

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА КОМПАНИИ «BLAST MAKER»

В этом году «Blast Maker» отмечает свой 20-летний юбилей образования компании как юридического лица. История становления научного развития исследований и практической реализации задач автоматизации проектирования буровзрывных работ берет отсчет с конца 70-х – начала 80-х годов прошлого столетия. Именно тогда на базе Фрунзенского политехнического института под руководством В.А. Коваленко был создан коллектив молодых ученых и энтузиастов, задачей которого было развитие и реализация идеи оптимального проектирования массовых взрывов на карьерах с использованием вычислительной техники.

И сейчас, самый главный актив нашей компании – это коллектив высокопрофессиональных сотрудников, которые своим неформальным отношением к делу ежедневно помогают компании идти намеченным курсом, создавать уникальные продукты, реализовывать самые амбициозные планы и уверенно занимать ведущую позицию в отрасли. В нашей компании всегда царит дух творчества, профессионализма и стремления добиваться самых перспективных и востребованных решений.

Особая благодарность всем нашим партнерам, особенно тем, кто на заре появления нашего продукта поверил в нас. Многие из них, своими пожеланиями и участием в формировании комплекса задач автоматизации, помогли стратегическому развитию наших программных продуктов.

Большое место в работе компании занимает создание собственных технических средств сбора информации и мониторинга. Задолго до эпохи импортозамещения мы создавали свои датчики, контроллеры, средства измерения, включая высокоточную навигацию. Наша цель – максимальная техническая независимость.

В интересах заказчика и для скорейшего перехода предприятий на отечественные технические и программные средства мы сотрудничаем с любыми российскими и зарубежными контрагентами, включая конкурентов. В компании оперативно создано и успешно работает специальное подразделение интеграции со сторонними системами.

Умение максимально адаптировать комплекс к индивидуальным условиям предприятия с учетом требований и пожеланий заказчика – это ключевая особенность и стиль работы нашей компании. Профессиональным кредо компании «Blast Maker» были и остаются – научный подход, высокое качество предлагаемого продукта и надежность партнерских отношений.

В заключении, от имени всего коллектива, позвольте выразить слова бесконечной благодарности создателю научного направления и основателю компании, почетному профессору, Виталию Акимовичу Коваленко, ушедшему из жизни в 2021 году.

*С уважением,
Владимир Григорьев
Генеральный директор*

Партнеры компании “Blast Maker”

На этапе промышленной эксплуатации:

- 2005 ● ОАО «Северсталь»: Карельский окатыш
- 2010 ● АО «СУЭК»: Разрез Тугнуйский, СУЭК-Кузбасс, Ургалуголь, Восточно-Бейский разрез, СУЭК-Хакасия
- 2011 ● Группа «Полиметалл»
- 2017 ● Госкомпания (КР): «Кумтор Голд Компани»
- 2014 ● Группа «АЛРОСА»: Айхальский ГОК,
2019 Нюрбинский ГОК, Удачинский ГОК
2021
- 2017 ● ПАО «Полнос»: Полнос Алдан
- 2017 ● ОАО «Холдинговая компания
2019 “Металлоинвест“»: Михайловский ГОК, Лебединский ГОК
- 2019 ● ПАО «Селигдар»: Золото Селигдара
- 2019 ● АО «Самрук - Казына»: Богатырь Комир
- 2020 ● Группа компаний – ООО «Новоангарский обогатительный комбинат», Горевский ГОК

На этапе пилотного внедрения:

- 2022 ● Eurasian Resources Group (ERG): ССТПО
- ПАО «Полнос»: Полнос Красноярск
- ПАО «Северсталь»: Карельский окатыш

Код МРНТИ 52.47.15

В.В. Григорьев¹, *М.А. Райымкулов¹, А.О. Киселев²¹Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета (г. Бишкек, Кыргызская Республика),²Общество с ограниченной ответственностью «Blast Maker» (г. Бишкек, Кыргызская Республика)

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «BLASTMAKER»: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ОБ ЭНЕРГОЕМКОСТИ БУРЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. В статье приведены примеры применения данных энергоёмкости бурения в качестве характеристики неоднородности массива при различных горно-технологических условиях. Информация, получаемая по результатам обурирования технологических скважин, позволяет уточнить пространственное залегание прочных и мягких прослоек. Программно-технический комплекс «BlastMaker» позволяет производить сбор и анализ данных о неоднородности массива. Для угольных месторождений информация об энергоёмкости бурения позволяет уточнить данные предварительной геологической разведки, отследить залегание угольных пластов. Информация о неоднородности массива может быть также использована и для решения задачи оптимизации конструкции заряда, например, с применением воздушного промежутка. При этом для каждой группы скважин может быть определена такая конструкция заряда, чтобы, например, заряд был расположен напротив прочных участков, а воздушный промежуток напротив мягкого прослойка.

Ключевые слова: энергоёмкость бурения, геологоразведка, оптимизация горных работ, проектирование буровзрывных работ, программно-технический комплекс BlastMaker.

«BlastMaker» бағдарламалық-техникалық кешені: әртүрлі тау-кен-технологиялық жағдайларында бұрғылаудың энергия сыйымдылығы туралы деректерді қолдану мүмкіндіктері

Аңдатпа. Мақалада тау және технологиялық жағдайларда сілемдердің әртекті сипаттамасы ретінде бұрғылаудың энергия сыйымдылығының деректерін қолдану мысалдары келтірілген. Технологиялық ұңғымаларды бұрғылау нәтижелері бойынша алынған ақпарат берік әрі жұмсақ қабатшалардың кеңістікте жайғасын нақтылауға мүмкіндік береді. «BlastMaker» бағдарламалық-техникалық кешені сілемнің әртектілігі туралы деректерді жинауға және талдауға мүмкіндік береді. Көмір кен орындары үшін бұрғылаудың энергия сыйымдылығы туралы ақпарат алдын ала геологиялық барлау деректерін нақтылауға, көмір қыртыстарының жайғасын қадағалауға көмектеседі. Сілемнің әртектілігі туралы ақпарат ауа аралығын қолдана отырып сияқты заряд құрылымын онтайландыру міндеттерін шешу үшін де қолданылуы мүмкін. Бұл ретте әр ұңғыма тобы үшін заряд берік учаскелеріне қарама-қарсы орналасып, ауа аралығы жұмсақ қабатшаға қарсы орналасу сияқты осындай заряд құрылымы анықталуы мүмкін.

Түйінді сөздер: бұрғылаудың энергия сыйымдылығы, геологиялық барлау, тау жұмыстарын онтайландыру, бұрғылау-жару жұмыстарын жобалау, BlastMaker бағдарламалық-техникалық кешені.

«BlastMaker» software and hardware complex: possibilities of applying the data on energy intensity of drilling in different mining and technological conditions

Abstract. The article provides examples of the application of drilling energy intensity data as a characteristic of massif heterogeneity under various mining and technological conditions. The information obtained from the results of infill drilling makes it possible to clarify the spatial occurrence of hard and soft layers. The software and hardware complex «BlastMaker» allows collection and analysis of data on the heterogeneity of the massif. For coal deposits, information about drilling energy intensity allows to clarify the data of preliminary geological exploration, to trace the occurrence of coal seams. Information about the massif heterogeneity can also be used to solve the problem of optimizing the design of the charge, for example, using an air gap. In this case, for each group of wells, a charge design can be defined so that, for example, the charge is located opposite the hard areas, and the air gap opposite the soft layer.

Key words: drilling energy intensity, exploration, optimization of mining operations, design of drilling and blasting operations, BlastMaker software and hardware complex.

Введение

Непредсказуемая неоднородность прочностных свойств горных пород остается главным фактором, осложняющим достижения оптимальных параметров буровзрывных работ (БВР) и снижения требуемого качества дробления горной массы. Геологическая разведка в общем случае не может дать достаточно точной и подробной информации о структуре массива и прочности горных пород, необходимой для поставленных задач, поскольку такой подход ограничен плотностью разведочной сети.

Возникает необходимость в применении новых методов для оперативного учета характеристик массива в границах обрабатываемого блока. Один из эффективных способов получения необходимых сведений о свойствах взрываемого массива – использование цифровых технологий для получения такого параметра, как удельная энергия бурения непосредственно с бурового станка в процессе бурения скважин [1]. Данный подход привлекателен прежде всего тем, что не нарушает существующего на карьере режима

работ и не требует затрат на проведение дополнительных геофизических работ по детализации свойств горных пород взрываемого блока.

Программно-технический комплекс (ПТК) «BlastMaker» – практическая реализация такого подхода на основе передовых технологий в микропроцессорной технике и программировании. Комплекс включает в себя информационно-аналитический программный пакет «BlastMaker» и систему «КОБУС» для обеспечения сбора и передачи данных о свойствах массива, определяемых в процессе бурения взрывных скважин. Комплекс позволяет выполнять контроль над бурением, используя данные, полученные с каждого бурового станка в режиме реального времени, изучать прочностные свойства массива горных пород и непрерывно отслеживать динамику их изменения в пределах обрабатываемого поля. Данная информация, при соответствующих условиях, может быть полезной для оптимизации параметров конструкции заряда и БВР с применением инструментов проекти-

рования, обработки данных и моделирования программного пакета «BlastMaker» [2].

На примере некоторых месторождений, где полноценно развернут комплекс «BlastMaker», рассматриваются особенности получаемых данных по удельной энергоёмкости бурения как характеристики обуриваемого массива и обсуждаются возможности применения данного параметра в задачах анализа массива и проектирования БВР.

Методы исследования

В основу работы системы «КОБУС» положена методика определения прочностных характеристик массива в виде данных удельной энергоёмкости бурения, которая зависит от таких параметров, как нагрузка на шарошечное долото (осевое давление), сечение скважины, тип шарошечного долота, скорость вращения бурового става, вращающий момент шарошечного долота, скорость проходки скважины и др. Результатом соответствующей обработки полученных данных является детализированное пространственное распределение удельной энергоёмкости бурения.

Если прочностные характеристики пород контрастно отличаются, то после накопления достаточной статистической информации появляется возможность идентифицировать породы по прочностным характеристикам, что позволяет получить такие характеристики блока, как, например, участки залегания полезного ископаемого. Вся информация, получаемая в процессе бурения по каждому блоку, автоматически архивируется в базе данных комплекса. Такой массив информации сопоставим с комплексом геофизических исследований и может быть полезным для уточнения предварительной геологической разведки [4,5].

Результаты исследований

Кумтор

Месторождение Кумтор является уникальным объектом, входящим в число крупнейших золоторудных месторождений мира. Месторождение приурочено к одноименному разлому, который прослежен на поверхности вдоль северо-западного склона хребта Акшийрак и расположено на высоте свыше 4000 м. над уровнем моря. Определяющую роль в строении месторождения играют разломы. Сложная геологическая структура, наличие тектонических нарушений приводит к оползням и обрушениям. Анализ практики эксплуатации месторождения показывает, что использование рациональных методов в процессе добычных работ на действующем предприятии – одно из решений по обеспечению качества взрыва и снижению техногенных опасностей. Такой подход усложняется тем, что при проектировании БВР в качестве физико-механических свойств среды применяются данные для преобладающей породы, и таким образом не учитывается неоднородность массива.

В результате полноценного внедрения комплекса «BlastMaker» появилась возможность регистрировать и анализировать данные о характере неоднородности массива. На рисунке 1 представлены примеры вертикальных сечений с отображением энергоёмкости бурения на руднике Кумтор на протяжении 100 и более метров. По данным картирования появилась возможность установить

характер залегания более прочных пород и произвести прогнозирование данных энергоёмкости бурения на нижележащем горизонте. Таким образом, при проектировании взрывных работ, источником информации о характере массива, наряду с данными предварительной геологической разведки, может служить информация о распределении энергоёмкости бурения в смежных блоках и блоках на вышележащих горизонтах.

Также анализ данных энергоёмкости бурения позволил выделить типичную для месторождения структуру массива на обуриваемом блоке: верхние слои массива, мощность которых варьируется в диапазоне 1-3 м., ослаблены горными работами на вышележащих горизонтах (рис. 2). Энергоёмкость бурения на ослабленных участках меньше в 2 раза, чем для остального участка массива, что позволяет достаточно быстро произвести районирование участков по прочностным характеристикам. Такая информация может быть полезна для определения оптимальных параметров конструкции заряда в скважине, например, применения воздушного промежутка в конструкции заряда, таким образом, чтобы снизить долю взрывной энергии, распространяемой в области ослабленных участков блока.

Разрез Тугнуйский

ОАО «Разрез Тугнуйский» – крупнейшее угледобывающее предприятие Забайкальского края и республики Бурятия, ведущее добычу каменного угля на Олонь-Шибирском и Никольском каменноугольных месторождениях. Мощные угольные пласты имеют сложное и очень сложное строение, в них фиксируются флексуриобразные складки, различные пликативы, относящиеся к структурам третьего порядка. Геологическая разведка не может дать достаточно полной информации, так как плотность разведочной сети составляет минимум 180м x 200 м.

Даже несмотря на высокую разведанность, при отработке месторождения встречаются неподтверждения строения пласта, мощности, зольности, наличие нарушений, не установленных разведкой [4].

Применение ПТК «BlastMaker» на месторождении предприятия «Разрез Тугнуйский» позволило получить полную привязку скважины: высотную отметку и координаты в плане, высотную отметку кровли кондиционного пласта; установить положение некондиционных пластов, расщепление пласта, выявить тенденцию в блоке, например, определить угол падения нарушения, контакты пород.

По результатам бурения на своем рабочем месте на экране монитора геологу четко виден результат разведки с абсолютной привязкой. Это значительно упрощает работу геолога, обеспечивая их актуальной информацией, без выезда на разрез. Поскольку сетка взрывных скважин составляет, например, 6 x 6 м, то появляется возможность оперировать геологическими данными достаточной степени точности. С помощью средств ПО «BlastMaker» удалось получить разрез в абсолютных отметках, на котором светло-желтым цветом показывается уголь, а крепкие скальные породы темно-коричневым цветом (рис.3). Было показано, что реальная картина геологического разреза с достаточной точностью совпадает с прогнозной, полученной по данным системы «BlastMaker».

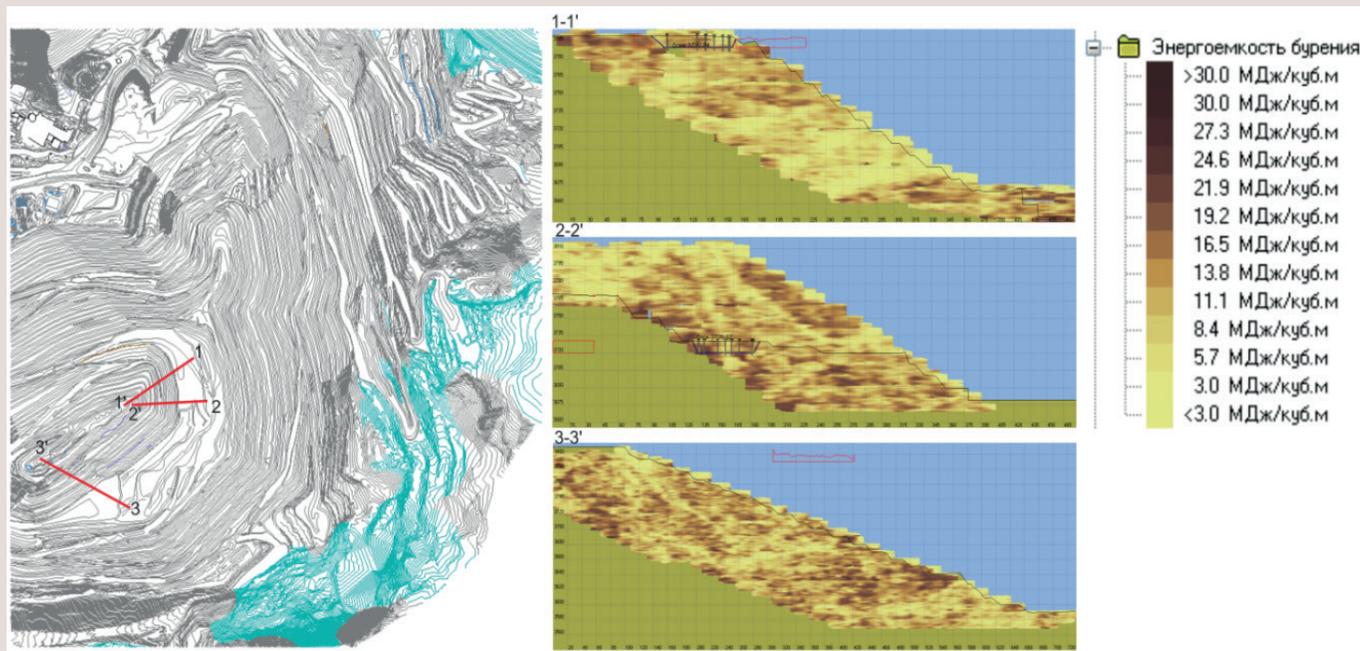


Рис. 1. Энергоемкость бурения на различных вертикальных сечениях карьера Кумтор: темные участки соответствуют более прочным породам, светлые – менее прочным.

Сурет 1. Құмтөр ашықкеніштің түрлі тік қималарындағы бұрғылаудың энергия сыйымдылығы: қара учаскелер беріктеу таужыныстарына, ашық түстілер беріктігі аздау таужыныстарына сәйкес келеді.

Figure 1. Drilling energy intensity in different vertical sections of the Kumtor open pit: dark zones correspond to harder rocks, light zones correspond to less hard rocks.

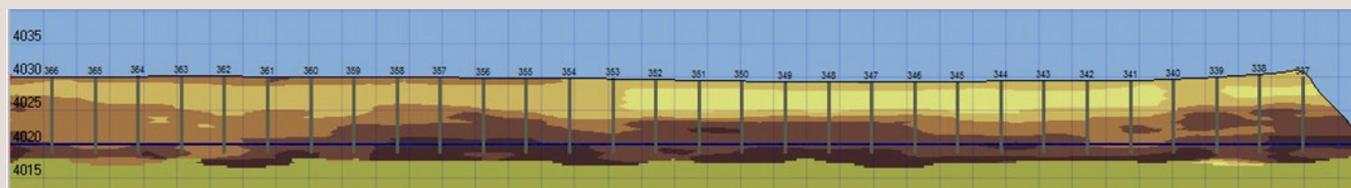


Рис. 2. Энергоемкость бурения на вертикальном сечении обуренного блока.

Светлые зоны соответствуют ослабленным участкам массива.

Сурет 2. Бұрғыланған блоктың тік қимасындағы бұрғылаудың энергия сыйымдылығы.

Ашық түсті аймақтар сілемнің әлсіз учаскелеріне сәйкес келеді.

Figure 2. Drilling energy intensity in the vertical section of a drilled block. Light zones correspond to weakened areas of the massif.

Михайловский ГОК им. А.В. Варичева

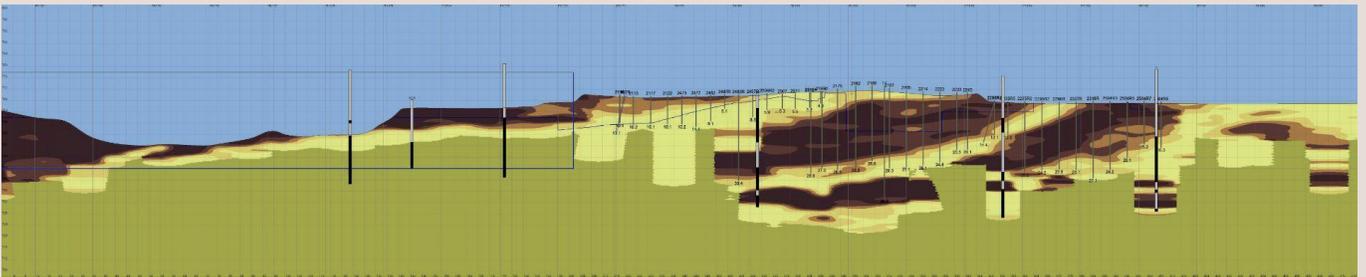
По горнотехническим условиям разработки карьер Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева (МГОК) относится к месторождению неглубокого залегания, пригодного для открытых работ. Оно приурочено к широкому полю железистых кварцитов и имеет большую ширину залегания. Железистые кварциты повсеместно залегают в основании богатых руд, что создает условия, благоприятные для одновременной разработки руд обоих типов. Богатые железные руды (50-60% содержания железа) залегают под осадочным чехлом и являются корой континентального выветривания железистых кварцитов. На предприятии распространены кварциты окисленные, кварциты неокисленные легкообогатимые, кварциты неокисленные среднеобогатимые, кварциты неокисленные труднообогатимые и богатая железная руда, коэффициент крепости по шкале проф. Протодеяконова которых варьируется в диапазоне от 10 до 20 (и выше).

Первоначальный анализ данных об энергоемкости бурения на месторождении Михайловского ГОКа позволил сделать предварительные выводы о свойствах горного массива. Массив по данным энергоемкости бурения имеет преимущественно однородный характер, поскольку прочностные свойства кварцитов имеют близкие значения (рис.4, 5). Участки массива с меньшими значениями энергоемкости бурения предположительно представлены раздробленными породами в результате отработки вышележащих блоков или участками массива с высоким содержанием железной руды. Данный вывод о характере массиве вполне согласуется с предварительными сведения о свойствах пород месторождения Михайловского ГОКа, полученных от геологической службы.

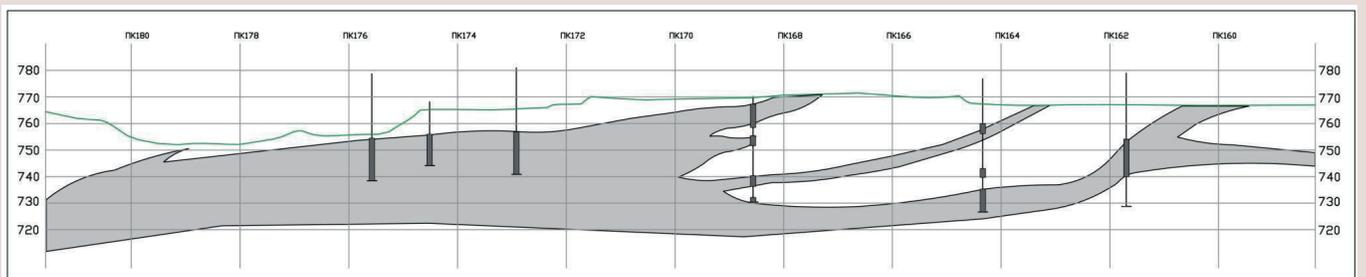
Сравнение данных энергоемкости бурения для участков с содержанием богатой руды показали, что энергоемкости бурения для богатой руды в 1,5-2 раза меньше, чем для железистых кварцитов (рис. 5). Это позволяет в последующем идентифицировать менее прочный участок бога-



а) фотосъемка фактической отработки участка угольного месторождения;
 а) көмір кен орнының нақты өңделген учаскесінің фототүсірілімі;
 a) photography of actual mining of the coal deposit area.



б) распределение энергоемкости бурения на данном участке: светлые участки соответствуют залеганию угольного пласта;
 б) осы учаскеде бұрғылаудың энергия сыйымдылығын үлестіру: ашық түсті учаскелер көмір қабатының жайғасуына сәйкес келеді;
 б) distribution of drilling energy intensity in a given area: light zones correspond to the occurrence of the coal seam.



в) уточненное залегание угольных пластов по данным энергоемкости бурения;
 в) бұрғылаудың энергия сыйымдылығы деректері бойынша көмір қабаттарының нақтыланған жайғасымы;
 в) refined occurrence of coal seams according to the drilling energy intensity data.

Рис. 3. Применение данных энергоемкости бурения для целей эксплуатационной разведки угля на каменноугольном месторождении предприятия «Разрез Тугнуйский» [4].

Сурет 3. «Торғай қимасы» кәсіпорнының тас көмір кен орнында көмірді пайдаланып барлау мақсаттары үшін бұрғылаудың энергия сыйымдылығы деректерін қолдану [4].

Figure 3. Application of drilling energy intensity data for the purposes of operational coal exploration at the coal deposit of the «Razrez Tugnuisky» enterprise [4].

того содержания руды по результатам обработки данных, получаемых в процессе бурения.

Поскольку железорудные месторождения, как правило, характеризуются близкими прочностными свойствами слагающих пород, энергоемкость бурения на разных участках достаточно однородная и заметно варьируется,

если наблюдаются участки массива с заметно отличающимися прочностными свойствами.

Рудник Куранах

Россыпное месторождение Куранах предприятия АО «Полюс Алдан» является сложноструктурным, с нали-

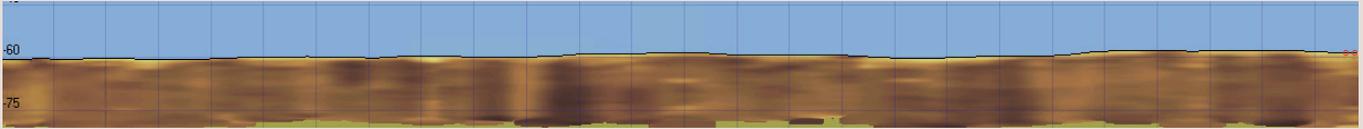


Рис. 4. Пример энергоемкости бурения блока на вертикальном сечении для месторождения Михайловского ГОКа. Массив носит относительно однородный характер по прочностным характеристикам, составлен преимущественно прочными породами.

Сурет 4. Михайловск тау-кен байыту комбинатының кен орны үшін тік қимада блоқты бұрғылаудың энергия сыйымдылығының үлгісі. Сілемде беріктік сипаттамасы бойынша біртекті сипаты бар, көбінесе берік таужыныстарымен құрастырылған.

Figure 4. Example of the energy intensity of drilling a block in the vertical section for the Mikhailovsky GOK deposit. The massif is relatively homogeneous in terms of strength characteristics, composed mainly of hard rocks.

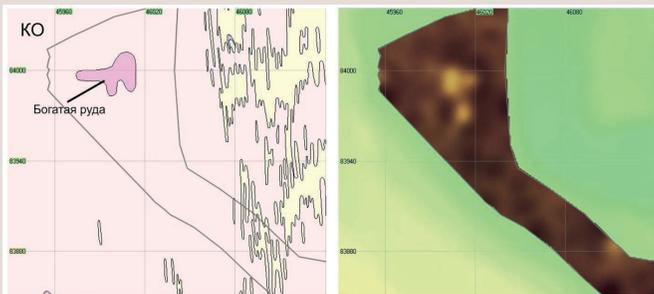


Рис. 5. Пример районирования массива по данным геологической разведки и данных энергоемкости бурения на МГОКе. Преобладающий тип породы – прочные кварциты. Богатая руда выделяется светлым участком на фоне прочных пород.

Сурет 5. МТКБК-да бұрғылаудың энергия сыйымдылығының деректері мен геологиялық барлау деректері бойынша сілемді аудандастыру үлгісі. Берік кварциттер таужынысы түрі басым. Бай кен берік таужыныстар аясында ашық түсті учаскемен белгіленеді.

Figure 5. Example of massif zoning according to geological exploration data and energy intensity drilling data at MGOK. The predominant rock type is strong quartzite. The rich ore stands out as a light area against the background of hard rocks.

чием в массиве различного рода прослоек, вечномерзлых пород и включений с физико-механическими свойствами, резко отличными от рудовмещающих пород. Месторождение состоит из рудных залежей неправильной пластобразной формы, сформированных в депрессиях вблизи даек лампрофиров, фиксирующих рудоконтролирующие структуры. Рудные залежи, как правило, приурочены к линейно-вытянутым тектоническим зонам и повторяют слоистые конфигурации карстовых полостей.

Сложная структура вмещающих пород представлена ожелезненными рыхлыми песчано-глинистыми отложениями, в которых неравномерно распределены щебень, глыбы песчаников, карбонатных пород и ожелезненных кремнистых пород кавернозной брекчиевидной текстуры. Величина обломков колеблется от 0,01 до 2,0 м, а количество – от 30 до 70%. Количество крупнообломочного материала (от 0,3 до 2,5 м) составляет 20-40%. Крепость

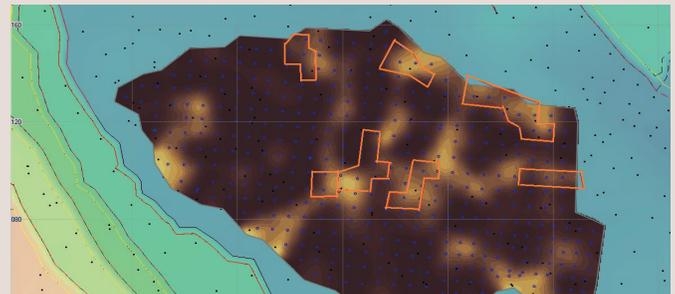


Рис. 6. Сопоставление положения рудных тел по данным геологической разведки с распределением средней энергоемкости бурения на руднике Куранах. Сурет 6. Куран кен орнында бұрғылаудың орташа энергия сыйымдылығын үлестірумен бірге геологиялық барлау деректері бойынша кен орны денелерінің орналасуын салыстыру.

Figure 6. Comparison of the position of ore bodies according to geological exploration data with the distribution of the average drilling energy intensity at the Kuranakh mine.

обломков от 6 до 11 по шкале проф. М.М. Протоdjяконова. Данные участки оказались достаточно легко идентифицируемыми по данным энергоемкости бурения как светлые, менее прочные участки (рис.6).

Поскольку невозможность точного определения положения твердых включений было одним из факторов, усложняющих оптимизацию БВР на предприятии, то получение данных энергоемкости бурения позволило с высокой степенью точности определить положение участков крепких пород и производить проектирование взрывных работ с учетом особенностей массива рудника.

Богатырь Комир

На сегодняшний день перед горнодобывающими предприятиями стоит задача идентификации прочностных свойств обрабатываемого массива с целью рационального использования взрывчатых веществ (ВВ) и снижения выхода негабаритов. Такая необходимость, в том числе, возникла на предприятии «Богатырь Комир». На долю данной компании приходится 70% от объема всего добываемого в Экибастузском угольном бассейне угля. По данным геологической службы коэффициент крепости по шкале проф.

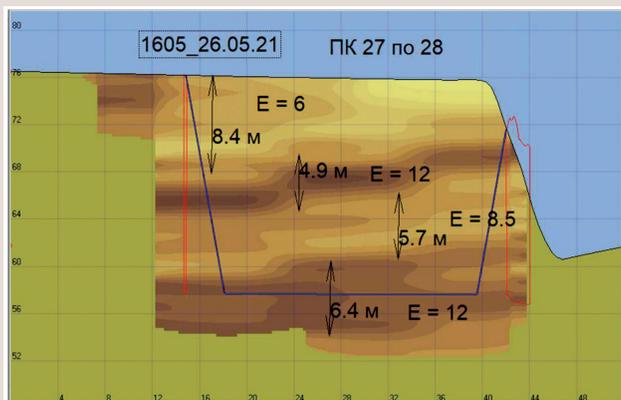


Рис. 7. Сопоставление энергоёмкости бурения E на вертикальном сечении с горно-технологической картой, полученной от геологической службы в условиях месторождений предприятия «Богатырь Комир».

Сурет 7. «Богатырь Көмір» кәсіпорны кен орындары жағдайында геологиялық қызметтен алынған тау-технологиялық картамен тік қимада E бұрғылаудың энергия сыйымдылығын салыстыру.

Figure 7. Comparison of energy intensity of drilling E in the vertical section with the mining and technological map obtained from the geological service in the conditions of deposits of Bogatyr Komir enterprise.

Протодряконова на участках добычи варьируется в диапазоне 1,5-4,5, а на участках по вскрыше 4,5-7,5. При этом могут встречаться породы с коэффициентом крепости значительно выше ожидаемых значений. Для поддержки высокой интенсификации производства на предприятии возникла необходимость уточнения имеющейся геологоразведочной информации по данным энергоёмкости бурения: точного определения положения, например, особо прочных участков на вскрышных и добычных блоках, уточнять значения коэффициента крепости по шкале проф. Протодряконова.

В ряде исследований [7, 8] отмечалась линейная зависимость между сопротивлением породы сжатию и энергоёмкостью бурения. В силу особенностей физико-механических свойств пород, такая зависимость наиболее часто наблюдается для угольных месторождений, что успешно было продемонстрировано на примере месторождений предприятия «Богатырь Комир».

На основании статистического сопоставления данных предварительной геологической разведки, передаваемых в виде коэффициента крепости по шкале проф. Протодряконова и получаемой информации об энергоёмкости бурения, была получена линейная зависимость крепости пород f от энергоёмкости бурения E с точностью корреляции до 85%:

$$f = b_1 E + b_2,$$

где b_1, b_2 – коэффициенты, определенные для условий месторождения. Из полученной зависимости следует вывод: чем выше энергоёмкость бурения, тем прочнее породы. Такая зависимость позволила идентифицировать вскрышные породы и угольные пласты по данным энергоёмкости бурения.

При сопоставлении данных было также отмечено, что по данным энергоёмкости бурения в условиях предприятия Богатырь удается уточнить неоднородность массива (рис. 7). Положение более прочных прослоек по данным энергоёмкости бурения хотя и подтвердили ожидаемое положение по предварительной геологической разведке, но и позволили уточнить структуру массива, положение и особенность геометрии прочных участков.

Совместная работа с отделом БВР предприятия позволила также получить зависимость оптимального удельно-

го расхода ВВ для эталонного ВВ (6ЖВ) от энергоёмкости бурения. Первоначально производился анализ применяемого удельного расхода ВВ при проектировании в зависимости от характера массива. Анализ массива осуществлялся отделом БВР на основе горно-технологической карты, качественной оценки массива при выезде на участок и информации об энергоёмкости бурения. Информация о применяемом расходе ВВ, качестве взрыва заносилась в Базу Данных ПО «BlastMaker», а в результате обработки дан-

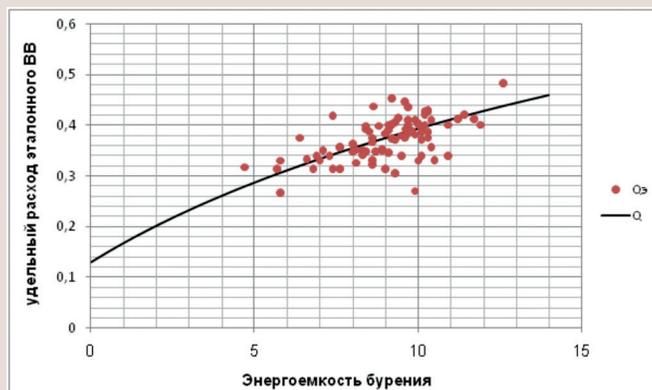


Рис. 8. Сопоставление расчетного и фактического удельного расхода ВВ в зависимости от энергоёмкости бурения. Удельный расход приведен в эквивалент эталонного ВВ диаметра скважины 250 мм и среднего кондиционного куса 500 мм.

Сурет 8. Бұрғылаудың энергия сыйымдылығына байланысты ЖЗ есептік және нақты меншікті шығынын салыстыру. Меншікті шығын 250 мм ұңғыма диаметрінің эталонды ЖЗ мен 500 мм орташа кондициялық бөліктің эквивалентіне келтірілген.

Figure 8. Comparison of calculated and actual specific consumption of explosives depending on drilling energy intensity. Specific consumption is given in the equivalent of the reference explosive of the borehole diameter with a well diameter of 250 mm and an average conditioned piece of 500 mm.

ных получена зависимость расчета удельного расхода по данным энергоемкости бурения:

$$q_p = k_1 \ln(k_2 E + k_3),$$

где k_1 , k_2 и k_3 – коэффициенты, уточняемые для условий конкретного месторождения.

Уточнение полученных коэффициентов производилось на основе проведения экспериментальных взрывов в рамках опытно-промышленных испытаний. Для осуществления экспериментальных взрывов на предприятии были обеспечены бесперебойность передачи данных об энергоемкости бурения от станков до рабочего места проектировщика, оперативная зачистка блока от предыдущей взорванной горной массы и непрерывный мониторинг за качеством взрыва. В результате для каждого блока были получены данные о примененном удельном расходе ВВ, качестве взрыва и средней энергоемкости бурения. Такой набор информации позволил получить уточненную зависимость рекомендуемого удельного расхода для эталонного ВВ (6ЖВ), диаметра скважины 220 мм и среднего размера кондиционного куска 500 мм от энергоемкости бурения (рис. 8). Полученная зависимость позволяет проектировщику получить рекомендуемый расход ВВ в соответствии с импортируемыми данными с системы «КОБУС» о характере массива в виде энергоемкости бурения.

Заключение

Информация, получаемая с системы КОБУС в процессе бурения скважин, позволяет уточнять пространственное залегание прочных и мягких прослоек, выделять особо прочные участки массива, требующие специального внимания при подготовке проекта на массовый взрыв и пр.

Такой подход продемонстрирован на примере предприятий Тугнуйский угольный разрез, Богатырь Комир, Михайловский ГОК им. А.В. Варичева и др.

Как показывает сопоставление данных, для месторождений, характеризующихся контрастностью прочностных свойств пород, как показано на примере карьера Богатырь Комир, наблюдается линейная зависимость между энергоемкостью бурения и крепостью пород по шкале проф. Протодяконова с точностью корреляции до 85%. Такая зависимость позволяет количественно уточнять данные предварительной геологической разведки на конкретном участке массива.

Энергоемкость бурения может применяться при непрерывном мониторинге состояния массива на обрабатываемом участке. При переходе от блока с типичным распределением энергоемкости бурения к блоку, где чаще встречаются более крепкие породы, взрывнику следует принять меры, чтобы добиться ожидаемого качества взрыва.

Установленная зависимость между удельным расходом и энергоемкостью бурения для эталонного ВВ позволяет рассчитать оптимальное распределение выбранного заряда по блоку в соответствии с прочностной неоднородностью массива. Энергоемкость по блоку может быть районирована на участки, в зависимости от размера блока и степени неоднородности. При этом для каждого участка рассчитывается свой удельный расход. Если же массив по энергоемкости бурения достаточно однороден, то заряд при равномерной сетке скважин также распределяется равномерно по блоку.

Информация о неоднородности массива может быть также использована и для решения задачи оптимизации конструкции заряда, например, с применением воздушного промежутка. При этом воздушный промежуток необходимо расположить напротив мягкого прослойка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тангаев И. А. Буримость и взрываемость горных пород. М.: Недра. – 1978. – С. 184 (на русском языке)
2. Коваленко В.А. Автоматизированная подготовка производства на карьерах // Вестник Кыргызско-Российского Славянского Университета. – 2009. – Т. 9. – №11. – С. 118-123 (на русском языке)
3. Артемьев В.Б., Коваленко В.А., Каинов А.И., Опанасенко П.И., Исайченков А.Б. Современные информационные технологии в подготовке и проведении БВР на угольных разрезах СУЭК // Уголь. – 2012. – №11. – С. 6-14 (на русском языке)
4. Белкина Т.А. Геологическое сопровождение отработки Олонь-Шибирского месторождения с использованием возможностей ПТК «Blast Maker» // Передовые технологии на карьерах: сборник докладов. – Бишкек: КРСУ. – 2015. – С. 65-67 (на русском языке)
5. Игнатьев Н.Н. Применение бескернового бурения для целей эксплуатационной разведки и оценки зольности угля на Олонь-Шибирском каменноугольном месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №3. – С. 134-141. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-134-141 (на русском языке)
6. Татарчук С. Ю. Опыт внедрения и эксплуатации ПТК Blast Maker на карьерах // Горный журнал. – 2013. – №11(103). – С. 29-32 (на русском языке)
7. Vogusz A., Wikowska M. Удельная энергия разрушения угольных пород // Журнал геотехники и механики. – 2015. – №1(37). – С. 9-16. DOI: 10.1515/sgem-2015-0002 (на английском языке)
8. Wang Q., Qin Q., Gao S., Li S., Gao H. Энергетический подход в анализе корреляции между параметрами бурения и пределом прочности на сжатии пород // Журнал по вопросам угольной промышленности в Китае. – 2018. – 43(5). – С. 1289-1295 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тангаев И. А. Таужыныстарының бұрғылануы мен жарылғыштығы. М.: Недра. – 1978. – Б. 184 (орыс тілінде)
2. Коваленко В.А. Ашықкөніштерде өндірістің автоматтандырылған дайындығы // Қыргыз-Ресей Славян университеті хабаршысы. – 2009. – Т. 9. – № 11. – Б. 118-123 (орыс тілінде)

3. *Артемов В.Б., Коваленко В.А., Каинов А.И., Опанасенко П.И., Исайченков А.Б. СКЭЖ көмір қималарында БЖЖ дайындау және өткізуде заманауи ақпараттық технологиялар // Көмір. – 2012. – №11. – Б. 6-14 (орыс тілінде)*
4. *Белкина Т.А. «Blast Maker» БТК мүмкіндіктерін пайдаланатын Олонь-Шибир кен орнын өңдеудің геологиялық сүйемелдеу // Ашықкеніштердегі озық технологиялар: баяндамалар жинағы. – Бішкек: КРСУ. – 2015. – Б. 65-67 (орыс тілінде)*
5. *Игнатъев Н.Н. Олонь-Шибир тас көмір кен орнында көмірдің күлділігін пайдаланып барлау және бағалау мақсатында кернсіз бұрғылауды қолдану // Тау ақпараттық-аналитикалық бюллетень (ғылыми-техникалық журнал). – 2019. – №3. – Б. 134-141. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-134-141 (орыс тілінде)*
6. *Татарчук С. Ю. Ашықкеніштерде Blast Maker БТК ендіру және пайдалану тәжірибесі // Тау журналы. – 2013. – №11(103). – Б. 29-32 (орыс тілінде)*
7. *Bogusz A., Bukowska M. Көмір таужыныстарын бұзудың меншікті энергиясы // Геотехника және механика журналы. – 2015. – №1(37). – Б. 9-16. DOI: 10.1515/sgem-2015-0002 (ағылшын тілінде)*
8. *Wang Q., Qin Q., Gao S., Li S., Gao H. Таужыныстарын бұрғылау параметрлері мен қысымға беріктігі шегі арасындағы корреляцияны талдаудағы энергетикалық тәсіл // Қытайдағы көмір өнеркәсібі мәселелері жөніндегі журнал. – 2018. – 43(5). – Б. 1289-1295 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Tangaev I. A. Drillability and explosibility of rocks. M.: Nedra. – 1978. – P. 184 (in Russian)*
2. *Kovalenko V.A. Automated preparation of production in quarries // Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University. – 2009. – Vol. 9. – No. 11. – P.118-123 (in Russian)*
3. *Artemyev V.B., Kovalenko V.A., Kainov A.I., Opanasenko P.I., Isaichenkov A.B. Modern information technologies in the preparation and conduct of drilling and blasting at SUEK coal mines // Ugol. – 2012 – No.11. – P. 6-14 (in Russian)*
4. *Belkina T.A. Geological support for the development of the Olon-Shibirsk deposit using the capabilities of the «Blast Maker» SHC // Advanced technologies in quarries: a collection of reports, Bishkek: KRSU. – 2015 – P. 65-67 (in Russian)*
5. *Ignatiev N.N. Application of coreless drilling for the purposes of operational exploration and assessment of coal ash content in Olon-Shibirsk coal field// Mountain Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2019 – No. 3. – P. 134-141. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-134-141 (in Russian)*
6. *Tatarchuk S. Y. Experience of implementation and operation of the Blast Maker SHC at the quarries // Mining Journal. – 2013. – No. 11(103). – P. 29-32 (in Russian)*
7. *Bogusz A., Bukowska M. Specific energy of hard coal under load. Studia Geotechnica et Mechanica. – 2015. – 1(37). – P.9-16. DOI: 10.1515/sgem-2015-0002 (in English)*
8. *Wang Q., Qin Q., Gao S., Li S., Gao H. Relationship between rock drilling parameters and rock uniaxial compressive strength based on energy analysis// Journal of China Coal Society. – 2018. – 43 (5). – P. 1289-1295 (in English)*

Сведения об авторах:

Григорьев В.В., кандидат технических наук, директор Института коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета (г. Бишкек, Кыргызская Республика), grigorevww@blastmaker.kg; <https://orcid.org/0009-0005-9435-2203>

Райымкулов М.А., старший научный сотрудник Института коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета (г. Бишкек, Кыргызская Республика), raiymkulovma@blastmaker.kg; <https://orcid.org/0009-0002-4831-1038>

Киселев А.О., начальник управления «Кобус» Общества с ограниченной ответственностью «Blast Maker» (г. Бишкек, Кыргызская Республика), kiselev@blastmaker.kg; <https://orcid.org/0009-0004-1145-6449>

Авторлар туралы мәліметтер:

Григорьев В.В., техника ғылымдарының кандидаты, Қырғыз-Ресей Славян университетінің Байланыс және ақпараттық технологиялар институтының директоры (Бішкек қ., Қырғыз Республикасы)

Райымкулов М.А., Қырғыз-Ресей Славян университетінің Байланыс және ақпараттық технологиялар институтының аға ғылыми қызметкері (Бішкек қ., Қырғыз Республикасы)

Киселев А.О., «Blast Maker» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «Кобус» бөлімінің басшысы (Бішкек, Қырғыз Республикасы)

Information about authors:

Grigoriev V.V., Candidate of Technical Sciences, Director of the Institute of Communications and Information Technologies of the Kyrgyz-Russian Slavic University (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Raiymkulov M.A., Senior Researcher, Institute of Communications and Information Technologies of Kyrgyz-Russian Slavic University (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Kiselev A.O., Head of the «Kobus» Department of the Limited Liability Company «Blast Maker» (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Код МРНТИ 52.13.21

В.А. Колосов¹, В.Г. Долгушев², А.И. Илларионов¹, *М.А. Райымкулов³¹Акционерное общество «Полиметалл Управляющая компания» (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация),²Общество с ограниченной ответственностью «Blast Maker» (г. Бишкек, Кыргызская Республика),³Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета (г. Бишкек, Кыргызская Республика)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ «BLASTMAKER» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «ПОЛИМЕТАЛЛ УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ»

Аннотация. В связи с горно-технологическими особенностями, экономическими и техническими требованиями к добыче минеральных ресурсов, у предприятий АО «Полиметалл УК» возникает необходимость в применении особо точных инструментов для проектирования и планирования буровзрывных работ. Одним из таких инструментов является система автоматизированного проектирования буровзрывных работ «BlastMaker». В статье обзорно рассматриваются адаптированные инструменты системы для условий открытых и подземных горных работ на предприятиях АО «Полиметалл УК».

Ключевые слова: горно-геологические информационные системы, сортовое планирование, буровзрывные работы, зоны дробления, цифровизация взрывных работ.

«Полиметалл Басқарушы компаниясы» Акционерлік қоғамының кәсіпорындарында «BlastMaker» бұрғылау-жару жұмыстарын автоматтандырылған жобалау жүйесін пайдалану

Андатпа. Тау-кен-технологиялық ерекшеліктеріне, минералды ресурстарды өндіруге қойылатын экономикалық және техникалық талаптарға байланысты «Полиметалл БК» АҚ кәсіпорындарында бұрғылау-жару жұмыстарын жобалау және жоспарлау үшін аса дәл құралдарды қолдану қажеттілігі туындайды. «BlastMaker» бұрғылау-жару жұмыстарын автоматтандырылған жобалау жүйесі осындай құралдардың бірі болып табылады. Мақалада «Полиметалл БК» АҚ кәсіпорындарында ашық және жерасты тау-кен жұмыстарының жағдайларына арналған бейімделген жүйе құралдары қарастырылады.

Түйінді сөздер: тау-кен-геологиялық ақпараттық жүйелер, сұрыптық жоспарлау, бұрғылау-жару жұмыстары, ұсақтау аймақтары, жару жұмыстарын цифрландыру.

Using BlastMaker automated drilling and blasting design system at the enterprises of Polymetal Managing company joint stock company

Abstract. In view of the mining and technological specifics, economic and technical requirements for the extraction of mineral resources, the enterprises of Polymetal MC JSC have the need to use highly accurate tools for the design and planning of drilling and blasting operations. BlastMaker, an automated drilling and blasting design system, is one such tool. The article reviews the adapted tools of the system for the conditions of open-pit and underground mining works at the enterprises of JSC Polymetal MC.

Key words: mining and geological information systems, grade planning, drilling and blasting, crushing zones, digitalization of blasting.

Введение

Минеральные ресурсы, представленные на предприятиях Полиметалла, характеризуются тонкими рудными телами, богатыми по содержанию золота и серебра. Объем горной массы, взрываваемой на одном блоке, составляет от 2 до 15 тыс. куб. м., что обусловлено малыми размерами рудных тел. В связи с этим на предприятиях требуется подготовить большое количество проектов за короткий срок. Ранее проекты готовились в полуручном режиме с применением системы AutoCAD. Скудность возможностей не позволяла прорабатывать различные параметры буровзрывных работ (БВР), в результате проектирование велось преимущественно по заданным параметрам, например, по фиксированной сетке скважин. Такой процесс проектирования достаточно трудоемкий и не позволяет достичь необходимого эффекта минимизации разубоживания и потерь.

В связи с этим возникает необходимость в цифровой системе, обеспечивающей высокую точность и оперативность проектирования БВР, позволяющей производить имитацию результатов взрывных работ, оценку потерь и разубоживания и при необходимости производить редактирование проекта. Система автоматизированного проектирования БВР (САПР БВР) «BlastMaker» больше всего отвечает на данные запросы [1]. Этап адаптации програм-

мы под конкретные горно-технологические особенности месторождений позволяет включать новые функции и возможности в САПР БВР и, тем самым, в полном объеме удовлетворить запросы предприятий.

Методика

В процессе адаптации функционала САПР БВР «BlastMaker» разработчиками программного обеспечения и специалистами предприятия проводится совместный анализ горно-технологических особенностей месторождения. По результатам анализа разрабатываются методики расчетов, которые включаются в программный пакет. Для обеспечения оперативности проектирования БВР и планирования горных работ возникает необходимость в разработке дополнительных функций и инструментов программы. Настройки расчетных моделей и инструментов производятся по результатам опытно-промышленных испытаний в условиях месторождения.

Результаты

Совместная работа АО «Полиметалл УК» с САПР БВР «BlastMaker» началась с 2012 года на предприятии «Ресурсы Албазино» (Харабароский край, Российская Федерация). В последующем адаптация была произведена на

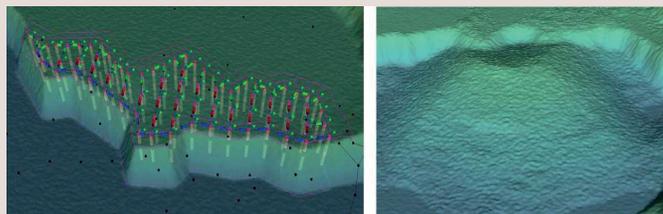


Рис. 1. Задание схемы коммутации и результаты моделирования развала горной массы в среде САПР БВР «BlastMaker».

Сурет 1. «BlastMaker» БЖЖ АЖЖ ортасында тау массасының құлауын модельдеу нәтижелері мен коммутация схемасының тапсырмасы.

Figure 1. The switching scheme task and the results of rock mass breakdown in BlastMaker DBO ADS modeling environment.

таких месторождениях, как Варваринское, Омолонская ЗРК, Комаровское, Бакырчикское и т.д.

В результате адаптации на предприятиях Полиметалла в программу было внесено более 50 различных функций и инструментов для проектирования открытых горных работ. В том числе, расширены и добавлены функции для разделения карьера по зонам с различными типами пород и различными физико-механическими свойствами для более точного прогнозирования линии отрыва горного массива. Добавлен ряд функций для оперативного задания параметров взрывных работ. Настроен экспорт данных вертикальных сечений проекта из САПР БВР «BlastMaker» в систему AutoCAD. Разработан инструмент подсчета показателей потерь и разубоживания с учетом определенных граничных содержаний для нескольких сортов руды, расширены функции работы с триангуляционными поверхностями и каркасами, блочными геомеханическими и рудопородными моделями и т.д.

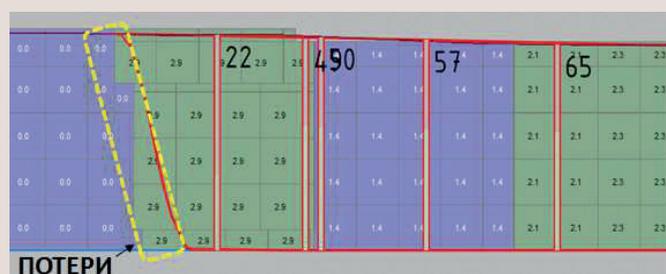
Из-за отсутствия удовлетворительной системы проектирования БВР для подземных горных выработок (ПГР) в условиях предприятий АО «Полиметалл УК», возникла необходимость в разработки специального программного

обеспечения «BlastMaker Underground». В течение года с июня 2017 по июнь 2018 со стороны предприятий проводились консультации с разработчиками программы, обсуждения способов реализации функционалов проектирования, тесты промежуточных версий, устранялись ошибки и уточнялись детали. В результате получена окончательная базовая версия программного обеспечения и пошаговая инструкция по использованию ПО. Первая адаптация САПР БВР для ПГР проведена под условия месторождений Арылах и Дукаат «Серебра Магадана» [2].

Сортовое планирование в САПР БВР «BlastMaker»

Объединив усилия разработчиков программы и специалистов АО «Полиметалл УК», была проведена работа по реализации подготовки всех этапов сортового планирования в САПР БВР «BlastMaker» с целью оптимизации работы целевых специалистов и повышения качества планирования. В ходе усовершенствования программы, удалось многократно расширить ее функционал. Реализованы возможности и преимущества для перехода из сторонней программы Datamine в САПР БВР «BlastMaker» в рамках сортового планирования. Вся работа настроена в одном ПО от построения поверхности рельефа до расчета товарной руды. Настроена возможность использования максимально приближенных контуров товарной руды к реальной отработке блока при добычных работах для исключения нагрузки на технику в участках, где массив недостаточно разрушен. При этом контур товарной руды строится на основе границ имитации взрывных работ, за счет чего при подготовке сортового плана одновременно подготавливается проект на бурение и взрыв. Усовершенствованы инструменты при работе с каркасами для построения зоны погашения.

Реализована возможность оперативного расчета товарной руды, потерей и разубоживания. Функционал САПР БВР «BlastMaker» позволяет произвести расчет товарной руды как исключительно в контуре товарной руды, так и в контуре каркаса лимита, в котором учитываются объемы товарной руды и потери, оставленные в массиве при плани-



а)



б)

Рис. 2. Корректировка сортового плана в среде САПР БВР «BlastMaker» по результатам моделирования каркаса взрыва (вертикальное сечение). В первом случае наблюдаются потери (а), которые исключаются добавлением дополнительного ряда скважин (б).

Сурет 2. Жарылыс қаңқасын (тік қима) модельдеу нәтижелері бойынша «BlastMaker» БЖЖ АЖЖ ортасында сұрыптық жоспарды түзету. Бірінші жағдайда шығындар (а) байқалады, олар ұңғымалардың қосымша қатарын қоса отырып алынып тасталады (б).

Figure 2. Adjustment of the grade plan in the BlastMaker DBO ADS environment based on the results of blast frame modeling (vertical section). In the first case, there are losses (a), which are eliminated by adding an additional row of wells (b).

ровании. После полного расчета товарной руды и получения показателей потерей и разубоживания в рамках планируемой отработки рудных секторов производится оценка контуров товарной руды с целью повышения качества добываемой руды и снижения плановых потерь. По результатам оценки производится редактирование параметров БВР так, чтобы максимально снизить количество потерь и разубоживания. Результаты могут быть экспортированы как в форматы программы Datamine, так и в табличные форматы Excel.

Для проверки расчета товарной руды в САПР БВР «BlastMaker» были произведены дополнительные проверочные расчеты в Datamine. Разница отклонений по качественным и количественным показателям составила 0,3-1,0 %.

Система проектирования БВР для подземных горных выработок

Для полноценного проектирования БВР в условиях подземных горных выработок предприятий АО «Полиметалл УК» в программу «BlastMaker Underground» включены функции и инструменты для создания нового проекта, импорта триангуляционных поверхностей горных выработок (актуальных и планируемых), блочных рудопородных и геомеханических моделей, построения и редактирования сечений, задания скважин, моделирования взрыва, расчета товарной руды и оформления проектной документации. Предполагается, что все исходные данные для проектирования (камеры, штреки и блочные модели) поставляются из программы Datamine. Но это вовсе не исключает использование других систем горно-геологического моделирования как источника исходных данных для программы «BlastMaker Underground».

Геологическая служба предприятия занимается созданием и непрерывным пополнением модели минерализации и модели контроля содержаний, что обеспечивает

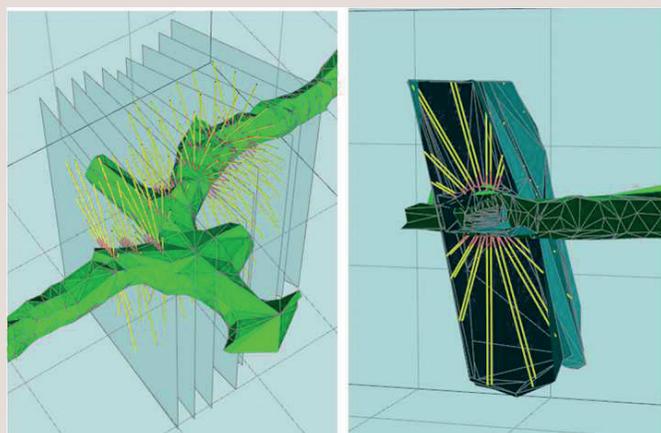


Рис. 3. Проектирование БВР: расстановка веерных скважин с привязкой к планируемому контуру отбойки в среде «BlastMaker Underground».

Сурет 3. БЖЖ жобалау: «BlastMaker Underground» ортасында жоспарланған қопару контурына байланған тарамды ұңғымаларды орналастыру.

Figure 3. DBO design: fan placement with reference to the planned drilling contour in the BlastMaker Underground environment.

актуальность поставляемых данных в программу. Для удобства проектирования модель можно расцветить в различном виде.

В программе учитываются габариты буровой техники. Под каждый вид техники можно ввести габаритные параметры техники и проверить возможность размещения техники для выполнения проекта БВР. В процессе проектирования скважин производится автоматическая проверка возможности размещения бурового оборудования в выработке в заданном положении не только в плоскости сечения, но и по всем габаритам установки. Это позволяет проектировщику БВР более детально проработать план бурения.

Включены инструменты автоматической расстановки параллельных и веерных скважин в привязке к загруженным каркасам, а также к контурам на плоскостях сечений, построенным вручную по разрезу блочной модели (для сортового планирования). Помимо автоматической расстановки, присутствуют инструменты ручного построения и редактирования спроектированных скважин. Разработаны инструменты для совмещения в одном сечении веерных и параллельных скважин, задания величины недобура и перебура, положения податчика и точки забуривания по-сегментно для различных участков веера.

Информация о физико-механических свойствах массива позволяет произвести расчет распространения энергии взрыва с учетом бризантно-фугасных свойств взрывчатого вещества и давления пороховых газов в скважине. Данная математическая модель и параметры настраивается для каждого месторождения в рамках адаптации совместно со специалистами предприятий по результатам опытно-промышленных испытаний.

Оперативный расчет контура отрыва, его изменений в случае корректировки положения и заряда скважин, оперативный расчет показателей товарной руды в границах контура

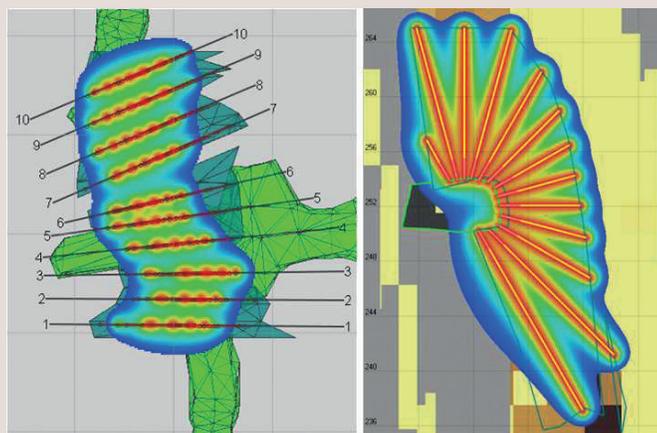


Рис. 4. Моделирование взрыва и анализ распределения энергии по объему и в сечении в среде «BlastMaker Underground».

Сурет 4. Жарылысты модельдеу және «BlastMaker Underground» ортасында көлем мен қима бойынша энергияның таралуын талдау.

Figure 4. Blast simulation and analysis of energy distribution by volume and cross section in the BlastMaker Underground environment.

отрыва, а также расчет потерей и разубоживания позволяет проектировщику добиться оптимального варианта сортового плана. По результатам анализа отработки опытно-промышленных испытаний фактическая средневзвешенная выемочная мощность превысила плановую на 0,1-0,5 м.

Закключение

Таким образом, совместный анализ горно-технологических особенностей месторождения разработчиками программного обеспечения и специалистами предприятия позволил произвести полномасштабную адаптацию САПР БВР «BlastMaker» для условий предприятий АО «Полиме-

талл УК». По результатам анализа разработаны методики расчетов, которые включены в программный пакет.

В ходе совместных работ удалось многократно расширить функционал программы, обеспечив всю работу в одной программной среде от задания поверхности до расчета товарной руды, потерей и разубоживания. Настройка расчетных моделей позволила добиться сходимости моделируемых каркасов взрыва к реальной отработке блока, что привело к снижению нагрузки на технику, в участках, где массив недостаточно разрушен, и возможности оперативного редактирования проекта для обеспечения минимума потерей и разубоживания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долгушев В.Г. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьерах «BlastMaker» // Горный журнал Казахстана. – 2013. – №11. – С. 28-32 (на русском языке)
2. Манаков А.А., Парамонов Г.П. Использование программного обеспечения для анализа показателей потерь и разубоживания в условиях рудника «Дукат» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №56. – С. 333-341 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Долгушев В.Г. «BlastMaker» кеніштерінде бұрғылау-жару жұмыстарын автоматтандырылған жобалау жүйесі // Қазақстанның тау-кен журналы. – 2013. – №11. – Б. 28-32 (орыс тілінде)
2. Манаков А.А., Парамонов Г.П. «Дукат» кенішіндегі шығындар мен құнарсыздандыру көрсеткіштерін талдау үшін бағдарламалық қамтылымды пайдалану // Тау-кен ақпараттық-талдау бюллетені (ғылыми-техникалық журнал). – 2019. – №56. – Б. 333-341 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Dolgushev V.G. The BlastMaker system of automated drilling and blasting design in open pits // Mining Journal of Kazakhstan. – 2013. – No.11. – P. 28-32 (in Russian)
2. Manakov A.A., Paramonov G.P. Using software for analysis of loss and dilution indicators in the conditions of the Dukat mine // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2019. – No.56. – P. 333-341 (in Russian)

Сведения об авторах:

Колосов В.А., заместитель директора Производственной дирекции Акционерного общества «Полиметалл Управляющая компания» (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация), Kolosov@polymetal.ru; <https://orcid.org/0009-0006-7264-670X>

Долгушев В.Г., начальник управления «Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ «BlastMaker» Общества с ограниченной ответственностью «Blast Maker» (г. Бишкек, Кыргызская Республика), dolgushevvg@blastmaker.kg; <https://orcid.org/0009-0000-1563-2295>

Илларионов А.И., ведущий специалист по открытым горным работам Технического управления Производственной дирекции Акционерного общества «Полиметалл Управляющая компания» (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация), IllarionovAI@polymetal.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2760-5170>

Райымкулов М.А., старший научный сотрудник Института коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета (г. Бишкек, Кыргызская Республика), raiymkulovma@blastmaker.kg; <https://orcid.org/0009-0002-4831-1038>

Авторлар туралы мәліметтер:

Колосов В.А., «Полиметалл басқарушы компаниясы» акционерлік қоғамының Өндірістік дирекциясы директорының орынбасары (Санкт-Петербург қ., Ресей Федерациясы)

Долгушев В.Г., «Blast Maker» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің «BlastMaker» бұрғылау-жару жұмыстарын автоматтандырылған жобалау жүйесі басқармасының бастығы Бішкек қ., Қырғыз Республикасы)

Илларионов А.И., «Полиметалл басқарушы компаниясы» акционерлік қоғамының Өндірістік дирекциясы техникалық басқармасының Ашық тау-кен жұмыстары жөніндегі жетекші маманы (Санкт-Петербург қ., Ресей Федерациясы)

Райымкулов М.А., Қырғыз-Ресей Славян университетінің коммуникациялар және ақпараттық технологиялар институтының аға ғылыми қызметкері (Бішкек қ., Қырғыз Республикасы)

Information about the authors:

Kolosov V.A., Deputy Director of Production Directorate, Polymetal Management Company Joint Stock Company (St. Petersburg, Russian Federation)

Dolgushev V.G., Head of BlastMaker Automated Blasting Design System, BlastMaker Limited Liability Company (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Illarionov A.I., Leading Specialist for Open Pit Mining Works, Technical Administration of Production Directorate of Polymetal Management Company (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Raimkulov M.A., Senior Research Fellow, Institute of Communications and Information Technologies, Kyrgyz-Russian Slavic University (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Код МРНТИ 52.13.21

А.А. Добраневская¹, *М.А. Кулагина²¹Подземный рудник «Удачный» Удачинского горно-обогатительного комбината акционерной компании «АЛРОСА» (публичное акционерное общество) (г. Удачный, Российская Федерация),²Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета (г. Бишкек, Кыргызская Республика)

АВТОМАТИЗАЦИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ «УДАЧНЫЙ»

Аннотация. В статье описана автоматизация буровзрывных работ на подземном руднике «Удачный» Удачинского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО) с применением системы автоматизированного проектирования буровзрывных работ (САПР БВР) «BlastMaker». Буровзрывные работы – ответственный процесс в технологии горных работ, качество ведения которых определяет эффективность всех последующих процессов: транспортировки и переработки полезных ископаемых. В процессе цифровизации БВР на руднике было применено программное обеспечение САПР БВР «BlastMaker» для автоматического расчета параметров БВР (в том числе используя возможности имитационного моделирования), опасной и запретной зон, времени проветривания, параметров электровзрывной сети, что дало возможность инженерам-проектировщикам оперативно оптимизировать проекты на бурение и взрыв, как следствие, сократить временные трудозатраты на подготовку проектной документации.

Ключевые слова: горнодобывающие предприятия, подземные горные выработки, оптимизация горных работ, проектирование буровзрывных работ, имитационное моделирование, САПР БВР BlastMaker.

«Удачный» жерасты кенішінде бұрғылау-жару жұмыстарын автоматтандыру

Аннотация. Мақалала «BlastMaker» бұрғылау-жару жұмыстарын автоматтандырылған жобалау жүйесін (БЖЖ АЖЖ) қолдана отырып, АЛРОСА (ЖАҚ) АК Удача ТБК-ның «Удачный» жерасты кенішінде бұрғылау-жару жұмыстарын автоматтандыру сипатталған. Бұрғылау – жару жұмыстары – тау-кен жұмыстарының технологиясындағы жауапты процесс, оны енгізу сапасы пайдалы қазбаларды тасымалдау мен өндеудің барлық кейінгі процестерінің тиімділігін анықтайды. БЖЖ цифрландыру процесінде кеніште БЖЖ параметрлерін (оның ішінде имитациялық модельдеу мүмкіндіктерін пайдалана отырып), қауіпті және тыйым салынған аймақтарды, желдету уақытын, электр жарылыс желісінің параметрлерін автоматты түрде есептеу үшін «BlastMaker» БЖЖ АЖЖ бағдарламалық қамтылымы қолданылды, ол жобалаушы инженерлерге жобалық құжаттаманы дайындауға кететін уақытша еңбек шығындарын қысқарту нәтижесінде бұрғылау мен жарылысқа арналған жобаларды жедел оңтайландыруға мүмкіндік берді.

Түйінді сөздер: тау-кен өндіру кәсіпорындары, жерасты тау-кен қазбалары, тау-кен жұмыстарын оңтайландыру, бұрғылау-жару жұмыстарын жобалау, имитациялық модельдеу, BlastMaker БЖЖ АЖЖ.

Automation of drilling and blasting operations at the Udachny underground mine

Abstract. The article describes the automation of drilling and blasting operations at the Udachny underground mine of ALROSA JSC of Udachninsky Mining and Process Plant (MPP) using the BlastMaker automated design system (ADS) for drilling and blasting operations (DBO). Drilling and blasting is a critical process in the technology of mining operations, and its quality determines the productivity of all subsequent processes of transportation and processing of minerals. In the process of DBO digitalization at the mine the BlastMaker software was used for automatic calculation of DBO parameters (including the use of simulation modeling), dangerous and prohibited areas, ventilation time, blasting circuit parameters, which enabled design engineers to optimize drilling and blasting projects, as a result reducing the time spent on preparation of design documentation.

Key words: mining enterprises, underground workings, mining optimization, drilling and blasting design, simulation modeling, BlastMaker DBO ADS.

Введение

Буровзрывные работы (БВР) – это совокупность производственных процессов по отделению скальных горных пород от массива с помощью взрыва. Термин возник с целью подчеркивания неразрывности, взаимосвязи и взаимозависимости процессов бурения, заряжения взрывчатых веществ и непосредственно самого взрыва.

Буровзрывные работы – один из сложнейших и ответственных процессов в технологии горных работ, качество ведения которых определяет эффективность всех последующих процессов транспортировки и переработки полезных ископаемых. К безопасности, экономичности и технологичности производства буровзрывных работ (БВР) предъявляются высокие требования, которые касаются, в том числе, документальной отчетности и проектирования.

На подземном руднике Удачный Удачинского АК «АЛРОСА» (ПАО) буровзрывным способом ведутся горнопроходческие и очистные работы. С 2019 года в структуру управления производством на руднике введен отдел буровзрывных работ, перед которым поставили задачу повышения качества и эффективности работ. Это решение было действительно уникальным для компании, так как ни на одном комбинате специализированного инженерного отдела БВР, помимо непосредственно взрывных участков, на тот момент не существовало.

За прошедшее время новому отделу удалось создать базу детальной факторной отчетности и контроля качества БВР, что, в свою очередь, стало основой для начала активной деятельности по поиску оптимальных параметров, повышения операционной эффективности и качества ведения горных работ.

В процессе цифровизации БВР на руднике было применено программное обеспечение САПР БВР «BlastMaker» для автоматического расчета параметров БВР (в том числе, используя возможности имитационного моделирования), опасной и запретной зон, времени проветривания, параметров электровзрывной сети, что дало возможность инженерам-проектировщикам оперативно оптимизировать проекты на бурение и взрыв, как следствие сократить временные трудозатраты на подготовку проектной документации. В данной статье описывается внедрение САПР БВР «BlastMaker» в условиях рудника.

Методы и исследования

Процесс БВР сопровождается немалой по объему проектной документацией. Особое внимание уделяется паспорту на производство взрывных работ. Расчет параметров БВР, опасной и запретной зон, времени проветривания, параметров электровзрывной сети – ответственный и трудоемкий процесс. В поисках решения, которое в том числе помогло бы сократить временные трудозатраты,

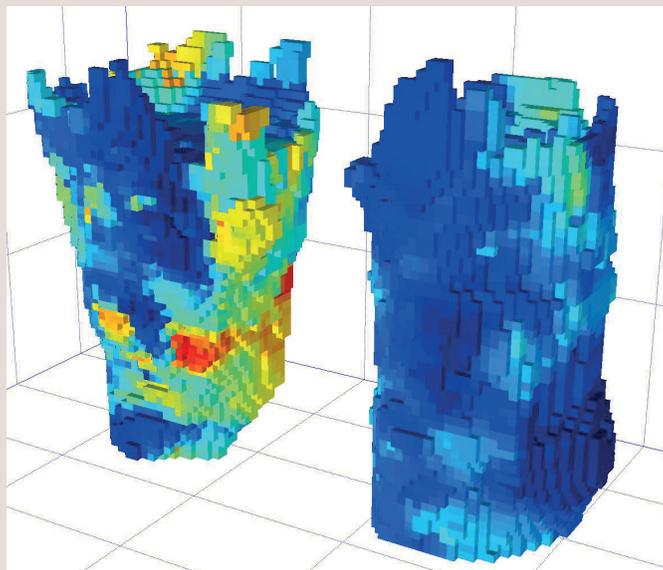


Рис. 1. Блочная модель месторождения трубки «Удачная» в ПО «BlastMaker».

Сурет 1. «BlastMaker» БҚ-да «Удачная» түтік кен орнының блокты моделі.

Figure 1. Block model of the Udachnaya pipe deposit in BlastMaker.

связанные с подготовкой проектов БВР, специалисты отдела начали сотрудничество с компанией «Blast Maker».

Программный продукт компании «Blast Maker» изначально предназначен для выполнения работ, связанных с подготовкой проектно-технической документации на производство БВР на открытых работах. АЛРОСА также использует данное решение на карьерах в Айхальском и Мирнинско-Нюрбинском горно-обогатительных комбинатах.

В результате работы по улучшению и развитию программного продукта компания «Blast Maker» представила программное обеспечение (ПО) для подземных работ – САПР БВР «BlastMaker» для подземных горных работ (ПГР). Данный проект был внедрен в отделе буровзрывных работ подземного рудника «Удачный» в 2022 году.

Процесс адаптации ПО является достаточно продолжительным по времени и выполняется в несколько этапов. Первоначально осуществляется сбор и обработка необходимых данных для предварительного определения значений настроечных коэффициентов математических моделей и вычислительных алгоритмов.

Результаты

Немаловажным и актуальным направлением в текущем состоянии развития рудника Удачный является автоматизация и цифровизация процессов БВР, в котором отдел также является лидирующим и прогрессивным. В процессе цифровизации БВР на руднике помимо прочего ПО было применено ПО САПР БВР «BlastMaker» для ПГР.

Для использования программы САПР БВР «BlastMaker» в условиях рудника «Удачный» были введены данные по используемым типам взрывчатых веществ и средств инициирования. Заданы шаблоны конструкций скважин-

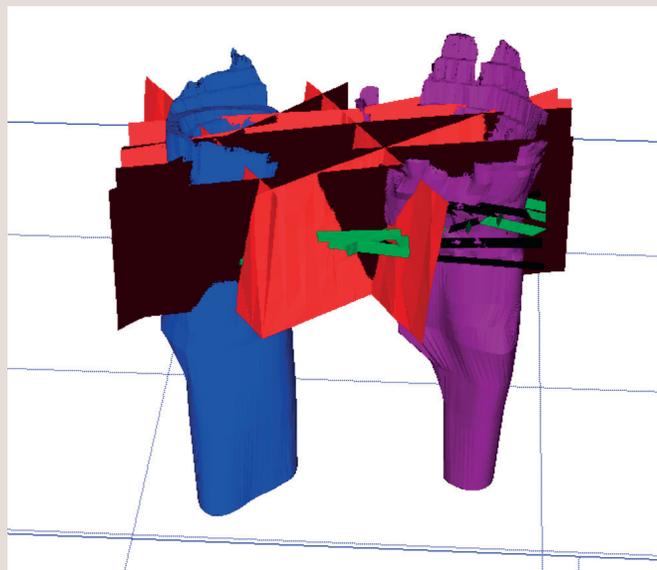


Рис. 2. Основные и второстепенные разломы трубки «Удачная» в ПО «BlastMaker».

Сурет 2. «BlastMaker» БҚ-дағы «Удачная» түтігінің негізгі және қосымша сынықтары.

Figure 2. Main and auxiliary faults of the Udachnaya pipe in BlastMaker.

ных зарядов для автоматического формирования параметров заряжения. Для корректного математического расчета энергии взрывания произведен ввод типов пород по литологическому коду по данным блочной модели месторождения.

САПР БВР «BlastMaker» для ПГР дает возможность использовать на стадии проектирования бурового веера геомеханические показатели, такие как крепость, трещиноватость и плотность. Появилась возможность загружать данные об основных и второстепенных разломах рудных тел, которые учитываются при проектировании вееров.

Инструментарий по проектированию буровых вееров в САПР БВР «BlastMaker» для ПГР является расширенным и адаптивным к производственному процессу, принятому на предприятии. Среди достоинств программы можно выделить определение геометрии буровой установки, что является полезным при решении сложных задач в труднодоступных местах рудника. Программа просто не позволит позиционировать машину и подсветит буровую установку как «недопустимое положение установки» (рис. 3).

Для адаптации САПР БВР «BlastMaker» для ПГР необходимо было настроить удобный процесс импорта всей необходимой триангуляционной базы из имеющейся системы. Данная задача была успешно решена, что обеспечило в дальнейшем комфортное проектирование.

После того, как машинист буровой установки выносит фактические данные на USB-накопителе, они загружаются обратно в систему. Проектировщик приступает к оценке веера и дальнейшему расчету взрывных работ.

По заданным шаблонам программа осуществляет заряжение веера. На данном этапе появляется возможность

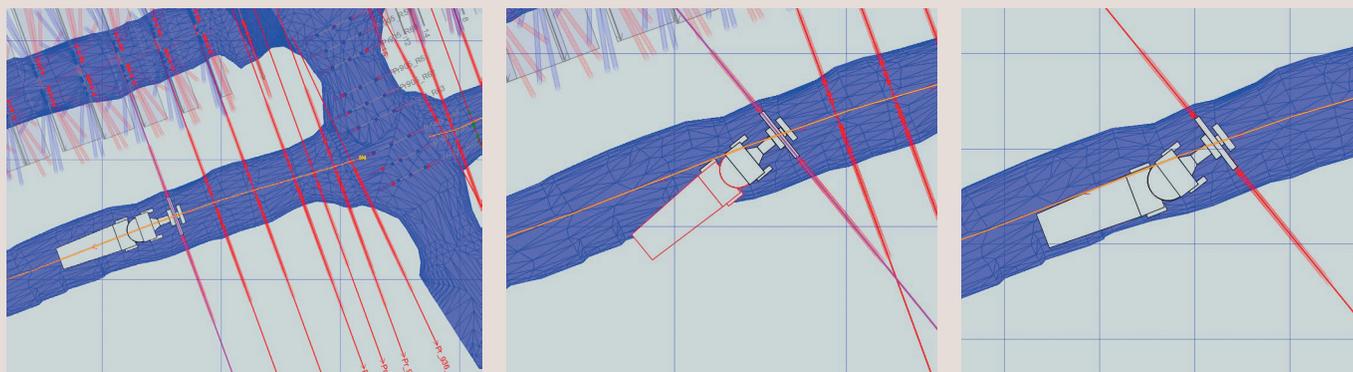


Рис. 3. Работа с геометрией буровой установки в ПО «BlastMaker».
Сурет 3. «BlastMaker» БҚ-дағы бұрғылау қондырғысының геометриясымен жұмыс.
Figure 3. Working with drilling rig geometry in BlastMaker.

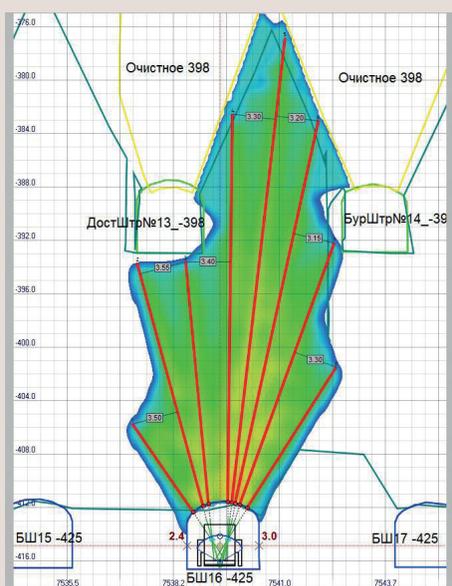


Рис. 4. Распределение энергии взрыва в веере в ПО «BlastMaker».
Сурет 4. «BlastMaker» БҚ-да тарамда жарылыс энергиясын бөлу.
Figure 4. Blast energy distribution in the fan in BlastMaker.

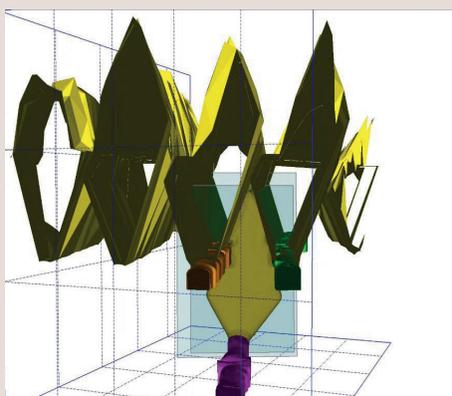


Рис. 5. Модель взрыва в ПО «BlastMaker».
Сурет 5. «BlastMaker» БҚ-дағы жарылыс моделі.
Figure 5. Blast model in BlastMaker.

сmodelировать этот взрыв и оценить будущий отбываемый объем и зону влияния энергии взрыва. На рис. 4 представлено изображение распределения энергии взрыва. В случае, если результат будущего взрыва по каким-либо причинам не подходит, проектировщик может изменить конструкцию заряда или сценарий коммутации скважин и заново смоделировать взрыв. Программа также учитывает и распространяет энергию на сопряженные со взрывом объекты, такие как ранее отработанная горная выработка или обнаженные плоскости очистного пространства (рис. 5).

Завершающий этап проектирования – печатный проект БВР, который полностью подготавливается на базе специально разработанных шаблонов предприятия. Процесс стал максимально удобным и быстрым. Проектировщику больше не нужно производить однотипные рутинные расчеты для каждого взрыва заново. Непосредственно из окна программы специалист завершает и проверяет шаблон, после чего отправляет проект на печать (рис. 6).

На этапе опытной эксплуатации системы по мере накопления оперативной информации были уточнены кор-

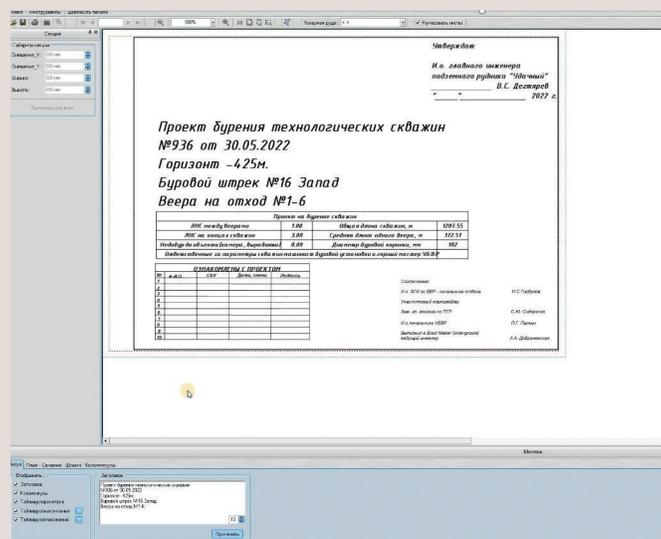


Рис. 6. Печатный проект БВР в ПО «BlastMaker».
Сурет 6. «BlastMaker» БҚ-дағы БЖЖ баспа жобасы.
Figure 6. Printed project of DBO in BlastMaker.

реляционные функции крепости и взрываемости горных пород; подбираются оптимальные способы фильтрации данных, получаемых с буровых станков; корректируются параметры вычислительных алгоритмов с целью максимального соответствия результатов численного моделирования с результатами фактических выполненных взрывов. После завершения «тонкой» настройки всех модулей и компонентов системы ПО обеспечение было переведено в промышленную эксплуатацию.

Заключение

В процессе цифровизации БВР на руднике было применено программное обеспечение САПР БВР «BlastMaker» для ПГР, которое является удобным инструментом для подготовки проектной документации на бурение и взрыв с использованием заданных конструкций зарядов, что по-

зволяет автоматически определять параметры заряжения.

К одним из достоинств ПО можно отнести функциональные возможности, позволяющие контролировать позиционирование самоходной буровой установки в буровом штреке, а также производить расчет энергии взрывания исходя из типов и данных блочной модели месторождения. Также пользователь может автоматически рассчитать параметры БВР (в том числе используя возможности имитационного моделирования), определить опасную и запретную зоны, время проветривания, параметры электровзрывной сети.

САПР БВР «BlastMaker» для ПГР дало возможность инженерам-проектировщикам оперативно оптимизировать проекты на бурение и взрыв, наглядно увидеть слабые стороны проекта; оперативно внести изменения и получить оптимальный проект на БВР, как следствие, сократить временные трудовые затраты на подготовку проектной документации.

Сведения об авторах:

Добраневская А.А., ведущий инженер отдела буровзрывных работ подземного рудника «Удачный» Удачинского горно-обогатительного комбината акционерной компании «АЛРОСА» (публичное акционерное общество) (г. Удачный, Российская Федерация), *DobranevskayaAA@alrosa.ru*; <https://orcid.org/0009-0009-3679-3675>

Кулагина М.А., ведущий инженер-программист Института коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета (г. Бишкек, Кыргызская Республика), *kulagina@krsu.edu.kg*; <https://orcid.org/0000-0001-7979-7881>

Авторлар туралы мәліметтер:

Добраневская А.А., «АЛРОСА» акционерлік компаниясының (жария акционерлік қоғам) Удачный тау-кен байыту комбинатының «Удачный» жерасты кенішінің бұрғылау-жару жұмыстары бөлімінің жетекші инженері (Удачный к., Ресей Федерациясы)

Кулагина М.А., Кыргыз-Ресей Славян университетінің коммуникациялар және ақпараттық технологиялар институтының жетекші инженер-бағдарламашысы (Бишкек қ., Кыргыз Республикасы)

Information about the authors:

Dobranevskaya A.A., Leading Engineer of Drilling and Blasting Operations Department, Udachny underground mine, Udachny Mining and Processing Plant, ALROSA Joint Stock Company (public joint-stock company) (Udachny, Russian Federation)

Kulagina M.A., Leading Programming Engineer, Institute of Communications and Information Technologies, Kyrgyz-Russian Slavic University (Bishkek, Kyrgyz Republic)