

УДК 528.8 (571.17) © К.И. Петерс¹, Л.Н. Щербакова²,
Е.А. Федулова², А.Д. Кузнецов², Л.Н. Бурмин², 2024

¹ ООО «ВЗРЫВ ГРУПП», 650000 г. Кемерово, Россия
² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: k.peters@vgroup.one

UDC 528.8 (571.17) © K.I. Peters¹, L.N. Shcherbakova²,
E.A. Fedulova², A.D. Kuznetsov², L.N. Burmin², 2024

¹ "Vzryv Group" LLC, Kemerovo, 650000, Russian Federation
² Kemerovo State University, Kemerovo,
650000, Russian Federation
✉ e-mail: k.peters@vgroup.one

Практика применения 3D-модели в горной промышленности на примере угольных предприятий в Кемеровской области – Кузбассе*

The practice of using 3D-models in the mining industry
on the example of coal enterprises in the Kemerovo Region – Kuzbass

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-10-110-117>

ПЕТЕРС К.И.

Заместитель директора
по перспективному развитию
технологий БВР ООО «ВЗРЫВ ГРУПП»,
650000 г. Кемерово, Россия,
e-mail: k.peters@vgroup.one

ЩЕРБАКОВА Л.Н.

Доктор экон. наук, профессор кафедры
экономической теории
и государственного управления
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000 г. Кемерово, Россия,
e-mail: ludmilashc@yandex.ru

В статье был выявлен ряд факторов, определяющих траекторию развития угольной промышленности в современных условиях, обоснована актуальность цифровой трансформации угольной отрасли как фактора оптимизации производственного процесса. В рамках процессе исследования определен ряд критических аспектов производства угольных работ как в части применения беспилотного воздушного судна (БВС), так и в случаях, не касающихся данного способа получения данных. На основе потенциальных способов улучшения скорости и удобства взаимодействия специалистов разработана схема бизнес-процесса по получению плана горных работ угольного предприятия, предполагающая решение проблемы коммуникационной сложности между разными участниками процесса для оперативности принятия решений и оптимизации добычи. Данная схема апробирована в реальных условиях угольного предприятия. В качестве дополнительного примера использования цифровых результатов в горной промышленности рассмотрена практика применения цифровой модели месторождения в качестве инструмента для оценки параметров развала взорванной горной мас-



* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий от 30 сентября 2022 г. № 075-15-2022-1195 и в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых 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 мая 2022 г. № 1144-р).

сы после взрыва. На примере геопространственных материалов, полученных по результатам аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования участка буровзрывных работ на угольном предприятии, продемонстрированы возможности разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова: угледобывающая отрасль, Кемеровская область – Кузбасс, деятельность угольных предприятий, цифровые трансформации, трехмерное моделирование, воздушное лазерное сканирование, аэрофотосъемка.

Для цитирования: Практика применения 3D-модели в горной промышленности на примере угольных предприятий в Кемеровской области – Кузбассе / К.И. Петерс, Л.Н. Щербаклова, Е.А. Федулова и др. // Уголь. 2024;(10):110-117. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-10-110-117.

Abstract

The article identifies a number of factors that determine the trajectory of the coal industry in modern conditions, substantiates the relevance of the digital transformation of the coal industry as a factor in optimizing the production process. In the as part course of the study, a number of critical aspects of coal mining operations were identified both in terms of the use of UAVs and in cases not related to this method of obtaining data. Based on potential ways to improve the speed and convenience of interaction between specialists, a business process scheme has been developed to obtain a mining plan for a coal enterprise, which involves solving the problem of communication complexity between different participants in the process for prompt decision-making and optimization of production. This scheme has been tested in the real conditions of a coal enterprise. As an additional example of the use of digital results in the mining industry, the practice of using a digital model of a deposit as a tool for evaluating the parameters of the collapse of an exploded rock mass after an explosion is considered. Using the example of geospatial materials obtained from aerial photography and aerial laser scanning of the drilling and blasting site at a coal enterprise, the capabilities of the developed software are demonstrated.

Keywords

Coal mining industry, Kemerovo Region – Kuzbass, activities of coal enterprises, digital transformations, three-dimensional modeling, aerial laser scanning, aerial photography.

Acknowledgements

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies dated September 30, 2022 No. 075-15-2022-1195 and within the framework of the comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle “Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population” (approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022 No. 1144-r).

For citation

Peters K.I., Shcherbakova L.N., Fedulova E.A., Kuznetsov A.D., Burmin L.N. The practice of using 3D models in the mining industry on the example of coal enterprises in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Ugol*. 2024;(10):110-117. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-10-110-117.

ВВЕДЕНИЕ

Угольная промышленность развивается по сложной траектории в современных условиях. Специфику ее функционирования определяют самые разнообразные факторы. Во-первых, непосредственная добыча угля в последнее десятилетие в России имеет неоднородную тенденцию: рост до 2019 г., падение в 2020 г., рост в 2021-2022 гг. и очередное снижение в 2023 г. [1]. Во-вторых, существенно изменились пропорции и структура экспорта угольного ресур-

ФЕДУЛОВА Е.А.

Доктор экон. наук,
заведующий кафедрой
экономической теории
и государственного управления
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000 г. Кемерово, Россия,
e-mail: fedulovaea@mail.ru

КУЗНЕЦОВ А.Д.

Директор центра геодезии,
аэросъемки и кадастровых работ
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000 г. Кемерово, Россия,
e-mail: adkuz@inbox.ru

БУРМИН Л.Н.

Канд. техн. наук, доцент кафедры
цифровых технологий
Института цифры
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000 г. Кемерово, Россия,
e-mail: Lnburmin@mail.ru

са. Если ранее всего две страны, Польша и Румыния, принимали одну четвертую экспорта угля, то в 2022 г. на всю Европу пришлось менее указанной выше доли [2]. Остальной товар пошел в такие страны, как Китай, Малайзия, Турция, Индия. В-третьих, изменился и уровень издержек на основе геополитических потрясений, санкционного давления на Россию. В частности, одним из вариантов доставки угля в восточные страны стал северный путь, что увеличивает продолжительность перевозки товара. В-четвертых, перспективы развития угольной отрасли во многом идут вразрез с усиливающейся тенденцией экологизации производства, ставящейся задачей декарбонизации энергетического рынка и сокращения доли выбросов CO₂ [3]. В-пятых, реалии таковы, что современная энергетическая отрасль подвержена действию многообразных элементов макроэкономической нестабильности и внешних шоков. Так, существенно колеблются цены и спрос на энергоресурсы, меняются валютные курсы, нарастает непредсказуемость макроэкономических показателей, санкции против России ведут к резкому возрастанию влияния внешних факторов [4, 5].

В этой связи крайне важен поиск решений, обеспечивающих снижение издержек, повышение эффективности и обеспечения конкурентоспособности горнодобывающих предприятий. Одним из методов оптимизации добычи полезных ископаемых является внедрение цифровых технологий в производственный процесс. Цифровизация горнодобывающей отрасли предоставляет предприятиям новые возможности создания стоимости продукта, снижения издержек, влияет на рост производительности, создает возможности внедрения новых технологий, улучшающих безопасность производства [6]. Цифровая трансформация предприятий добычи полезных ископаемых на сегодняшний день является важной темой исследований как за рубежом [7, 8, 9, 10, 11, 12], так и в России. Такие отрасли, как горнодобывающая промышленность, составляют значительную часть ВВП, а налоги добывающих компаний являются важной частью государственного бюджета. В данном случае цифровая трансформация является перспективой повышения (удержания) доходов предприятий, а соответственно, и поддержки уровня финансовых отчислений в бюджет страны, что создает интерес государственной власти к разработке мер поддержки цифровизации предприятий.

Согласно программе развития угольной промышленности России до 2035 года¹ в приоритетные направления цифровизации горнодобывающих предприятий в том числе входят: применение лазерного сканирования с борта БВС; 3D-моделирование геологической среды; создание среды для интерактивного проектирования скважин; геoinформационные технологии и др. Данные технологии применяются для решения различных задач угольной промышленности: составление, актуализация планов горных работ, подсчет объемов угольных складов, взорванной

¹ Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года» от 13.06.2020 № 1582-р // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – с изм. и допол. в ред. от 13.10.2022.

горной массы и пр. Широкое применение, в частности, находит технология создания цифровой модели месторождения, с помощью которой осуществляются стратегическое планирование работы на производстве и прогнозирование перспективы разработки месторождения [13, 14].

Цифровые трехмерные модели представляют собой высокоточную копию исследуемого объекта, созданную с применением специального оборудования и программного обеспечения. Модели имеют геодезическую привязку точек к местности и содержат различную атрибутивную информацию, в которую могут быть включены все геолого-маркшейдерские данные, что позволяет использовать их в решении инженерно-технических задач: осуществлять измерение параметров месторождения, планировать ход проведения работ, анализировать результаты деятельности, составлять топографические планы и т.д. Наиболее точным методом построения трехмерной модели является применение данных лазерного сканирования. Технологии лазерного сканирования позволяют создавать геолого-структурные модели месторождений с полной инфраструктурой горных выработок по горизонтам и очистным блокам с привязкой к геодезическим координатам по GPS-приемникам, реперам и меткам [15]. В работе [16] отмечаются такие преимущества трехмерного моделирования горного участка, как «обработка значительных объемов информации» и «наглядность, позволяющая оценить особенности строения геологической среды, форму горных выработок и их пространственное положение». Помимо этого, использование метода лазерного сканирования и аэрофотосъемки при создании 3D-модели горного участка создает возможности для определения сейсмических событий, тектонических нарушений, развития трещин и разломов на участках месторождений [15].

Однако, несмотря на массовое распространение использования БВС в современных условиях, в угольной промышленности можно выделить ряд критических аспектов как в части применения БВС, так и в случаях, когда БВС не используется, которые заслуживают внимания и рассмотрения.

Первый связан с тем, что классические вычислительные мощности, представленные обычными компьютерами, оказываются непригодными для обработки и анализа огромных объемов данных, собранных с БВС. Этот фактор существенно затрудняет процесс фотограмметрии, который становится долгим и неэффективным.

Вторым аспектом является необходимость интеграции различных программных и САД-систем, используемых на разных этапах процесса оценки объемов угольных складов. Отсутствие согласования между этими системами может привести к ошибкам, задержкам и неэффективности в общем процессе.

Третьим аспектом проблемы является коммуникационная сложность между участниками процесса, начиная с облета месторождения и заканчивая геодезией и маркшейдерией. Неэффективное взаимодействие между этими профессиональными группами может привести к потерям данных и недостаточной точности в оценках.

Четвертый аспект касается сложности отслеживания изменений в объемах добычи от месяца к месяцу. При руч-

Формирование плана горных работ (6-8 рабочих дней)



Рис. 1. Бизнес-процесс получения плана горных работ угольного предприятия

Fig. 1. A business process to prepare a mining plan for a coal mining company

ной обработке подобные задачи решаются с высоким уровнем погрешности. Регулярное накопление данных позволяет строить динамические модели, отслеживая динамику и прогнозируя потенциальное изменение геометрии уступов. При этом остается актуальной проблема структурирования разнородных сведений и способа хранения цифровых моделей с большим объемом накопленных ретроспективных данных.

Пятой, возможно, наиболее заметной проблемой является длительное время, требуемое для проведения расчетов запасов на угольных предприятиях в рамках ежемесячных отчетов. Традиционные методы, основанные на ручных измерениях и анализе, могут потребовать нескольких недель для завершения процесса, что ограничивает возможность оперативных решений и оптимизации добычи. Данный аспект проблемы является агрегирующим для всех указанных выше проблем, в связи с чем видится рациональным использовать его в качестве критерия достижения цели по решению поставленного набора проблем.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для нивелирования влияния указанных аспектов был построен последовательный бизнес-процесс, описывающий жизненный цикл работы по получению плана горных работ от получения снимков до создания результирующих файлов (рис. 1).

Чтобы решить проблему коммуникационной сложности между разными этапами и участниками процесса оценки объемов на угольном предприятии, можно применить следующие потенциальные решения:

- интеграция программных решений. Разработка и внедрение единой программной экосистемы, которая объединяет различные этапы оценки, могут существенно упростить взаимодействие между участниками. Такие системы могут обеспечивать обмен данными и автоматическую синхронизацию между фотограмметрией, геодезией и другими процессами;

- усовершенствование процессов и стандартизация. Разработка четких стандартов и процедур для выполнения задач на разных этапах оценки объемов угольной породы может упростить взаимодействие и уменьшить возможные ошибки;

- использование совместных платформ. На данный момент облачные сервисы используют 23,4% организаций сферы добычи полезных ископаемых². Внедрение облачных платформ и совместных инструментов для обмена информацией и данных между участниками процесса может значительно улучшить коммуникацию и совместную работу;

- построение четкой системы отчетности и обратной связи. Установление механизмов отчетности и обратной связи между участниками процесса

и управляющими органами позволит выявлять проблемы и несоответствия на ранних стадиях и оперативно вносить коррективы;

- использование средств виртуальной коммуникации. Виртуальные средства коммуникации, такие как видеоконференции и облачные сервисы обмена сообщениями, могут облегчить общение между участниками, особенно если они работают на удаленных месторождениях;

- обучение и обмен знаниями по реализации пунктов, указанных выше. Обучение и обмен знаниями между специалистами на разных этапах процесса могут улучшить понимание требований и методологий каждого этапа. Это поможет снизить конфликты и повысить эффективность коммуникации.

Успешное решение проблемы коммуникационной сложности требует комплексного подхода, включая технологические, организационные и обучающие меры. Правильно настроенная коммуникация между разными этапами и участниками процесса способствует повышению эффективности, снижению рисков и повышению точности расчета необходимых параметров.

Измененный бизнес-процесс, предлагаемый для внедрения после реинжиниринга, изображен на рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Указанный бизнес-процесс был реализован на одном из предприятий угольной промышленности Кемеровской области – Кузбасса.

В результате проведения аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования с беспилотного воздушного судна Геоскан 201 были получены цифровые геопространственные материалы, которые по точности превосходят материалы, получаемые специалистами предприятия: точность, была повышена с 5 м до всего 2 см на наи-

² Цифровая экономика: 2024: краткий статистический сборник / В.Л. Абашкин, Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневецкий, Л.М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. 124 с. 500 экз. ISBN 978-5-7598-3011-5 (в обл.).

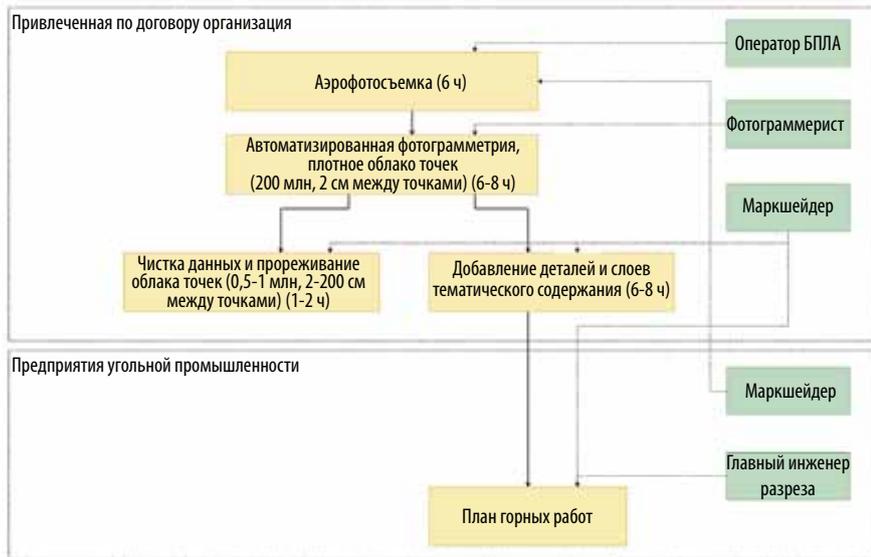


Рис. 2. Модифицированный бизнес-процесс получения плана горных работ угольного предприятия

Fig. 2. A modified business process to prepare a mining plan for a coal mining company

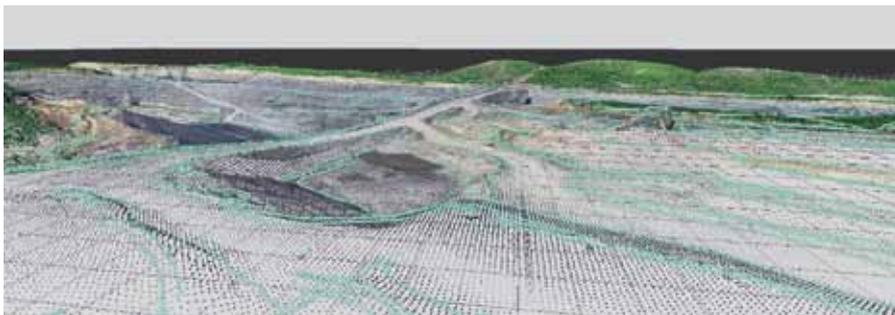


Рис. 3. Адаптивное разреженное облако точек участка открытых горных работ

Fig. 3. An adaptive sparse point cloud of an area of the surface mining operations

более рельефных участках. Применение адаптивного прореживания данных при фотограмметрической обработке также сыграло ключевую роль в улучшении процесса: позволило повысить скорость проведения дальнейшей работы с моделью, снять ограничения по объему файла, повысить скорость работы с ним на вычислительных мощностях заказчика.

Внедрение современных технологий и оптимизация процесса получения картографических данных привели к существенным улучшениям, сокращая время выполнения задач на треть, сохраняя при этом точность модели, достаточную для проведения измерений (рис. 3).

Другая практика применения 3D-модели в угольной промышленности – оценка параметров развала взрывной горной массы на основе лидарных данных – была отработана на другом угольном разрезе Кемеровской области – Кузбасса совместно с индустриальным партнером – ООО «ВЗРЫВ ГРУПП».

БВС может использоваться для сбора 2D-изображений откоса уступа с целью построения 3D-моделей и выполнения структурного картирования массива. Полученные дан-

ные позволяют точно измерить ориентацию и длину трещин. Кроме того, использование БВС позволяет охватить большую исследуемую территорию, которая во многих случаях – например, откос уступа – либо слишком опасна, либо вообще недоступна для ручного картирования.

Оцифровку откосов уступов предполагается проводить фотограмметрическим методом [17, 18] с помощью БВС. Эта операция важна из-за последующего позиционирования траекторий скважины, анализа трещин и блочной структуры исследуемого участка для каждой отдельной скважины и сравнения их с доступной геологической информацией.

Фотограмметрия включает в себя ряд этапов обработки, позволяющих построить плотное облако точек поверхности откоса уступа [19, 20]. Эта информация является ключевой при анализе геоструктурных типов на откосе взрывающего массива, установлении направления и плотности распределения трещин по траектории пересечения скважин.

На основе 3D-моделей представляется возможным выделить структурные зоны массива по блочности и трещиноватости [21]. Также по 3D-модели могут быть выделены геологические разновидности пород, зоны монолитных, крупноблочных и мелкоблочных пород, а также направление главных систем трещин. При необходимости картирование откосов предполагает-

ся выполнить с использованием трехмерных облаков точек в специализированном программном обеспечении (ПО) [22]. При анализе откосов предлагается фиксировать информацию о падении и простирании трещин, направлении и длине основных систем трещин. [23]. Дополнительно 3D модель, построенную на основании лидарных и фотограмметрических данных, можно использовать для предварительной оценки качества взорванной горной массы, в том числе определения негабаритных кусков породы после взрывных работ.

Создание цифровых геопространственных материалов на угольном разрезе проводилось в три этапа. Первый этап заключался в подготовке плано-высотного обоснования, что предполагало получение сведений об опорной точке маркшейдерской сети, параметрах условной системы координат и высот угольного разреза, проведение геодезических измерений, обработку полученных данных и контроль их точности. На втором этапе проводились аэрофотосъемка и воздушное лазерное сканирование выемочных блоков буровзрывных работ угольного месторождения. Съемка производилась до взрыв-

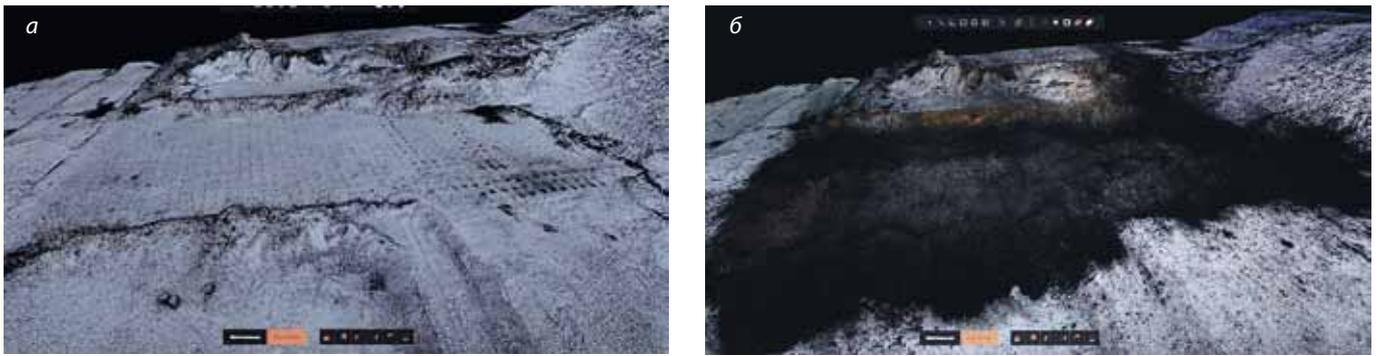


Рис. 4. 3D-модели участка буровзрывных работ «До» и «После» взрыва

Fig. 4. 3D models of a drill-and-blast site before and after blasting

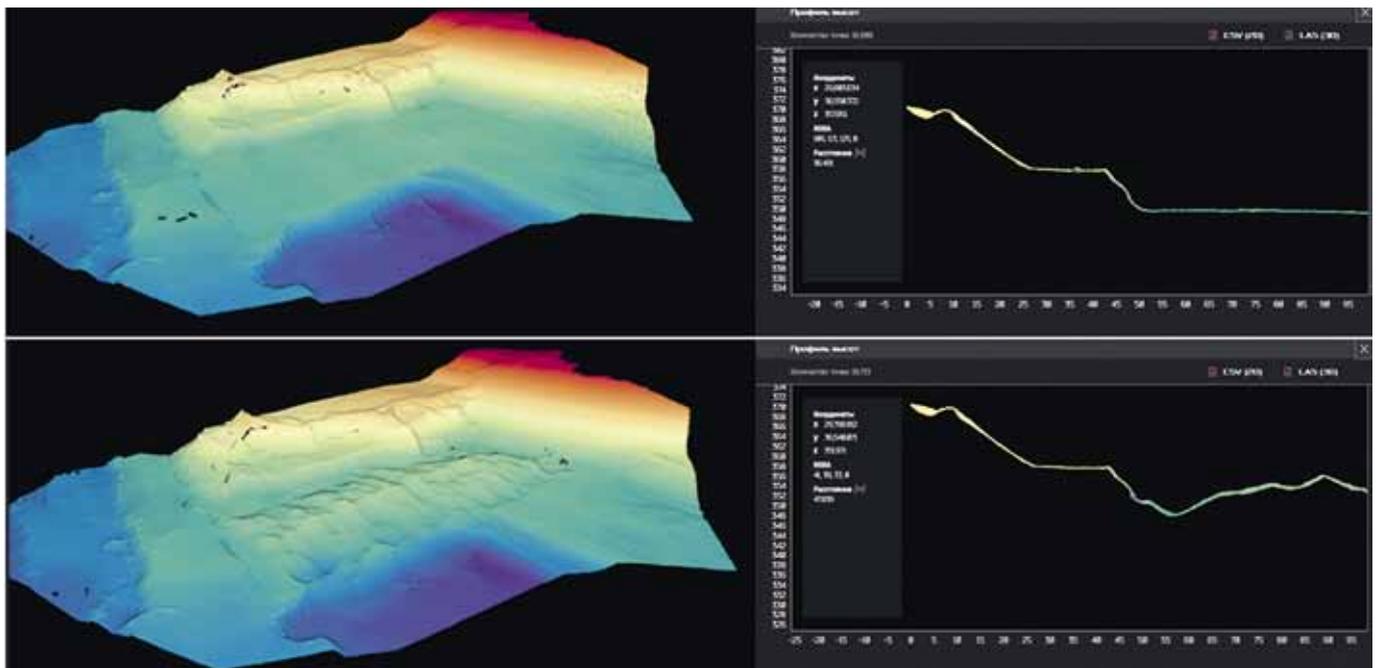


Рис. 5. Оценка профиля высот участка до и после взрыва

Fig. 5. Assessment of the elevation profile of the site before and after blasting

ных работ (на этапе подготовительных работ) и после проведения взрыва. Содержанием третьего этапа работ являлась камеральная обработка, включающая расчет координат и высот центров проекции полученных аэрофотоснимков и траектории полета воздушного лазерного сканера, а также обработку полученных данных аэрофотосъемки, воздушного лазерного сканирования и контроль точности созданных геопространственных материалов.

Цифровые геопространственные материалы формировались из цифровых аэрофотоснимков, при этом задачей являлось создание цельного изображения местности без видимых швов и порезов. В содержание процесса построения цифровых геопространственных материалов вошли следующие этапы работ:

- ортотрансформирование аэрофотоснимков с использованием параметров внешнего ориентирования; автоматическое отождествление снимков и построение разреженной точечной цифровой модели местности;

- контроль положения и построения разреженной точечной цифровой модели местности по контрольным опознавательным знакам;

- построение плотной точечной цифровой модели местности; автоматическое построение цифровой модели местности; построение цифрового ортофотоплана с корректировкой линий реза для обеспечения лучшей дешифровки характерных контуров местности.

Контроль выравнивания аэрофотоснимков по полученным центрам проекций аэрофотоснимков также проводился программными методами: контроль планово-высотных положений контрольных опознавательных знаков, полученных в результате фотограмметрической обработки, выполнялся по разности координат и высот опознавательных знаков на ортотрансформированных фото-снимках и их значений, полученных в результате обработки спутниковых геодезических измерений.

В результате цифровые геопространственные материалы, полученные путем камеральной обработки данных

аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования участка буровзрывных работ до и после проведения буровзрывных работ (рис. 4), были интегрированы в веб-приложение «Система управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу», разработанное в рамках проекта «Геоинформационная система цифрового регионального управления» комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс».

Функционал веб-приложения позволяет выполнять измерения на 3D-модели участка взрыва, определять координаты точек и геометрические размеры выемочного блока, строить профиль высот. На рис. 5 представлены графики профиля высот участков до и после взрыва.

Метод определения параметров на основе воздушно-лазерного сканирования имеет высокую точность данных, сопоставимую с наземной маркшейдерской съемкой, а 3D-модели, построенные с использованием воздушно-лазерного сканирования, по точности и детальности превосходят модели, получаемые стандартными методами построения графических элементов, используемыми специалистами предприятий в настоящее время. Трехмерная цифровая модель блока, построенная по результатам лазерного сканирования и аэрофотосъемки, может служить вспомогательным инструментом для проведения научно-исследовательских работ с получением достоверных репрезентативных данных, проведения различных измерений, верификации (сравнения) планируемых и фактически полученных результатов, для высокоточного позиционирования бурового станка на местности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Был выявлен ряд факторов, определяющих траекторию развития угольной промышленности в современных условиях, в частности: тенденция роста; изменение пропорции и структура экспорта угольного ресурса; увеличение величины издержек, возрастание значимости экологизации отрасли и роли внешних факторов.

2. На основе рассмотренных тенденций обоснована необходимость активного поиска решений, обеспечивающих снижение издержек. Одним из таких решений может являться применение цифровых технологий на предприятиях отрасли.

3. Разработаны рекомендации по внедрению потенциальных решений проблемы коммуникационной сложности между участниками процесса, включающие обмен данными между системами, разработку четких стандартов и регламентирование процедур выполнения работ, внедрение облачных сервисов и средств виртуальной коммуникации, обучение участников бизнес-процесса.

4. На основе предложенных потенциальных решений модифицирована схема бизнес-процесса по получению плана горных работ угольного предприятия посредством аэрофотосъемки и лазерного сканирования с БВС, данная схема апробирована в условиях реально-го предприятия.

5. Показан весь комплекс работ создания цифровой трехмерной модели участка месторождения до и после

взрыва, используемой в том числе для определения параметров развала взорванной горной массы после взрыва.

6. Определена эффективность функционала веб-приложения «Система управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу» для применения в угледобывающей промышленности, в частности для задач научно-исследовательских работ, планирования горных работ, оценки параметров развала ВГМ после взрыва.

Список литературы • Reference

1. Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год // Уголь. 2024. № 9. С. 18-29. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-18-29. Meshkov G.B., Petrenko I.E., Gubanov D.A. Russia's coal industry performance for 2023. *Ugol'*. 2024;(3):18-29. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.
2. Разрезанный Кузбасс: что и сколько осталось российскому уголю. URL: <https://dzen.ru/a/ZFVL4fcxVzUSaqSE> (дата обращения: 15.09.2024). Cut Kuzbass: what and how much is left for Russian coal. Available at: <https://dzen.ru/a/ZFVL4fcxVzUSaqSE> (accessed 15.09.2024). (In Russ.).
3. Щербаклова Л.Н., Евдокимова Е.К., Федулова Е.А. Возможности «незеленой» декарбонизации в энергетических отраслях // Уголь. 2023. № 4. С. 79-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-79-83. Shcherbakova L.N., Evdokimova E.K., Fedulova E.A. Possibilities for "nongreen" decarbonisation in the energy sectors. *Ugol'*. 2023; (4): 79-83. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-79-83.
4. Lebot B., Weiland M. Policies and Programs Critical for Greater Energy Efficiency. *Economic policy*. 2020;15(2):148-167.
5. Cornelis M. Energy Efficiency, the Overlooked Climate Emergency Solution. *Economic policy*. 2020;15(2):48-68. <https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-2-48-67>.
6. Storey K., Halseth G., Murphy L., Markey S. Digitalization and changing value propositions for mining regions: Options for action. *Resources Policy*. 2024;(91):104861. DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.104861.
7. Barnewold L., Lottermoser B.G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):747-757. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.003.
8. Storey K. From FIFO to LIFO: The place effects of digitalization in the mining sector. *The Extractive Industries and Society*. 2023;(13):101206. DOI: 10.1016/j.exis.2022.101206.
9. Chien L.V., Thang N.D., Trung Ph.K., Nga N. The Impact of Digital Leadership on Organizational Performance: A Study in Vietnam's coal Mining Companies. *Inżynieria Mineralna. Journal of the Polish Mineral Engineering Society*. 2023;(1). DOI: 10.29227/IM-2023-02-20.
10. Onifade M., Adebisi J.A., Shivute A.P., Genc B. Challenges and applications of digital technology in the mineral industry. *Resources Policy*. 2023;85(B):103978. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.103978.
11. Chen Y., Wang Yu., Zhao Ch. From riches to digitalization: The role of AMC in overcoming challenges of digital transformation in resource-rich regions. *Technological Forecasting and Social Change*. 2024;(200):123153. DOI: 10.1016/j.techfore.2023.123153.
12. Hazrathosseini A., Afrapoli A.M. The advent of digital twins in surface mining: Its time has finally arrived. *Resources Policy*. 2023;(80):103155. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.103155.

13. Астафьева Т. Цифровизация и искусственный интеллект – повышение эффективности и безопасности. [Электронный ресурс] // Деловой журнал недропользователя «Глобус». 2021. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/informacionnye-tehnologii/czifrovizaciya-i-iskusstvennyj-intellekt-povyshenie-effektivnosti-i-bezopasnosti-13683/> (дата обращения: 15.09.2024).
Astafyeva T. Digitalization and artificial intelligence – improving efficiency and security. [Electronic resource]. *Delovoj zhurnal nedropol'zovatelya «Globus»*. 2021. Available at: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/informacionnye-tehnologii/czifrovizaciya-i-iskusstvennyj-intellekt-povyshenie-effektivnosti-i-bezopasnosti-13683/> (accessed 15.09.2024). (In Russ.).
14. Восточная горнорудная компания: создать единое геоинформационное пространство. [Электронный ресурс] // Деловой журнал недропользователя «Глобус». 2020. URL: <https://www.vnedra.ru/glavnaya-tema/vostochnaya-gornorudnaya-kompaniya-sozdat-edinoe-geoinformacionnoe-prostranstvo-10047/> (дата обращения: 15.09.2024).
The Eastern Mining Company: to create a single geographic information space. [Electronic resource]. *Delovoj zhurnal nedropol'zovatelya «Globus»*. 2020. Available at: <https://www.vnedra.ru/glavnaya-tema/vostochnaya-gornorudnaya-kompaniya-sozdat-edinoe-geoinformacionnoe-prostranstvo-10047/> (accessed 15.09.2024). (In Russ.).
15. Юшкин В.Ф. Методы трехмерного моделирования породных массивов при исследованиях геомеханических свойств и ведении горных работ. [Электронный ресурс] // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-trehmernogo-modelirovaniya-porodnyh-massivov-pri-issledovaniyah-geomexanicheskikh-svoystv-i-vedenii-gornyh-rabot> (дата обращения: 15.09.2024).
Yushkin V.F. Methods of three-dimensional modeling of rock massifs in the study of geomechanical properties and mining operations. [Electronic resource]. *Interekspo Geo-Sibir*. 2015;(3). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-trehmernogo-modelirovaniya-porodnyh-massivov-pri-issledovaniyah-geomexanicheskikh-svoystv-i-vedenii-gornyh-rabot> (accessed 15.09.2024). (In Russ.).
16. Марченко Е.Г., Богаченко А.И. АО «Салек»: опыт планирования горных работ с применением 3D-моделирования // Уголь. 2018. № 8. С. 47-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-8-47-49.
Marchenko E.G., Bogachenko A.I. "Salek", JSC: 3D simulation in mining planning. *Ugol*. 2018;(8):47-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-8-47-49.
17. Kong D., Saroglou C., Wu F., Sha P., Li B. Development and application of UAVSfM photogrammetry for quantitative characterization of rock mass discontinuities. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021;(141):104729. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104729.
18. Buyer A., Aichinger S., Schubert W. Applying photogrammetry and semi-automated joint mapping for rock mass characterization. *Engineering Geology*. 2020;(264):105332. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105332.
19. Moomivand H., Seadati S., Allahverdizadeh H. A new approach to improve the assessment of rock mass discontinuity spacing using image analysis technique. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021;(143):104760. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104760.
20. Singh B.K., Mondal D., Shahid M., Saxena A., Roy P.N.S. Application of digital image analysis for monitoring the behavior of factors that control the rock fragmentation in opencast bench blasting: a case study conducted over four opencast coal mines of the Talcher Coalfields, India. *Journal of Sustainable Mining*. 2019;18(4):247-256. DOI: 10.1016/j.jsm.2019.08.003.
21. Kong D., Wu F., Saroglou C. Automatic identification and characterization of discontinuities in rock masses from 3D point clouds. *Engineering Geology*. 2020;(265):105442. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105442.
22. Adjiski V., Panov Z., Popovski R., Stefanovska R. Application of photogrammetry for determination of volumetric joint count as a measure for improved rock quality designation (RQD) index. *Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials Journal (SEPRM)*. 2021;2(1):12-20. DOI: 10.5281/zenodo.5594940.
23. Moomivand H., Seadati S., Allahverdizadeh H. A new approach to improve the assessment of rock mass discontinuity spacing using image analysis technique. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021;(143):104760. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104760.

Authors Information

Peters K.I. – Deputy Director for Prospective Development of Drilling and Blasting Technologies, "Vzryv Group" LLC, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: k.peters@vgroup.one

Shcherbakova L.N. – Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Economic Theory and Public Administration of Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ludmilashc@yandex.ru

Fedulova E.A. – Doctor of Economic Sciences, Head of the Department of Economic Theory and Public Administration of Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: fedulovaea@mail.ru

Kuznetsov A.D. – Director of the Center for Geodesy, Aerial Survey and Cadastral Works of Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: adkuz@inbox.ru

Burmin L.N. – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Digital Technologies of Institute of Digit of Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: Lnburmin@mail.ru.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.08.2024

Поступила после рецензирования: 16.09.2024

Принята к публикации: 26.09.2024

Paper info

Received August 26, 2024

Reviewed September 16, 2024

Accepted September 26, 2024