

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 бурғылау-жару жұмыстарын автоматтандыру

Андатпа. Мақалала «BlastMaker» бурғылау-жару жұмыстарын автоматтандырылған жобалау жүйесін (БЖЖ АЖЖ) қолдана отырып, АЛРОСА (ЖАҚ) АК Удача ТБК-ның «Удачный» жерасты кенішінде бурғылау-жару жұмыстарын автоматтандыру сипатталған. Бурғылау – 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 бурғылау мен жарылысқа арналған жобаларды жедел оңтайландыруға мүмкіндік берді.

Түйінді сөздер: тау-кен өндіру кәсіпорындары, жерасты тау-кен қазбалары, тау-кен жұмыстарын оңтайландыру, бурғылау-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 введения 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,

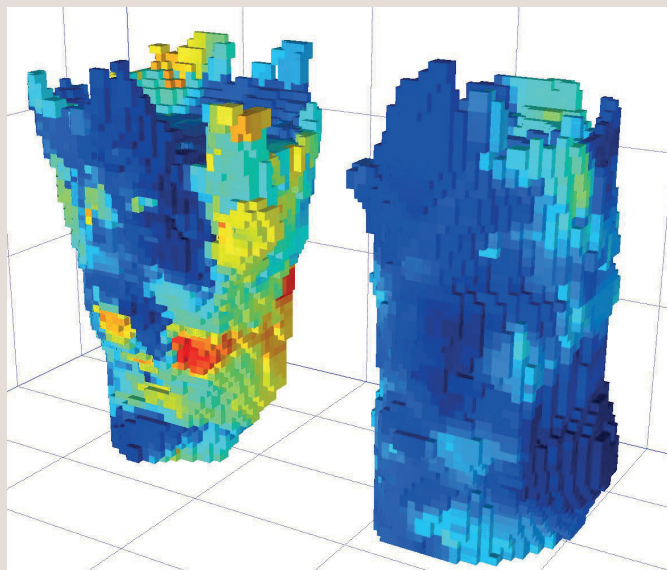


Рис. 1. Блочная модель месторождения трубки «Удачная» в ПО «BlastMaker».

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-

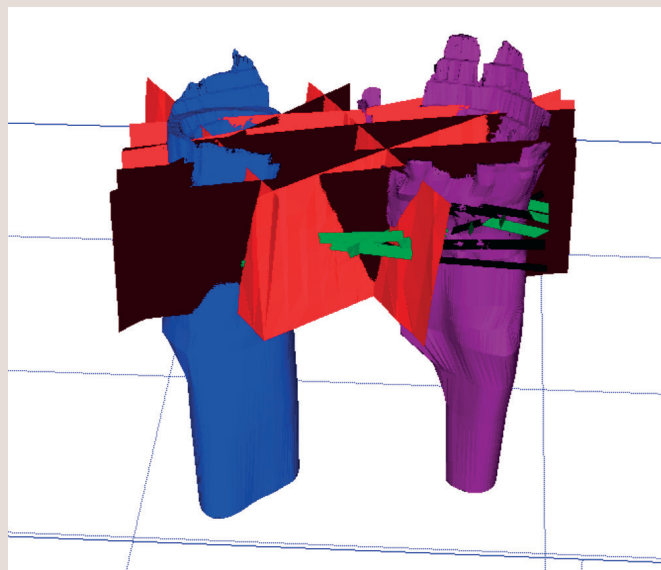


Рис. 2. Основные и второстепенные разломы трубки «Удачная» в ПО «BlastMaker».

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

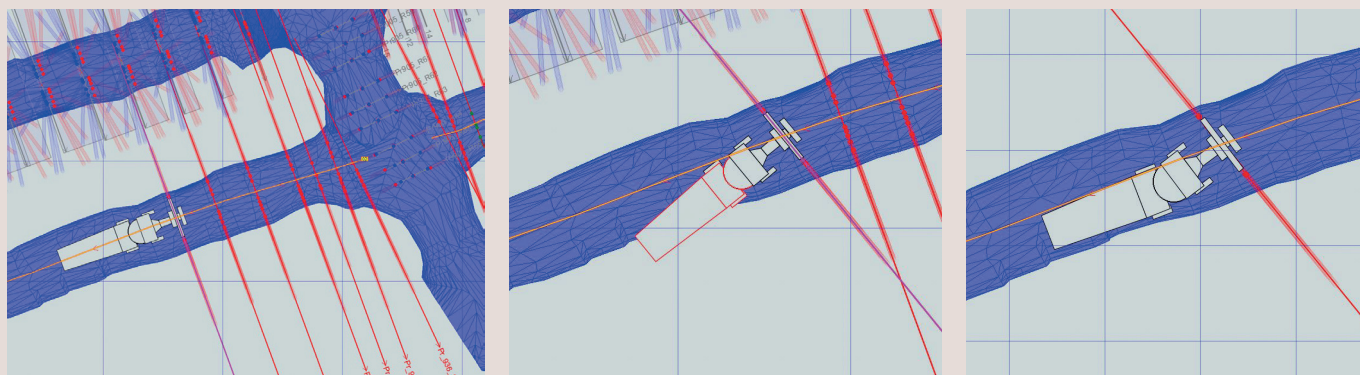


Рис. 3. Работа с геометрией буровой установки в ПО «BlastMaker».
Сурет 3. «BlastMaker» БҚ-дағы бұрғылау қондырғысының геометриясымен жұмыс.
Figure 3. Working with drilling rig geometry in BlastMaker.

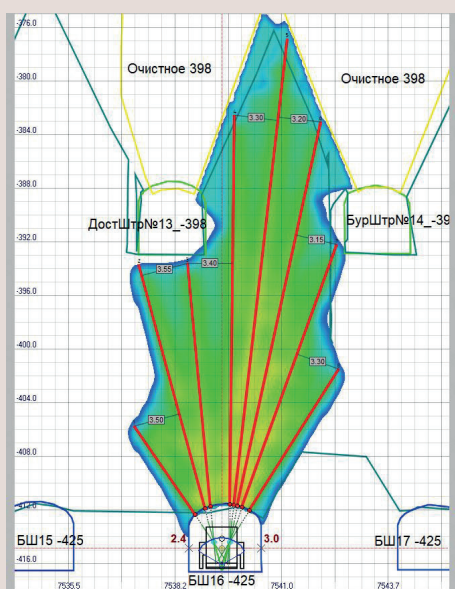


Рис. 4. Распределение энергии взрыва в веере в ПО «BlastMaker».
Сурет 4. «BlastMaker» БҚ-да тарамда жарылыс энергиясын бөлу.
Figure 4. Blast energy distribution in the fan in BlastMaker.

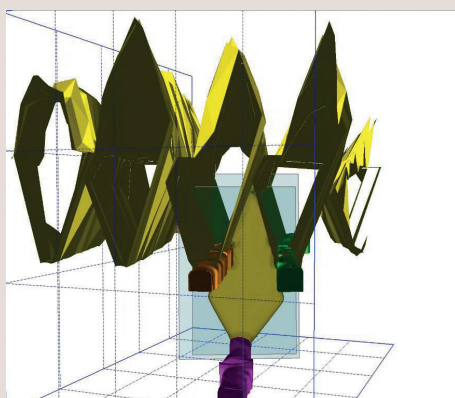


Рис. 5. Модель взрыва в ПО «BlastMaker».
Сурет 5. «BlastMaker» БҚ-дағы жарылыс моделі.
Figure 5. Blast model in BlastMaker.

сmodelировать этот взрыв и оценить будущий отбиваемый 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-

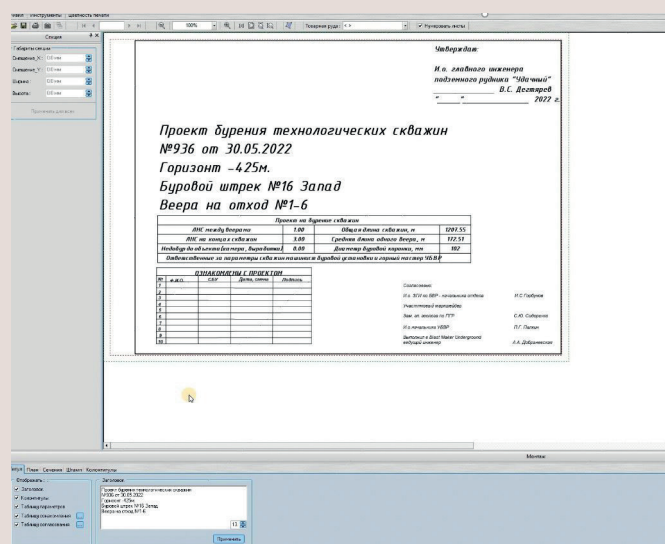


Рис. 6. Печатный проект БВР в ПО «BlastMaker».
Сурет 6. «BlastMaker» БҚ-дағы БЖЖ баспа жобасы.
Figure 6. Printed project of DBO in BlastMaker.

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 ППР, 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 ППР 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 к., 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)



СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ БУРОВЗРЫВНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

BLAST MAKER

САПР БВР

Blast Maker Underground:

1. ПО предназначено для составления проектов на бурение и взрыв для подземных горных работ, ведения базы данных и оптимизации процесса составления паспортов БВР.
2. В программе присутствуют инструменты автоматической расстановки параллельных и веерных скважин, а также инструменты ручного построения и редактирования скважин.
3. 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.

