Оригинальная статья

Original Paper

УДК 004.42 © К.И. Петерс✉[1], М.Д. Калашникова[2], 2025

[1] ООО ВЗРЫВ ГРУПП», 650054, г. Кемерово, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет, 650000, г. Кемерово, Россия
✉ e–mail: k.peters@vgroup.one

UDC 004.42 © K.I. Peters✉[1], M.D. Kalashnikova[2], 2025

[1] VZRYV GRUPP LLC, Kemerovo, 650054, Russian Federation
[2] Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e–mail: k.peters@vgroup.one

Практика внедрения программного обеспечения проектирования БВР на горнодобывающем предприятии*

The practice of implementing DBO design software in a mining enterprise

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-132-137

ПЕТЕРС К.И.
Заместитель директора по перспективному развитию технологий БВР ООО ВЗРЫВ ГРУПП», 650054, г. Кемерово, Россия, e–mail: k.peters@vgroup.one

КАЛАШНИКОВА М.Д.
Аналитик отдела сопровождения проектов Центра геодезии, аэросъемки и кадастровых работ Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: m.syrova@i-digit.ru

Статья посвящена опыту внедрения программного обеспечения для цифрового проектирования буровзрывных работ в 3D-формате на горнодобывающем предприятии. Проектирование БВР является трудоемким процессом, ошибки в котором ведут к значительным финансовым потерям и повышенным рискам для безопасности производства. В работе описаны этапы внедрения, рассмотрены проблемы ввода ПО в эксплуатацию на производстве, проанализированы ключевые показатели оптимизации буровзрывных работ при использовании разработанного программного обеспечения. Система обеспечивает автоматизированное выполнение проектных задач: подготовку проектов размещения скважин, контроль допусков, формирование файлов для интеграции с буровыми станками. Внедрение системы позволило сократить время проектирования, повысить точность и качество бурения и уменьшить влияние человеческого фактора. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность цифровизации проектирования БВР и перспективы ее расширения для повышения производственной безопасности и экономической эффективности.

Ключевые слова: *цифровое проектирование бурения, БВР, внедрение программного обеспечения, сетка скважин, интеграция данных, конвертация файлов, телеметрия бурения.*

Для цитирования: Петерс К.И., Калашникова М.Д. Практика внедрения программного обеспечения проектирования БВР на горнодобывающем предприятии // Уголь. 2025;(12):132-137. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-132-137.

** Исследование выполнено в рамках мероприятия «Геоинформационная система цифрового регионального управления» 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. Правообладатель веб-приложения для цифрового проектирования буровзрывных работ – ООО «ВЗРЫВ ГРУПП».*

Abstract

The article is devoted to the experience of implementing software for digital design of drilling and blasting operations (DBO) in 3D format at a mining enterprise. DBO design is a laborious process, errors in which lead to significant financial losses and increased risks to production safety. The paper describes the stages of implementation, examines the problems of software commissioning in production, analyzes key indicators for optimizing drilling and blasting operations using the developed software. The system provides automated execution of design tasks: preparation of well placement projects, control of tolerances, formation of files for integration with drilling rigs. The implementation of the system has reduced design time, improved drilling accuracy and quality, and reduced the impact of the human factor. The results obtained demonstrate the high efficiency of digitalization of BVR design and the prospects for its expansion to improve industrial safety and economic efficiency.

Keywords

Digital drilling design, DBO, software implementation, well grid, data integration, file conversion, drilling telemetry.

Acknowledgements

The research was carried out within the framework of the event "Geoinformation system of digital regional management" 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 while consistently reducing the environmental impact and risks to 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., Kalashnikova M.D. The Practice of implementing DBO design software in a mining enterprise. *Ugol'*. 2025;(12):132-137. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-132-137.

ВВЕДЕНИЕ

Буровзрывные работы (БВР) являются ключевым звеном технологической цепочки на горнодобывающих предприятиях и во многом определяют эффективность последующих процессов добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых [1]. Одним из наиболее ответственных этапов подготовки к взрывным работам является проектирование сетки скважин. Данный процесс включает определение их пространственного положения, глубины, диаметра, угла наклона, схемы бурения, а также расчет параметров заряжания. Основная цель проектирования – обеспечение требуемой степени дробления массива, минимизация потерь и разубоживания, снижение негативного воздействия взрыва на окружающую среду, поддержание устойчивости бортов карьера и соблюдение норм промышленной безопасности.

Процесс проектирования, как правило, занимает от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от масштабов взрывных работ, сложности геологического строения массива и применяемых методов расчета. При традиционном подходе проектирование нередко выполняется вручную или с использованием ограниченного функционала отдельных программных инструментов, что увеличивает вероятность допущения ошибок. Среди наиболее распространенных ошибок можно выделить: неправильный выбор шага сетки бурения, недостаточный учет геомеханических характеристик массива, неверное определение коэффициентов заполнения скважин взрывчатым веществом, игнорирование сейсмических ограничений и особенностей рельефа. Эти погрешности могут приводить к существенным негативным последствиям. В работах [2, 3, 4] указаны такие отрицательные результаты как большое количество негабаритных кусков, перерасход взрывчатых материалов, разубоживание, возникновение трещин, а в критических случаях – разрушение откосов, повреждение инфраструктуры предприятия или возникновение аварийных ситуаций.

Современные горнодобывающие предприятия масштабируют цифровые технологии планирования и мониторинга, стремясь повысить эффективность буровых работ и снизить издержки. С этой целью разрабатываются и внедряются специализированные программные комплексы, позволяющие автоматизировать расчеты, моделировать взрывы, прогнозировать фрагментацию пород и контролировать качество выполненных буровзрывных работ. К таким программам относятся зарубежные решения, в числе которых узкоспециализированное ПО BlastMaker, MineExcellence, DRIFT Software, JKSimBlast, Maptek и др. [5]. Среди отечественных разработок выделяют программные продукты, являющиеся как горно-геологическими системами, в состав функций которых входит планирование БВР, например MineFrame (Горный институт Кольского научного центра РАН в партнерстве с компанией Кредо-Диалог) и Геомикс (ОАО ВИОГЕМ) [6], так и решениями для отдельных задач проектирования БВР, например программно-аппаратный комплекс для мониторинга горного массива «САКСМ» [7].

Цифровизация позволяет существенно сократить временные затраты на разработку проекта бурения, повысить точность расчетов и снизить риск человеческого фактора. Однако в существующей практике остается нерешенной проблема разрозненности используемого программного обеспечения. Различные этапы БВР – от проектирования до заряжания, взрывания и последующего анализа результатов – нередко выполняются в разных программных средах, которые не имеют сквозной интеграции. Это приводит к большому количеству разобщенных данных, необходимости их повторного ввода или ручного переноса в используемое ПО, несоответствию параметров между этапами и, как следствие, к снижению общей эффективности производственного цикла. Так, например, исследователи [8, 9] считают, что анализ данных бурения является важным аспектом будущего проектирования буровых работ на участке, позволяет заменить трудоемкие полевые и лабораторные исследования, обеспечивая инженеров точной и актуальной информацией о свойствах пород для каждой скважины, что повышает надежность проекта и дает возможность оптимизировать заряд и схему взрыва на основе фактических данных. Это обусловливает необ-

ходимость обмена данными между буровым станком и ПО для проектирования.

В этой связи актуальной задачей становится разработка единой системы автоматизированного проектирования (САПР) буровзрывных работ, обеспечивающей комплексный подход к управлению этапами – от расчета параметров скважин до анализа фактических данных взрыва. Интегрированная САПР позволит устранить дублирование функций, повысить точность и оперативность проектирования, снизить риски ошибок и создать предпосылки для внедрения технологий цифрового двойника предприятия и моделирования горных работ.

Цель данного исследования: оценить эффективность внедрения на горнодобывающем предприятии цифрового решения, позволяющего создавать проекты бурения в кабинетном режиме на основе трехмерной цифровой модели участка.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В 2024-2025 гг. для выполнения задач по проектированию буровзрывных работ в 3D-формате осуществлялась разработка программного обеспечения «Система планирования и мониторинга буровзрывных работ» (СПМ БВР) [10]. Функционал данного программного обеспечения включает расширенные возможности инструментария создания сетки скважин и триангуляционных моделей поверхности, автоматическое формирование и выгрузку файла XML-плана расположения скважин для работ буровых машин и шаблона проекта бурения в формате DOC с указанием параметров бурения проекта и сечений. В СПМ БВР реализована возможность загрузки и визуализации дополнительных данных в различных форматах (dxf, geojson, zip, json), в том числе фактических данных бурения, полученных с бурового станка [11, 12].

На *рис. 1* представлена реализация функции формирования сетки скважин бурения. Сетка скважин может быть сформирована в автоматическом режиме с учетом свойств массива горных пород и технологических параметров либо в ручном режиме путем расстановки скважин на цифровой модели участка.

Внедрение разработанного ПО на горнодобывающем предприятии выполнялось поэтапно в течение шести месяцев и включало следующие этапы:

1. Сбор требований к программному обеспечению. В рамках данного этапа проанализированы действующие регламенты и форматы данных (цифровая модель рельефа местная система координат, проекты на бурение). Исходя из первичных данных, составлены требования к СПМ БВР: поддержка местной системы координат, экспорт в форматы, совместимые с программным обеспечением буровых станков, контроль допусков по координатам/глубине, управление версиями проектов. Внедрение потребовало согласования локальной системы координат и унификации шаблонов экспорта данных в навигационное программное обеспечение буровых станков. Для этого осуществлялись: разработка и внедрение конвертеров данных, формирование системы контрольных отчетов для проверки корректности передачи информации, совместная работа с разработчиком по устранению выявленных ошибок. По итогам данного этапа ПО приведено к указанным требованиям: актуализированы справочники и слои картографической

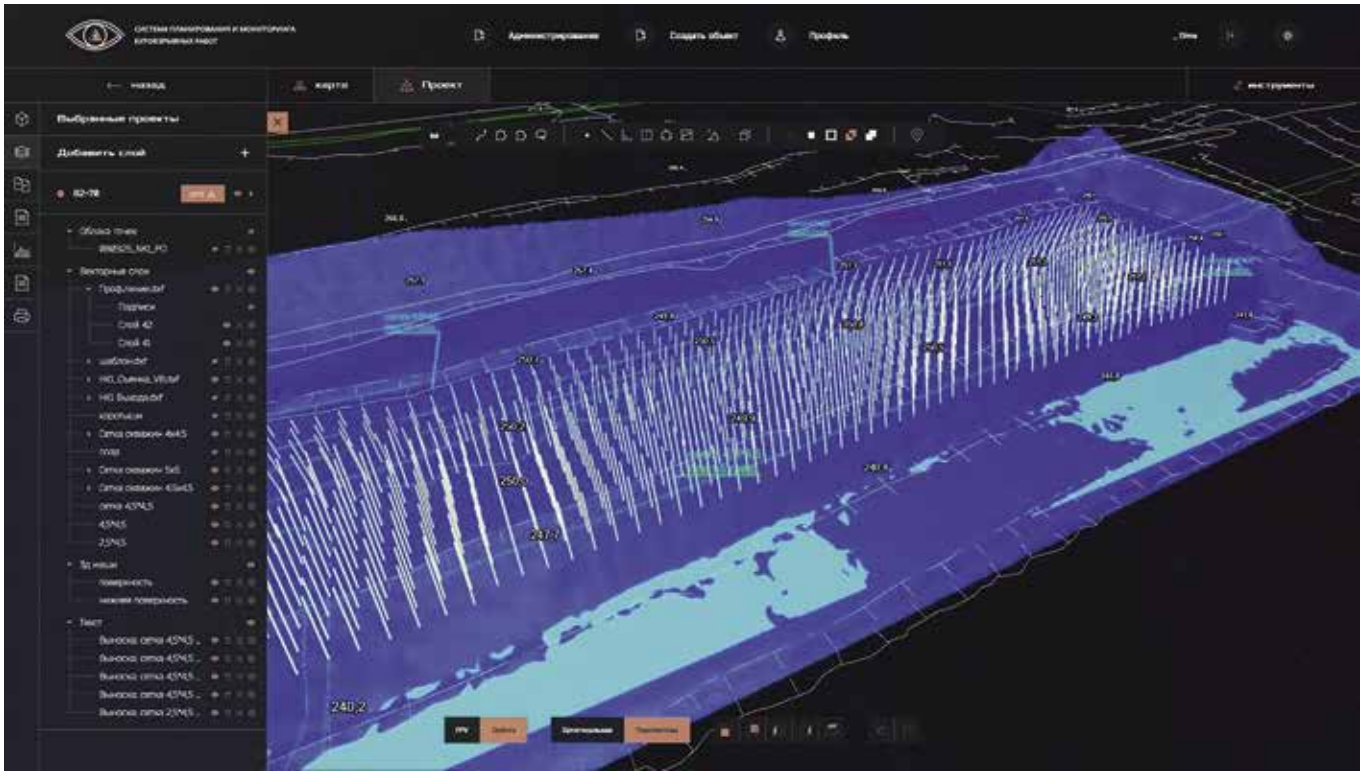

Рис. 1. Формирование сетки скважин в разработанном ПО

Fig. 1. Generating a borehole grid in the developed software suite

части системы, настроены профили экспорта/импорта под существующее навигационное ПО бурового станка (WGS-84/местная система координат, шаблоны устьев скважин и паспортов), организован двусторонний обмен информацией о проекте бурения и данных с бурового станка. Развертывание СПМ БВР на сервере заказчика не требовалось, так как разработанная система на данный момент реализована в формате SaaS-решения.

2. Обучение персонала. Для корректной работы с программным обеспечением проведено обучение двух инженеров, в задачи которых входит проектирование сетки скважин, трех маркшейдеров и шести машинистов буровых станков, осуществляющих работу с обновленными проектами бурения на штатных бортовых ПК. В процессе обучения с помощью программного обеспечения разработаны тестовые проекты на бурение, проверены корректность экспорта/импорта данных в систему, проведена калибровка системы координат, разработаны шаблоны проектов бурения.

3. Промышленная эксплуатация. По итогам обучения персонала разработанное ПО введено в промышленную эксплуатацию горнодобывающего предприятия в Кемеровской области – Кузбассе. Цифровое проектирование сетки скважин стало обязательным этапом при планировании буровзрывных работ. Сформированная сетка скважин автоматически публикуется на сервере навигации, фактические данные о параметрах бурения синхронизируются в центральной БД и доступны для анализа отклонений и плана-факта в разработанном ПО.

4. Сопровождение. Регламентированы обновления ПО, контроль версий шаблонов для экспорта проекта бурения, еженедельная актуализация цифровой модели рельефа по итогам маркшейдерской съемки. Для обеспечения устойчивой эксплуатации системы выстроена линия сопровождения, включающая: назначение администратора системы, формирование расписания обновлений и резервного копирования, обучение внутреннего ИТ-специалиста компании для оперативного решения возникающих вопросов.

Общий объем трудозатрат на реализацию проекта составил около 6 чел.-мес.

В процессе внедрения системы были выявлены комплексные барьеры организационного, технического и процессного характера.

Одним из ключевых вызовов являлось сомнение части производственного персонала в удобстве и точности внедряемого программного обеспечения, основанное на недостаточной информированности о преимуществах системы и привычкой к устоявшимся методам работы. Для нивелирования этого фактора были реализованы следующие меры: проведение демонстраций положительных результатов работы системы, отражающих ее практическую эффективность, проведение обучения специалистов с привлечением разработчиков и тестовых пользователей ПО.

Внедрение СПМ БВР сопровождалось необходимостью обновления организационно-технической документации, включая: актуализацию регламентов взаимодействия между проектировщиками, маркшейдерской службой и производственными подразделениями; введение процедур контроля версий проектной документации и формализацию процесса публикации утвержденных проектов.

Также на этапе внедрения была проведена оптимизация распределения функциональных зон ответственности. Расчеты зарядов и инициирования остались в зоне ответственности подрядных организаций, при этом обеспечена удобная передача данных о скважинах без необходимости ручной обработки.

Таким образом, применение разработанного подхода к внедрению ПО, обеспечению совместимости данных и процессной интеграции позволило минимизировать риски внедрения и обеспечить стабильное функционирование СПМ БВР. В свою очередь благодаря этому были достигнуты существенные показатели эффективности, оказывающие непосредственное влияние на оптимизацию производственных процессов: сокращение времени проектирования, повышение точности и качества работ, сокращение объема бурения до 5%, экономия взрывчатых веществ до 3%, экономия средств инициирования до 5%, создание единой базы данных проектов на буровые работы. Сравнение ключевых показателей проекта представлено в *таблице*.

Продолжительность подготовки проекта среднего блока была снижена с 3-4 ч до приблизительно 15-30 мин (сокращение до 92%) за счет использования библиотек шаблонов, автоматизированного размещения скважин, проверки допусков и реализации прямого экспорта данных в систему навигации бурового станка без необходимости промежуточного импорта в CAD-среду.

Согласование систем координат и внедрение процедур контроля допусков в СПМ БВР обеспечили сохранение и частичное улучшение ранее достигнутых показателей точности наведения: среднее плановое отклонение координат составило 0,10-0,15 м, величина перебура была снижена с 0,30 м до 0,10-0,15 м благодаря уточнению проектной глубины и использованию контрольных отчетов по фактическим данным. Пример работы с фактическими данными БВР представлен на *рис. 2*.

Ключевые KPI до и после внедрения

Key KPIs before and after implementation

Показатель	До внедрения ПО	После внедрения ПО	Достигнутые результаты
Среднее время подготовки проекта, ч	3	0,25	–92%
Ручные операции (перенос проекта в ПО бурового станка), % работ	Высокий	Низкий	Автоматизация
Среднее отклонение координат, м	0,50	0,10	В пять раз лучше
Средний перебур по глубине, м	0,30	0,10–0,15	Уменьшено в три раза
ИТР на 1 проект, чел.-дн.	1,0	0,3	–70%

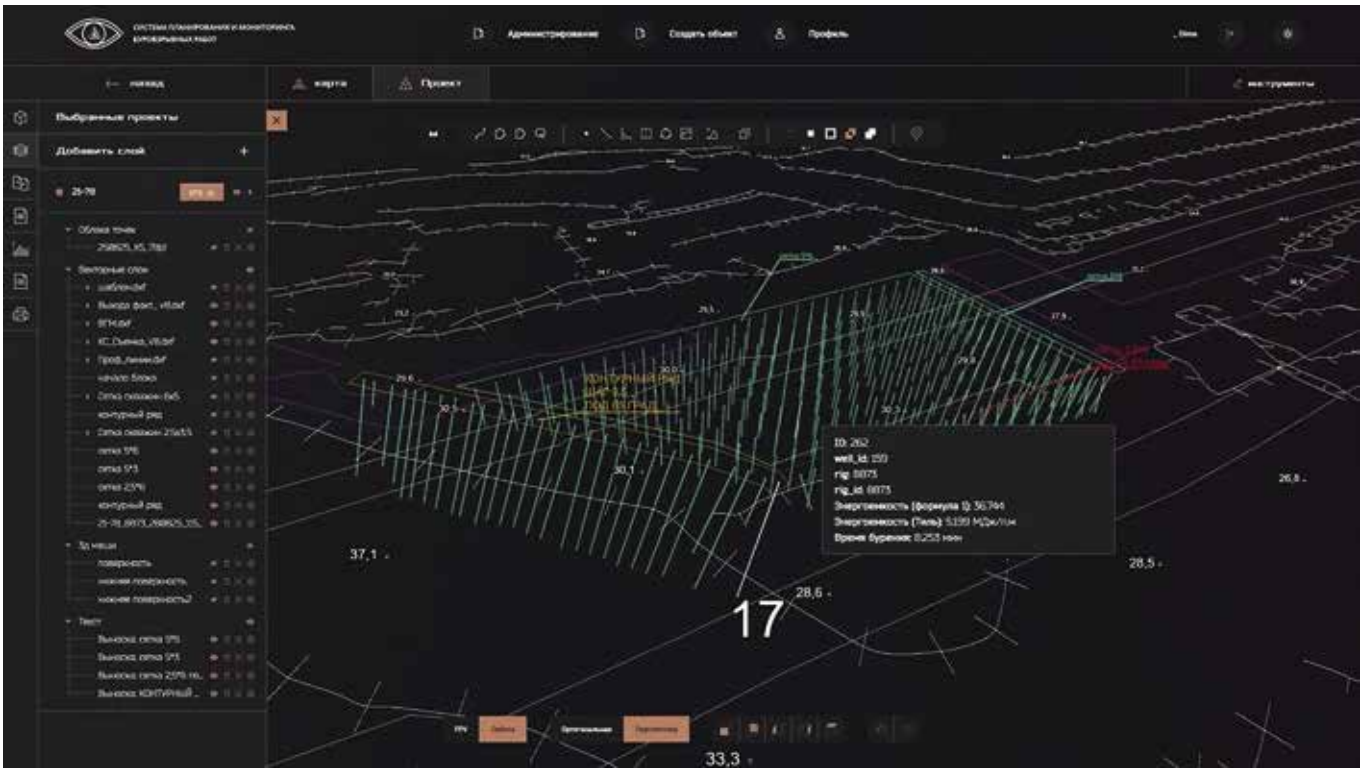

Рис. 2. Мониторинг бурения: факт глубин и времени по скважинам, формируемый из телеметрии и САПР
Fig. 2. Monitoring of drilling: actual depths and times for boreholes, generated from telemetry and the CAD system

Реализация предложенного подхода также способствовала достижению ряда качественных улучшений, не поддающихся прямой количественной оценке. К ним относятся: обеспечение прозрачности данных (сквозной учет скважин и временных показателей), повышение исполнительской дисциплины, а также минимизация влияния человеческого фактора при передаче проектного плана в систему навигации бурового станка.

Таким образом, внедрение разработанного программного обеспечения для оптимизации процесса проектирования буровзрывных работ позволило сократить время на создание плана сетки скважин, снизить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, и обеспечить более высокий уровень интеграции с производственными процессами.

Дальнейшее развитие СПМ БВР предполагает расширение функциональных возможностей, в том числе в части автоматизации маркшейдерских задач. Планируется реализация следующих функций: отображение и визуализация на 3D-модели глубин и обводненности скважин; автоматическая нумерация скважин согласно проекту на буровые работы; нанесение на схему некондиционных скважин и др. В области проектирования массового взрыва предусмотрена разработка возможностей: составление проекта массового взрыва на основе данных фактически забуренного блока, проектирование поверхностной взрывной сети для различных типов средств инициирования, моделирование срабатывания взрывной сети и т.д.

В целях повышения уровня автоматизации производственного цикла планируется развитие интеграционных возможностей системы. В частности предполагается: автоматическая интеграция данных бурения с программным обеспечением «ОНИКС», автоматический обмен данными с 1С:Предприятие для обеспечения учета и планирования работ, интеграция информации о производительности горно-выемочного оборудования с программным комплексом «АСД Карьер». Реализация указанных направлений развития системы позволит обеспечить комплексное сопровождение всего цикла буровзрывных работ, повысить прозрачность данных и управляемость производственных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование буровзрывных работ представляет собой сложный и длительный процесс, ошибки в котором могут приводить к существенным финансовым потерям и повышенным рискам для безопасности производства. В современных условиях проектирование требует перехода в цифровой формат с целью повышения точности расчетов, сокращения времени подготовки проектной документации и обеспечения прозрачности производственного цикла.

В настоящее время применяемое на большинстве предприятий программное обеспечение носит разрозненный характер, что приводит к отсутствию единого информационного контура, дублированию данных и возникновению ошибок при передаче информации между подразделениями.

Для решения данных проблем была разработана система автоматизированного проектирования СПМ БВР,

обеспечивающая выполнение полного спектра задач, включая подготовку проектов буровых блоков, автоматизированное размещение скважин, контроль допусков, формирование навигационных файлов и обмен данными с буровыми станками.

Внедрение разработанного решения обеспечило устойчивый положительный эффект. Замена разрозненных инструментов на единое ПО, интегрированное с существующей навигационной системой буровых установок, привела к сокращению цикла подготовки проектной документации, повышению производительности и качества бурения, а также снижению себестоимости работ. Реализация сквозного обмена данными позволила сократить количество ручных операций, снизить вероятность ошибок при передаче данных, повысить прозрачность и управляемость производственных процессов, а также укрепить уровень промышленной безопасности.

Следующим этапом развития системы станут подключение модуля проектирования массовых взрывов, расширение функциональных возможностей для маркшейдеров, а также интеграция с корпоративными ERP-системами.

Список литературы • References

1. Добраневская А.А., Кулагина М.А. Автоматизация буровзрывных работ на подземном руднике «Удачный» // Горный журнал Казахстана. 2023. № 6. DOI: 10.48498/minmag.2023.218.6.006.
   Dobranevskaya A.A., Kulagina M.A. Automation of drilling and blasting operations at the Udachny underground mine. *Mining Magazine of Kazakhstan*. 2023;(6). (In Russ.). DOI: 10.48498/minmag.2023.218.6.006.
2. Fattahi H., Ghaedi H., Armaghani D.J. Enhancing blasting efficiency: A smart predictive model for cost optimization and risk reduction. *Resources Policy*. 2024;(97). DOI:10.1016/j.resourpol.2024.105261.
3. Pyra J., Żołądek T. Application of UAVs to Support Blast Design for Flyrock Mitigation: A Case Study from a Basalt Quarry. *Applied Sciences*. 2025;(15). DOI: 10.3390/app15158614.
4. Pal Roy P. Emerging trends in drilling and blasting technology: concerns and commitments. *Arab J Geosci*. Vol. 2021;(14):652. DOI: 10.1007/s12517-021-06949-z.
5. Кирсанов А.К. Анализ программных продуктов для проектирования буровзрывных работ при отработке месторождений подземным способом // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2023. № 2. С. 249-259.
   Kirsanov A.K. Analysis of software products for the design of drilling and blasting operations during underground mining. *Izvestiya TulSU. Earth Sciences*. 2023;(2):249-259. (In Russ.).
6. О цифровом проектировании процессов взрывания на открытых горных работах / А.Н. Гришин, В.Л. Гаврилов, Н.А. Немова и др. // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2021. Т. 8. № 2. DOI: 10.15372/FPVGN2021080221.
   Grishin A.N., Gavrilov V.L., Nemova N.A., Reznik A.V. On digital design of blasting processes in open-pit mining. *Fundamental and applied issues of Mining Sciences*. 2021;8(2). (In Russ.). DOI: 10.15372/FPVGN2021080221.
7. Панов Ю.П., Грабский А.А., Рожков А.А. Современное состояние и перспективы развития цифровых технологий в угольной промышленности России // Proceedings of Higher Educational Establishments: Geology and Exploration. 2023. № 5. С. 8-21. DOI: 10.32454/0016-7762-2023-65-5-8-21.
   Panov Yu.P., Grabsky A.A., Rozhkov A.A. The current state and prospects of digital technologies development in the Russian coal industry. *Proceedings of Higher Educational Institutions: Geology and Exploration*. 2023;(5):8-21. (In Russ.). DOI: 10.32454/0016-7762-2023-65-5-8-21.
8. Басаргин А.А., Сальников В., Писарев В.С. Разработка методов проектирования буровзрывных работ на открытых горных выработках с применением микромайна GGIs // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. 2019. № 1(1). С. 249-258. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-249-258.
   Basargin A.A., Salnikov V., Pisarev V.S. Development of methods for designing drilling and blasting operations in open-pit mines using the GGIs micromine. *INTREKSPO GEO-SIBIR'*. 2019;1(1):249-258. (In Russ.). DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-249-258.
9. Сеги Дж.Л.Б., Хиггинс М.Р.Т. Проектирование взрывных работ с использованием параметров, измеряемых в процессе бурения // Fragblast. 2002. № 6. С. 287-299. DOI: 10.1076/FRAG.6.3.287.14052.
   Shogi J.L.B., Higgins M.R.T. Design of blasting operations using parameters measured during drilling. *Fragblast*. 2002;(6):287-299. (In Russ.). DOI: 10.1076/FRAG.6.3.287.14052.
10. Рада А.О., Петерс К.И., Кузнецов А.Д. Проектирование буровзрывных работ на основе 3D-модели выемочного блока // Уголь. 2024. № 6. С. 87-91. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-87-91.
    Rada A.O., Peters K.I., Kuznetsov A.D. Design of drilling and blasting operations based on a 3D model of a excavation block. *Ugol'*. 2024;(6):87-91. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041 5790-2024-6-87-91.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025611214 от 17.01.2025 «Система планирования и мониторинга буровзрывных работ (версия 1)».
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025665171 от 11.06.2025 «Система планирования и мониторинга буровзрывных работ (версия 2)».

Authors Information

Peters K.I. – Deputy Director for Advanced Development of Drilling and Blasting Technologies, VZRYV GRUPP LLC, 650054, Kemerovo, Russia, e-mail: k.peters@vgroup.one

Kalashnikova M.D. – Analyst of the Project Support Department of the Center of Geodesy, Aerial Surveying and Cadastral Works, Institute of Digital, Kemerovo State University, 650000, Kemerovo, Russia, e–mail: m.syrova@i-digit.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 3.10.2025
Поступила после рецензирования: 15.11.2025
Принята к публикации: 28.11.2025

Paper info

Received October 3, 2025
Reviewed November 15, 2025
Accepted November 28, 2025