователям доступ к информации, хранящейся на нем, в зависимости от прав, установленных администратором. Разработанный программный продукт в соответствии с требованиями заказчика получил название «Система управления мониторингом строительных работ на объектах, про-

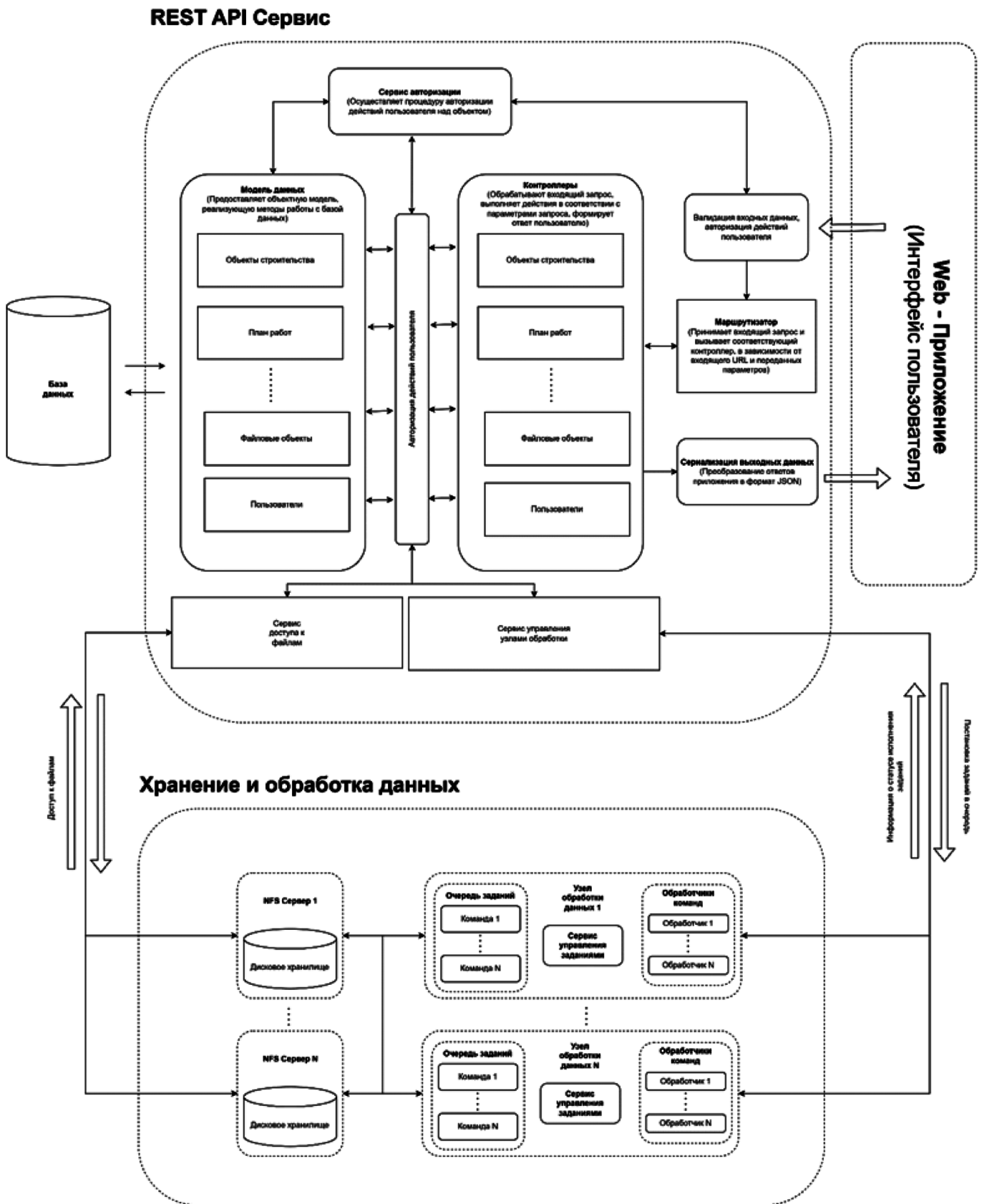


Рис. 1. Архитектура программного продукта для автоматизации строительного контроля и мониторинга объектов

шедших государственную экспертизу» (СУМСР). Необходимо было, с одной стороны, создать комплексный продукт, позволяющий осуществлять не только строительный контроль, но и другие операции; с другой стороны — ориентировать его на специфику крупных строительных объектов, возводимых в Кемеровской области — Кузбассе.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе создания программного продукта была разработана схема базы данных, используемой для хранения информации по строительным объектам и ее обработки. Для этого представлена следующая классификация данных, которые должны храниться и обрабатываться в программе (таблица 1).

Таблица 1.

Структура данных, используемых для мониторинга работ

Текстовые данные	Медиа файлы	Модели объекта строительства
Характеристика объектов, данные о пользователях программы, справочники (классификаторы), планы-графики работ	Фотографии, видеозаписи	2D модели (ортофотопланы, топографические данные), 3D модели (облака точек. BIM-модели)

Вид данных определяет то, в каких форматах в программу поступает информация, каким образом она обрабатывается и далее отображается в интерфейсе. С учетом состава этой информации была разработана структура базы данных и проведена ее нормализация (рисунок 2). В форме «Пользователь» находятся значимые сведения о пользователях программы, в таблице «Роль» описывается уровень доступа. При их связывании генерируется форма, определяющая права каждого из пользователей в системе и список разрешенных для них действий (форма «Права доступа»). Форма «Типы объектов» представляет собой справочник элементов системы, в соответствии с которыми пользователь может совершать те или иные действия согласно своим правам доступа. Элемент «административно-территориальное деление» определяет возможность действий пользователя с объектами только в пределах одного определенного муниципального образования. Эта форма содержит текстовое описание основных характеристик объекта строительства (выводится в отдельной карточке). Пользователь с определенной ролью имеет доступ к конкретным объектам строительства. К каждому объекту строительства прикрепляются медиа файлы и 2D-, 3D-модели. Информация о них содержится в форме «Файловый объект». «Файловый объект — Обработка» формируется при обработке данных и связывает данные при запуске «Обработка файлов». Эта форма также содержит информацию о виде проведенной обработки, затраченном на нее времени, статусе завершения обработки.

Форма «Карта 2D» (рисунок 2) связывает с объектом строительства совокупность слоев (двумерных моделей) из формы «Слой 2D». Этими слоями могут быть ортофотоплан, топографические горизонталы, цифровая модель рельефа местности, цифровая модель поверхности и др. В форме «Стиль» находятся данные по формату отображения каждого конкретного слоя. Форма «План-график» отражает временные рамки выполнения работ по объекту, содержит план-график работ, информацию о степени готовности, виды и описания всех необходимых работ.

Поскольку в строительстве сроки выполнения работ могут сдвигаться, в том числе по совершенно объективным причинам, в базе данных была предусмотрена форма «Отметки», где фиксируются изменения графиков с их атрибутами (кто внес изменение, как сдвинулись сроки). Сводные формы представляют собой справочники по видам работ и по используемым в программе единицам измерения, соответственно. Далее разрабатывался дизайн, интерфейс программы СУМСР. В частности, предусмотрена темная и светлая темы, а также возможность просмотра данных на различных устройствах с разными размерами экранов — 4k, 3340×1440 (UltraWide WQHD), 2k.

Для начала пользования программой необходимо внести в нее первичные сведения об объектах («Создать объект»). Первоначально заполняются такие данные, как наименование объекта, срок сдачи, адрес, кадастровый номер, координаты, тип объекта, источник финансирования, заказчик, подрядчик. По мере начала строительства в программе формируется план-график по видам работ, реализуется возможность видеонаблюдения за объектом, вносятся фотографии, видеозаписи, документация. По каждому объекту создается плотное облако точек (результат лазерного сканирования), а затем — трехмерная BIM-модель. Можно просматривать информацию (рисунок 3) по каждому объекту строительства, добавлять новые объекты, выполнять их поиск, сортировку, фильтрацию по ряду параметров.

При переходе на вкладку «Документация» реализована возможность просмотра, сортировки и скачивания документов на устройство, на «Медиа» — возможность просмотра фотографий и видеозаписей за выбранный отчетный период. Форма «Виды работ» выводит информацию о всех работах по проекту и степень их выполнения на указанный момент времени. Работы визуализируются с использованием диаграмм Ганта с возможностью детализации по дням и месяцам. Вкладка «Карта» представляет 2-мерные и 3-мерные модели объектов строительства с привязкой к местности и геодезическим координатам. Предусмотрены инструменты для навигации, измерения расстояний, площадей, определения координат точек в пространстве. Их можно отсортировать по датам и файлам.

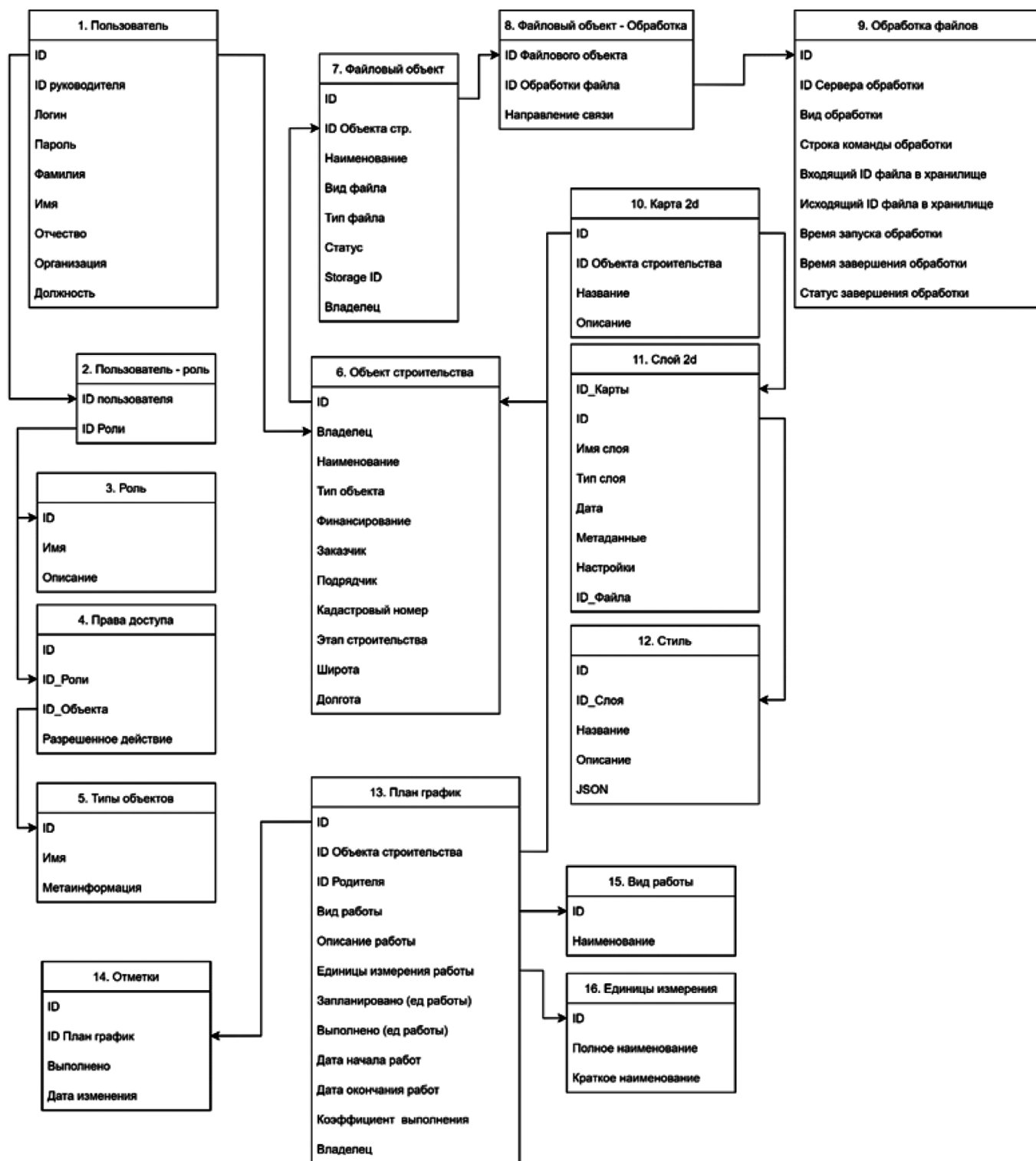


Рис. 2. Схема базы данных программы СУМСП

Данная модель (рисунок 4) формируется на основе плотного облака точек, полученного по результатам лазерного сканирования. Она дает возможность автоматизировать измерения геометрических параметров объекта в целях строительного контроля. Доступна возможность редактирования объектов («Редактировать»). На данной странице возможно добавлять и удалять файлы, связанные с объек-

том, а также редактировать общую информацию по нему, изменять виды работ и др. В форме «Профили доступа» реализована возможность добавлять, редактировать, удалять пользователей, а также их права доступа (на просмотр, создание, редактирование, удаление элементов). Во вкладке «Справочники» можно добавлять и редактировать перечни полей для дальнейшего использования.

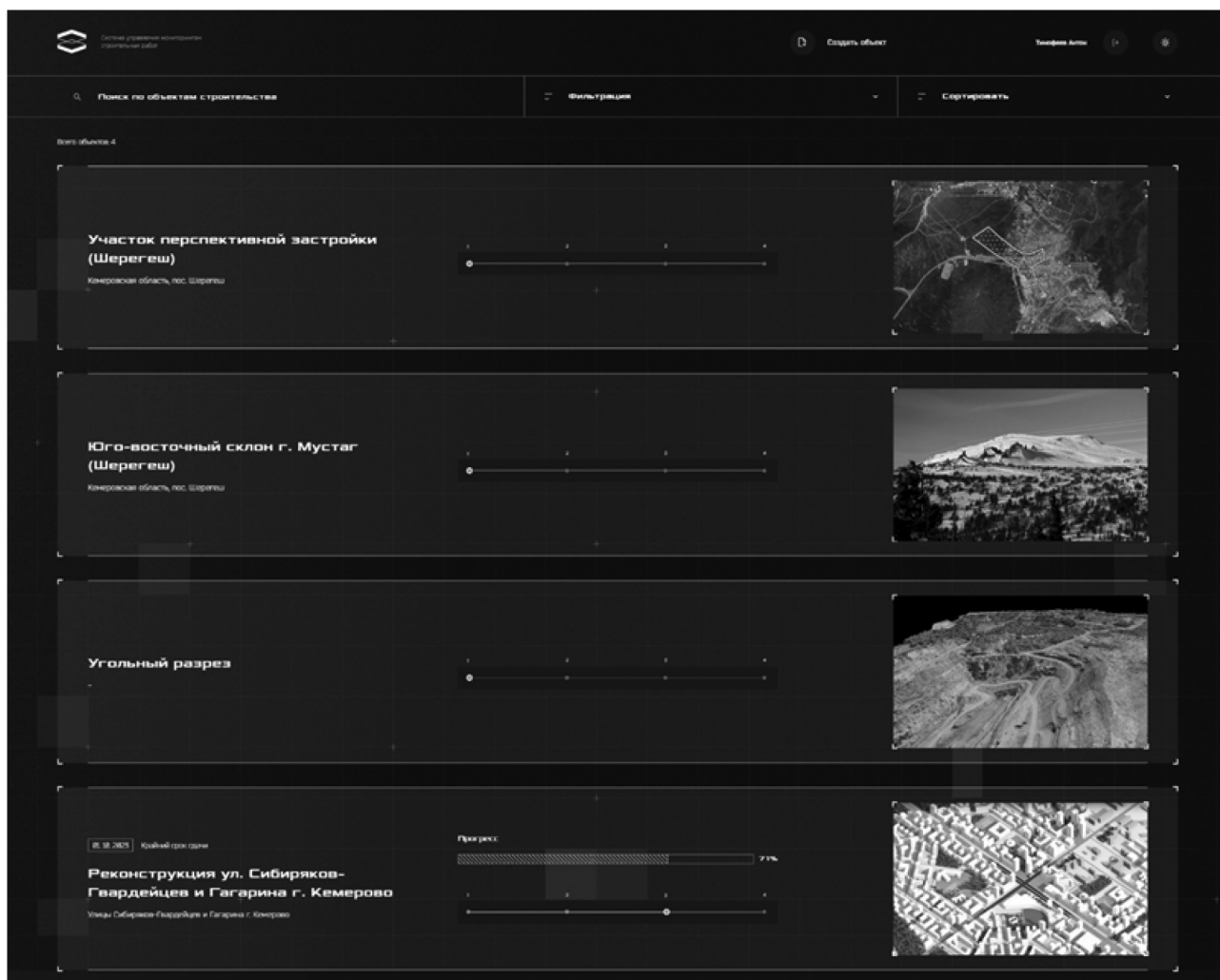


Рис. 3. Список объектов строительства, представленный в программе

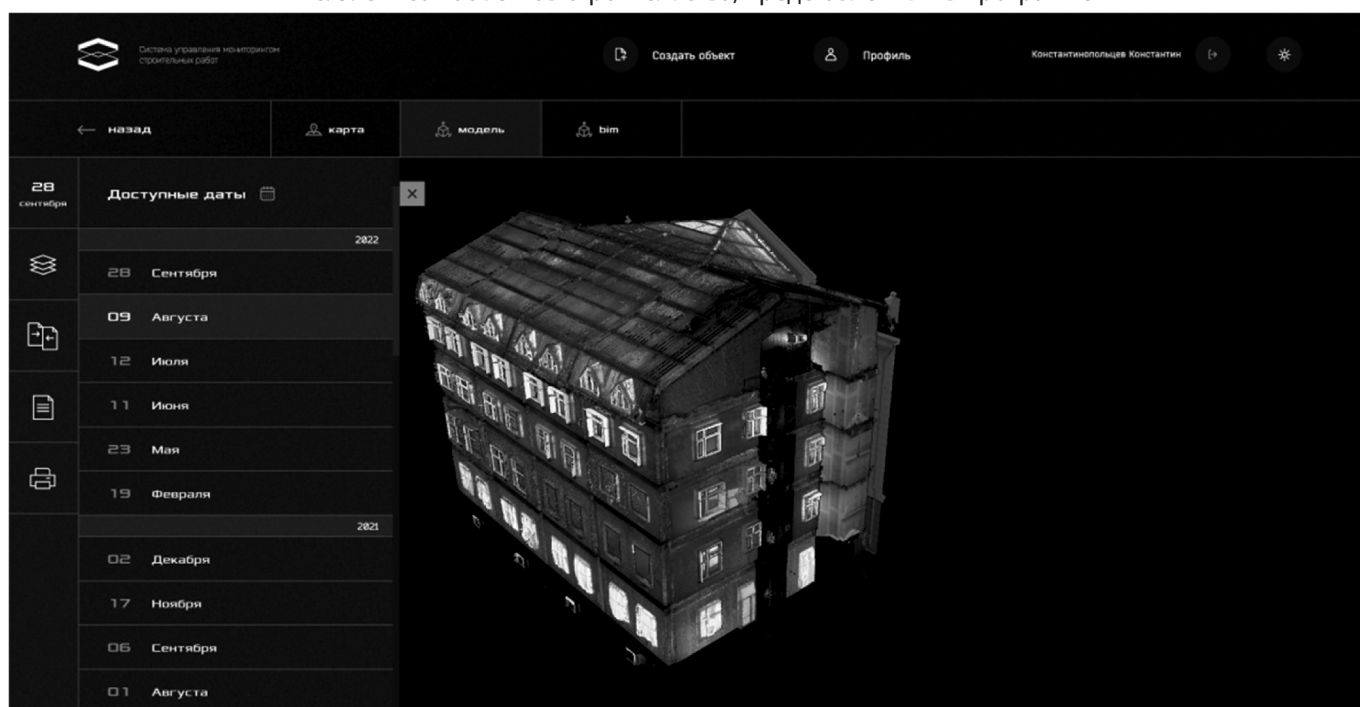


Рис. 4. Пример отображения трехмерной модели объекта строительства в программе

В ходе исследований были определены требования к новому программному продукту с учетом ограничений существующих программ, запросов заказчика по контролю и мониторингу строительных объектов.

Разработанное программное обеспечение находится на пятой стадии готовности (ГОСТ Р 57194.1-2016 Трансфер технологий. Общие положения).

Выводы

При значительных масштабах строительных работ в современной экономике России, отрасль характеризуется проблемами строительного контроля, решению которых могут способствовать цифровые технологии. Однако, в недостаточной степени исследованы и реализованы возможности цифровизации контроля, в частности, выполнения точных измерений в рамках BIM-моделей по результатам лазерного сканирования. В нашем исследовании представлены результаты разработки специализированного программного обеспече-

ния СУМСР, которое апробировано на реальных данных по крупному объекту строительства для мониторинга и строительного контроля. Планируется использование программы при исполнении государственных и муниципальных контрактов.

Благодарность

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, № соглашения 075-15-2022-1195 от 30.09.2022 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Francisco, M., Ribeiro, F., Metrôlho, J., Dionísio, R., 2023. Algorithms and models for automatic detection and classification of diseases and pests in agricultural crops: a systematic review. /Applied Sciences, 13(8), 4720.
- Plavšić, J., Mišković, I., 2023. Industrial applications of digital twin technology in the mining sector: an overview. /CIM Journal, 14(2), 97–106.
- González-deSantos, L.M., 2022. News applications of UAVs for infrastructure monitoring: contact inspection systems. /Engineering Proceedings, 17(1), 23.
- Rada, A.O., Kuznetsov, A.D., 2022. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo Region. /Foods and Raw Materials, 10(2), 206–215.
- Prosekov, A., Vesnina, A., Atuchin, V., Kuznetsov, A., 2022. Robust algorithms for drone-assisted monitoring of big animals in harsh conditions of Siberian winter forests: recovery of European elk (*Alces alces*) in Salair mountains. /Animals, 12(12), 1483.
- Al-Dosari, K., Hunaiti, Z., Balachandran, W., 2023. Systematic review on civilian drones in safety and security applications. /Drones, 7(3), 210.
- Chen, Y., Wang, X., Liu, Z., Cui, J., Osmani, M., Demian, P., 2023. Exploring Building Information Modeling (BIM) and Internet of things (IoT) integration for sustainable building. /Buildings, 13(2), 288.
- Fargnoli, M., Lombardi, M., 2020. Building Information Modelling (BIM) to enhance occupational safety in construction activities: research trends emerging from one decade of studies. /Buildings, 10(6), 98.
- Ferdosi, H., Abbasianjahromi, H., Banihashemi, S., Ravanshadnia, M., 2023. BIM applications in sustainable construction: scientometric and state-of-the-art review. /International Journal of Construction Management, 23(12), 1969–1981.
- Xu, X., Mumford, T., Zou, P., 2021. Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance. /Energy and Buildings, 231, 110496.
- Jiang, Y., 2021. Intelligent building construction management based on BIM digital twin. /Computational Intelligence and Neuroscience, 2021, 4979249.
- Liu, N., Guo, D., Song, Z., Zhong, S., Hu, R., 2023. BIM-based digital platform and risk management system for mountain tunnel construction. /Scientific Reports, 13, 7585.
- Knippers, J., Kropp, C., Menges, A., Sawodny, O., Weiskopf, D., 2021. Integrative computational design and construction: Rethinking architecture digitally. /Civil Engineering Design, 3, 123–135.
- Afzal, M., Shafiq, M.T., Al Jassmi, H., 2021. Improving construction safety with virtual-design construction technologies — a review. /Journal of Information Technology in Construction, 26, 319–340.
- Manzoor, B., Othman, I., Pomares, J.C., 2021. Digital technologies in the architecture, engineering and construction (AEC) industry — a bibliometric-qualitative literature review of research activities. /International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(11), 6135.
- Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H., Girolami, M., 2020. Construction with digital twin information systems. /Data-Centric Engineering, 1, E14.
- Rashdi, R., Martínez-Sánchez, J., Arias, P., Qiu, Z., 2022. Scanning technologies to building information modelling: A review. /Infrastructures, 7(4), 49.
- Su, S., Zhong, R.Y., Jiang, Y., 2022. Digital twin and its applications in the construction industry: A state-of-art systematic review. /Digital Twin, 2, 15.
- Baghalzadeh Shishehgharkhaneh, M., Keivani, A., Moehler, R.C., Jelodari, N., Roshdi Laleh, S., 2022. Internet of Things (IoT), Building information modeling (BIM), and digital twin (DT) in construction industry: A review, bibliometric, and network analysis. /Buildings, 12(10), 1503.
- Tarsha Kurdi, F., Awrangjeb, M., Munir, N., 2021. Automatic filtering and 2D modeling of airborne laser scanning building point cloud. /Transactions in GIS, 25(1), 164–188.

21. Aryan, A., Bosché, F., Tang, P., 2021. Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. /Automation in Construction, 125, 103551.
22. Wu, C., Yuan, Y., Tang, Y., Tian, B., 2022. Application of terrestrial laser scanning (TLS) in the architecture, engineering and construction (AEC) industry. /Sensors, 22(1), 265.
23. Wang, C., Wen, C., Dai, Y., Yu, S., Liu, M., 2020. Urban 3D modeling with mobile laser scanning: a review. /Virtual Reality & Intelligent Hardware, 2(3), 175–212.
24. Kalenjuk, S., Lienhart, W., Rebhan, M.J., 2021. Processing of mobile laser scanning data for large-scale deformation monitoring of anchored retaining structures along highways. /Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 36(6), 678–694.
25. Nassereddine, H., Hanna, A.S., Veeramani, D., Lotfallah, W., 2022. Augmented reality in the construction industry: use-cases, benefits, obstacles, and future trends. /Frontiers in Built Environment, 8, 730094.
26. Abioye, S.O., Oyedele, L.O., Akanbi, L., Ajayi, A., Delgado, J.M., Bilal, M., Akinade, O.O., Ahmed, A., 2021. Artificial intelligence in the construction industry: a review of present status, opportunities and future challenges. /Journal of Building Engineering, 2021, 44.
27. Singh, V., 2019. Digitalization, BIM ecosystem, and the future of built environment. /Engineering Construction and Architectural Management, 17, 1–18.
28. Olanipekun, A.O., Sutrisna, M., 2021. Facilitating digital transformation in construction — a systematic review of the current state of the art. /Frontiers in Built Environment, 7, 660758.
29. Ignatova, E.V., Matyuhina, M.A., Smorzhenkov, N.S., 2022. Sustainable development based on digital technologies in construction. /Construction and Architecture, 10(2), 56–60.
30. Travush, V.I., 2018. Digital technologies in construction. /Architecture and Construction, 3, 100–117.
31. Pichugin, A.S., Sultanova, E.A., 2019. Design of roads based on BIM technologies. /Information technology, 2, 117–121.
32. Zharkov, D.I., 2021. Prospects for development of BIM technologies. /Engineering Research, 2, 9–15.
33. Milkina, Yu.A., Makarova, E.E., 2021. Introduction of modern information technologies in the construction industry. /Organizer of Production, 29(3), 101–110.
34. Subbotin, A.S., Bimbiris, B.B., 2022. Positive aspects of the use of digital technologies While restoring of the destroyed urban environment. /Bulletin of the Moscow Information Technology University — Moscow Institute of Architecture and Civil Engineering, 4, 28–35.
35. Gusakova, E., Parfenov, S., Kurilov, A., 2022. Development of information systems for specifications of projects for the construction of residential complexes. /Information Resources of Russia, 5-6, 32–39.
36. Antipenko, V.P., 2019. The use of digital technologies to reduce risks in construction. /Estimated Contractual Work in Construction, 9, 41–47.

© Рада Артем Олегович (rada.ao@kemsu.ru); Акулов Анатолий Олегович (akuanatolij@yandex.ru);
Тимофеев Антон Евгеньевич (a.timofeev@i-digit.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»