



**О ЦИФРОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВАНИЯ
НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**

А. Н. Гришин^{1,2}, В. Л. Гаврилов², Н. А. Немова^{2,3}, А. В. Резник²

¹*Сибирский государственный университет путей сообщения,
E-mail: gan66@mail.ru, ул. Д. Ковальчук 191, г. Новосибирск 630049, Россия*

²*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: gvlugorsk@mail.ru, Красный пр. 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

³*Сибирский государственный университет геосистем и технологий, E-mail: nemova-nataly@mail.ru,
ул. Плехотного 10, г. Новосибирск 630108, Россия*

Выполнен анализ использования горно-геологических информационных систем для проектирования взрывных работ при освоении месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом. Отмечены особенности цифрового проектирования в различных отечественных программных продуктах и приведены примеры их внедрения на горных предприятиях. Показано, что в условиях постоянного роста сложности осваиваемых и планируемых к отработке месторождений необходимо совершенствовать процесс цифровизации взрывных работ для повышения общей эффективности и безопасности открытых геотехнологий.

Горно-геологические информационные системы, программное обеспечение, буровзрывные работы, взрывчатые вещества, системы инициирования, правила безопасности.

DIGITAL DESIGN OF BLASTING DURING OPEN-PIT MINING OPERATIONS

A. N. Grishin^{1,2}, V. L. Gavrilo², N. A. Nemova^{2,3}, and A. V. Reznik²

¹*Siberian Transport University, E-mail: gan66@mail.ru,
ul. D. Kovalchuk, 191, g. Novosibirsk 630049, Russia*

²*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: gvlugorsk@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

³*Siberian State University of Geosystems and Technologies, E-mail: nemova-nataly@mail.ru,
ul. Plakhotnogo 10, Novosibirsk 630108, Russia*

The use of mining and geological information systems for designing blasting operations in mining solid mineral deposits by the open-pit method is analyzed. The features of digital design in various domestic software products are noted and examples of their implementation at mining enterprises are given. It is shown that in conditions of a constant increase in the complexity of deposits being mined and planned to be mined, it is necessary to improve the digitalization of blasting operations to increase the overall efficiency and safety of open-pit geotechnologies.

Mining and geological information systems, software, drilling and blasting operations, explosives, initiation systems, safety rules

Более половины полезных ископаемых в России добывается открытым способом [1], в том числе угля в последние годы извлекается более 75 % [2]. Отделение горных пород и минерального сырья от массива происходит в основном при помощи энергии взрыва. Его применение позволяет раздробить породу и минеральное сырье до такого состояния, которое бы соответствовало техническим требованиям последующих технологических переделов к гранулометрическому составу и крупности куска.

Буровзрывные работы (БВР), находящиеся в начале цепочки горного производства, в значительной степени влияют на успешность функционирования как отдельных добывающих предприятий, так и их объединений. Задача повышения технологической, экономической и экологической результативности всех этапов процесса взрывания на открытых горных работах решается путем внедрения передовых технологий и методов организации работ; создания новых типов взрывчатых веществ, средств инициирования, машин и механизмов; использования различного программного обеспечения (ПО), включая класс горно-геологических информационных систем (ГГИС), ориентированных на улучшение качества проектирования БВР. Выбор такого продукта для каждого горнодобывающего предприятия — сложная и ответственная задача [3, 4]. Исходя из изложенного, анализ созданных в России и странах ближнего зарубежья и получивших распространение в отечественных компаниях компьютерных программ для проектирования буровзрывных работ на открытых горных предприятиях, оценка их возможностей и целесообразности совершенствования являются актуальными с научных и практических позиций.

Состояние вопроса. В последние два десятилетия в России происходит интенсивное внедрение компьютерных программ, позволяющих в той или иной степени автоматизировать процесс проектирования массовых взрывов на карьерах и разрезах. Несмотря на это, в силу действия различных объективных и субъективных факторов эффективность такой деятельности часто находится на низком уровне, особенно при сравнении передовых и отстающих стран и предприятий. Например, в российской угольной промышленности до 70 % компаний для проектирования сетки скважин используют ПО только на базе Autocad, система контроля установки зарядов в скважину автоматизирована в 10 % компаний [5], а процедуры информационного взаимодействия участников процесса БВР (геологи, маркшейдера, буровики, взрывники) нерациональны и часто неэффективны.

Рынок предлагает отечественные и зарубежные ГГИС разной сложности и ценовой категории. Часть этих программ узко специализированная и предназначена исключительно для автоматизации процесса проектирования БВР. К ним относятся, например, комплекс Blast Maker, разработанный в Институте коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета или программа I-Blast, созданная компанией Тьерри Бернارد Технолоджи (Франция).

Другие программы, позволяющие автоматизировать процесс проектирования БВР с разного рода детальностью, являются составными частями ГГИС и входят в них отдельными модулями. В России разработаны ГГИС MineFrame (Горный институт Кольского научного центра РАН в партнерстве с компанией Кредо-Диалог) и Геомикс (ОАО ВИОГЕМ) [6]. Наиболее распространены в России зарубежные ГГИС, имеющие штаб-квартиры в Австралии Канаде, Великобритании, США, Украине и других странах, Datamine, GEOVIA Surpac, Micromine, K-Mine и др. [6, 7].

Вопрос адаптации зарубежных программ к российским условиям очень важен. Несоответствия стандартов на ведение взрывных работ, различия в методах расчетов параметров БВР, временных задержек и схем короткозамедленного взрывания, определения безопасных расстояний при производстве взрывных работ вызывают определенные сложности для внедрения зарубежного ПО на отечественных предприятиях. В последние десятилетия идет процесс интенсивного заимствования российскими горнодобывающими компаниями зарубежных технологий. Широкое распространение получили не применявшиеся в СССР типы взрывчатых веществ и средств инициирования, неэлектрическая система инициирования, многие предприятия освоили электронную систему инициирования. Методика определения интервалов замедления при взрывании скважинных зарядов на открытых работах [8] и схемы взрывания значительно отличаются от тех, которые использовались в СССР [9].

Если в отечественных и зарубежных типах взрывчатых материалов имеется много общего, то в требованиях к безопасности обнаруживаются существенные различия. При выборе программы для автоматизированного проектирования БВР следует принимать во внимание, какие методики расчета в нее заложены. Зарубежные методики определения безопасных расстояний [10] по различным факторам (разлет кусков породы, ударная воздушная волна, сейсмическое воздействие на охраняемые объекты) отличаются от отечественных [11]. Возникает необходимость более полной адаптации зарубежных ГГИС к отечественным условиям.

Рассмотрим основные программные продукты для автоматизированного расчета БВР на открытых горных работах, созданные в России и ближнем зарубежье, которые используются на отечественных добывающих предприятиях, в проектных, научных и учебных организациях.

Mine Frame. Программа учитывает особенности работы отечественных горных предприятий исходя из существующих требований в области промышленной безопасности и других стандартов [12]. В ГГИС реализована архитектура информационной системы, обеспечивающая контролируемый доступ к данным при одновременной работе многих пользователей. Базы данных горно-геологических объектов являются в цифровой технологии главным источником информации. Архитектура Mine Frame позволяет использовать ее в качестве индивидуальных рабочих мест технологов, занимающихся проектированием массовых взрывов на открытых горных работах с созданием трехмерных моделей взрывных блоков.

Обычно на горных предприятиях расстояние между скважинами и величину “забойки” устанавливают по результатам опытного взрывания. При этом неизбежны потери времени и качества проведения БВР. Учет неоднородностей массива, подлежащего взрыванию, — сложная задача. В Mine Frame включены алгоритмы, которые позволяют рассчитывать эти параметры с помощью энергетических и геометрических характеристик зарядов, а также упруго-прочностных свойств горных пород [13].

При определении места скважин на взрываемом блоке прежде всего стоит задача размещения скважин первого ряда. Фактическая величина линии сопротивления по подошве может значительно отличаться от расчетной в большую и меньшую сторону. Существуют различные способы решения задачи преодоления этой линии: спаренные скважины; сближенные скважины; наклонные скважины и “подбурки”. Выбор способа зависит от технологической культуры на конкретном горном предприятии. Поэтому программный продукт должен обладать всеми алгоритмами для формирования первого ряда скважин. В Mine Frame разработаны алгоритмы размещения скважин первого ряда (и при необходимости второго), которые учитывают технологические особенности предприятия. Выбор угла наклона скважин и расстояние между сближенными скважинами осуществляется как на основе алгоритма расчета линии сопротивления по подошве, так и типового проекта БВР.

Для размещения последующих рядов имеется инструмент автоматизированного размещения скважин в границах взрывного блока “Палетка”. Такой способ размещения скважин практикуется не на каждом горном предприятии, поэтому в ГГИС предусмотрена возможность выставления устьев скважин “вручную”. Другой важный инструмент позволяет моделировать геометрию поверхности развала горной массы и строить геометрию разрезов в любом произвольно выбранном сечении.

С помощью ряда приемов можно формировать конструкцию и рассчитывать параметры скважинных зарядов. После размещения скважин в границах взрываемого блока предусмотрено в автоматическом режиме создание схемы группировки короткозамедленного взрывания, при этом время замедления между зарядами также может быть определено программой. Последний

этап работы — подготовка технологической документации на массовый взрыв с текстовыми и графическими материалами в объеме, соответствующем требованиям, включая границы безопасных расстояний на плане карьера.

Интересной и полезной особенностью данной программы является наличие инструмента, позволяющего при размещении скважин на площадке взрывного блока учитывать отметки скважин от взрывных работ на вышележащем уступе. Это должно способствовать повышению безопасности проведения массовых взрывов.

ГГИС Mine Frame нашла применения на многих горных предприятиях. К их числу относятся ОАО “Апатит”, ОАО “Оренбургские минералы”, ОАО “Боксит Тимана”, ОАО “Приаргунское производственное горно-химическое объединение”, ОАО “Горнозаводскцемент”, ОАО “СЗФК”, ОАО “Айхальский ГОК”, ОАО “Учалинский ГОК” и другие горные предприятия, проектные бюро, учреждения высшего и среднего образования.

Геомикс. Блок “БВР” — один из модулей ГГИС Геомикс [14]. Его использование дает возможность автоматизировать весь процесс проектирования БВР. Размещение скважин первого и последующего рядов на взрывном блоке осуществляется вручную или с помощью палетки в автоматическом режиме. Каждой скважине программа присваивает номер и рассчитывает координаты ее устья.

После того как информация о взрывных скважинах перелается на сервер системы позиционирования буровых станков выполняется бурение скважин по проектным координатам через GPS. После производства буровых работ информация о пробуренных скважинах (номер, координаты глубины и проч.) поступает обратно в ГГИС Геомикс для построения схемы монтажа взрывной сети. В программе имеется алгоритм моделирования инициации скважин по времени и количеству одновременно взорванных скважин в массе зарядов.

Для прогнозирования результатов массовых взрывов в ГГИС Геомикс образован отдельный блок “Развал”. Создатели ПО разработали математическую модель формирования развала и распределения полезного компонента во взорванной горной массе. ГГИС нашла применение в крупнейших горнодобывающих компаниях России и стран СНГ. Система внедрена и используется в таких крупных компаниях, как Олимпиадинский ГОК АО “Полюс-Красноярск”, ОАО “Стойленский ГОК”, Ковдорский ГОК, Донской ГОК АО ТНК “Казхром” (Казахстан), Алмалыкский ГМК (Узбекистан) и других предприятиях. Разработчики Геомикс поставили цель внедрить программу в учебные планы вузов, что позволит в перспективе значительно увеличить число пользователей данного продукта.

Blast Maker. Данный программно-технический комплекс — система для автоматизированной подготовки БВР на карьерах и повышения качества массовых взрывов за счет получения наиболее полной информации о взрываеом массиве. Здесь большое внимание уделено разработке алгоритмов и сложных физико-математических моделей, учитывающих при расчете взрывных параметров неоднородность массива, подлежащего взрыванию.

Комплекс состоит из программы Blast Maker, технических средств сбора и передачи данных с буровых станков “Кобус”. Как и в рассмотренных ранее ГГИС главным источником информации для успешного функционирования Blast Maker является цифровая модель месторождения. Ее особенность состоит в том, что модель постоянно реагирует на поступающие во время бурения с буровых станков сведения об изменении физико-механических свойств горных пород. Эти изменения отслеживаются по данным энергоемкости бурения скважин, для фиксации которой разработана аппаратура регистрации параметров бурения с последующим определением прочностных характеристик породы [15]. Сведения из базы данных “Кобус” поступают в базу данных Blast Maker с параметрами забуренных скважин. На основании полученной

информации строится более точная структура массива, позволяющая на этапе проектирования взрывных параметров выстраивать рациональные конструкции скважинных зарядов и минимизировать расход взрывчатых материалов.

Программа может создавать в автоматизированном режиме различные варианты проектов на массовый взрыв с разными конструкциями скважинных зарядов, количеством и типами используемых ВВ, визуализировать результаты взрыва по каждому варианту и выбирать наиболее рациональный из них. Кроме расчета основных параметров БВР программное обеспечение предоставляет возможность моделирования параметров развала взорванной горной массы. Blast Maker применяется в АО “СУЭК”, АО “Полиметалл”, ЗАО “Кумтор Голд Компани”, АО “Алроса” и других предприятиях.

К-Mine. Проектирование БВР — это одна из многих задач, которая может быть решена в данной ГГИС. Модуль “БВР” включает набор инструментов для полной автоматизации процесса от создания паспорта на бурение до подготовки графических и текстовых материалов на массовый взрыв [16]. Кроме этого модуля ГГИС включает еще 14 модулей.

Для определения качества БВР разработан модуль “Гранулометрический состав”. Перед расстановкой скважин выделяют блок в трехмерном изображении и загружают геологическую информацию по взрываемому блоку. Программа обладает гибкими инструментами построения рядов скважин: по сетке в соответствии с паспортом, по нормальной сетке, когда скважины устанавливают на пересечении перпендикуляров к первому ряду с остальными рядами, по сетке в соответствии с заданным направлением, когда скважины располагают на пересечении линий с рядами и вручную. Построение рядов может происходить путем параллельного перемещения каждого последующего ряда относительно предыдущего. В этом случае каждый последующий ряд воспроизводит контур предыдущего.

Конфигурация любого ряда может быть изменена вручную, и тогда последующие ряды будут повторять конфигурацию измененного ряда. Расстояние между скважинами первого ряда и верхней бровкой уступа, а также линии сопротивления по подошве указывают в настройках. При необходимости можно установить спаренные скважины. Для каждого типа горных пород разрабатывают паспорта бурения.

Программа позволяет в режиме online работать с системами позиционирования буровых станков и обмениваться данными с буровым оборудованием карьеров и разрезов. Для создания новых конструкций скважинных зарядов используют справочный материал, включающий руководство по конструкции зарядов. Для разработки схемы короткозамедленного взрывания имеется большое количество шаблонов, которые содержат разную информацию (система инициирования и т. п.). Для определения замедлений можно воспользоваться инструментом “Визуализация взрыва”, который рассчитывает замедление, строит линии отбойки (отрыва), зоны безопасности и т. д. Различные схемы коммутации взрывной сети формируются с применением встроенных средств. ГГИС К-Mine внедрена на крупнейших горных предприятиях России (ПАО “Полюс”, Стойленский ГОК, Ковдорский ГОК и др.) и стран СНГ (АО ССГПО, ТОО “Научно-производственное предприятие “Интеррин”, АО “Костанайские минералы” и др.).

Для более точного понимания общего состояния рынка компьютерных программ проектирования БВР на открытых горных работах требуется дополнительный анализ со сравнительной оценкой рассмотренных в статье программных комплексов с теми, которые созданы в других странах. Однако на основании уже проведенного изучения ПО российского и стран ближнего зарубежья, а также результатов отраслевого опроса и выполненной оценки по экономическим и функциональным критериям [5] следует говорить о необходимости дальнейшего развития исследований в перспективных направлениях.

В число направлений, связанных с совершенствованием специализированного отечественного программного обеспечения, содержащего блоки расчета и проектирования БВР, должны быть включены и те, которые ориентированы на более полный и точный учет неоднородности физико-механических свойств взрываеваемого массива в пределах одного месторождения или его участка, которая очень сильно усложняет проектирование БВР. Очевидно, что информации о прочностных свойствах горных пород, полученной на стадии разведки месторождения, недостаточно, чтобы при проектировании отдельного массового взрыва учесть все геологические особенности в месте его проведения. Трещиноватость и крепость анизотропной породы и полезного ископаемого нередко варьируют даже в пределах одного взрываеваемого блока в широком диапазоне.

Существуют различные научные точки зрения решения этой проблемы. Одна из них, например, заключается в том, что для расчета буровзрывных параметров необходимо использовать универсальный показатель — акустическое сопротивление горной породы. Во второй половине прошлого века были разработаны методики, позволяющие рассчитывать параметры БВР с учетом этого показателя. Реализация тех идей была трудно выполнимой из-за отсутствия соответствующих технологий, приборов и систем инициирования. В наши дни, когда появились высокотехнологичные взрывчатые материалы, приборы, использующие программный код, это становится возможным, что свидетельствует о целесообразности развития сейсмоакустических методов оценки неоднородности массива применительно к БВР. Другая точка зрения связана с тем, что изменение свойств пород следует определять по оперативным данным энергоемкости бурения скважин. Обе точки зрения имеют право на существование и, несмотря на анонсированные рядом производителей ПО успехи в этом направлении, требуют дальнейшего развития, в том числе путем разработки и интегрирования в ГГИС специальных алгоритмов для проектирования БВР в анизотропной среде, основанных на новых методиках, подтвержденных многочисленными широкомасштабными исследованиями, проведенными в лабораторных и производственных условиях.

ВЫВОДЫ

Рассмотренное программное обеспечение имеет много общего. Основой для их работы является цифровая модель месторождения. Все разработчики ставили цель создать продукт, позволяющий как полностью автоматизировать процесс проектирования БВР, так и предоставляющий инженеру-проектировщику возможность установки взрывных параметров вручную. Программы имеют понятные интерфейсы, обладающие большим разнообразием инструментов и позволяющие творчески и гибко осуществлять проектирование, пользоваться единой базой данных ГГИС, когда возможен импорт-экспорт данных для обмена информацией на всех стадиях проектирования и проведения массовых взрывов — от выделения взрывного блока на уступе и разметки устьев скважин до подготовки комплекта документов на массовый взрыв и выполнения работ на блоке.

Отличия заключаются в том, что при создании алгоритмов были использованы самые разные методики и модели. Это обусловлено отсутствием единого представления о механизме разрушения горных пород взрывом, разной технологической культурой в разных странах и в границах одной страны на разных горных предприятиях.

Совершенствование программного обеспечения целесообразно выстраивать на основе максимально полного учета фактической неоднородности свойств и структуры геологической среды с ориентацией на ее эффективное ресурсосберегающее геотехнологическое преобразование в продукцию с заданными дальнейшей переработкой и использованием количественными и качественными параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Melnikov N. N., Reshetnyak S. P., Kozyrev A. A., et al.** About promising directions of development of opencast mining, Problems and prospects of development of mining sciences, Proceedings of the international conference, vol. II, “Machine Science. Geotechnology”, Novosibirsk, 2006, pp. 212–218. [**Мельников Н. Н., Решетняк С. П., Козырев А. А. и др.** О перспективных направлениях развития открытых горных работ // Проблемы и перспективы развития горных наук: труды Междунар. конф. — Новосибирск, Т. II. “Машиноведение. Геотехнологии”. — Новосибирск, 2006. — С. 212–218.]
2. **Tarazanov I. G. and Gubanov D. A.** Russia’s coal industry performance for January–December, 2020, Ugol’, 2021, no. 3, pp. 27–43. (in Russian) [**Таразанов И. Г., Губанов Д. А.** Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2020 года // Уголь. — 2021. — № 3. — С. 27–43.]
3. **Oganesyan A. S. and Agafonov V. V.** The main problems of introducing information systems to solve economic and technological problems of the mining industry, Mining Informational and Analytical Bulletin, 2011, no. S6, pp. 614–622. [**Оганесян А. С., Агафонов В. В.** Основные проблемы внедрения информационных систем для решения экономических и технологических задач горнодобывающей отрасли промышленности // ГИАБ. — 2011. — № S6. — С. 614–622.]
4. **Nagovitsyn O. V. and Lukichev S. V.** Current state and development prospects of mining and geological information systems, Mining Informational and Analytical Bulletin, 2017, no. 23, pp. 53–67. [**Наговицын О. В., Лукичев С. В.** Современное состояние и перспективы развития горно-геологических информационных систем // ГИАБ. — 2017. — Спец. вып. 23. — С. 53–67.]
5. **Zhdaneev O. V. and Oleneva O. N.** Priority trends in the development of Russian software for the coal industry, Part 2, Ugol’, 2021, no. 7, pp. 13–19. (in Russian) [**Жданеев О. В., Оленева О. Н.** Приоритетные направления российского программного обеспечения для угольной промышленности. Ч. 2 // Уголь. — 2021. — № 7. — С. 13–19.]
6. **Gerasimov A. V.** Computer technology for geological and mine surveying support and design of drilling and blasting operations in open pits, Mining Informational and Analytical Bulletin, 2004, no. 5, pp. 108–111. [**Герасимов А. В.** Компьютерная технология геолого-маркшейдерского обеспечения и проектирования буровзрывных работ на карьерах // ГИАБ. — 2004. — № 5. — С. 108–111.]
7. **Belyakov N. N.** Opencast Mining Simulation, Mining Informational and Analytical Bulletin, 2014, no. 12, pp. 45–51. [**Беляков Н. Н.** Моделирование открытых горных работ // ГИАБ. — 2014. — № 12. — С. 45–51.]
8. **Alenichev V. M. and Sukhanov V. I.** Prospects for the implementation of mining and geological information systems at domestic mining enterprises, Mining Informational and Analytical Bulletin, 2016, no. 8, pp. 5–15. [**Аленичев В. М., Суханов В. И.** Перспективы внедрения горно-геологических информационных систем на отечественных горных предприятиях // ГИАБ. — 2016. — № 8. — С. 5–15.]
9. **Guidelines** for open pit slope design, Edited by John Read and Peter Stacey, Published November 18, 2009 by CRC Press, 510 pp.
10. **Technical rules** for blasting operations in power engineering, Moscow, JSC “Institute Hydroproject”, 1997, 232 pp. [**Технические правила** ведения взрывных работ в энергетическом строительстве. — М.: АО “Институт Гидропроект”, 1997. — 232 с.]
11. **Rock Blasting** and explosives engineering, by Per-Anders Persson, Roger Holmberg, and Jaimin Lee, Published October 25, 1993 by CRC Press, 560 pp.
12. **Federal norms** and rules in the field of industrial safety “Safety rules for the production, storage and use of industrial explosives”, Approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of December 3, 2020, no. 494. [**Федеральные нормы** и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения”. — Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 года № 494.]

13. **Nagovitsyn O. V., Lukichev S. V., and Alisov A. Yu.** Problem solving of design and planning of open pit mining in Mineframe system, *Journal of Mining Institute*, 2012, vol 198, pp. 49–54. [**Наговицын О. В., Лукичев С. В., Алисов А. Ю.** Решение задач проектирования и планирования открытых горных работ в системе Mineframe // *Записки Горного института*. — 2012. — Т. 198. — С. 49–54.]
14. **Lukichev S. V. and Nagovitsyn O. V.** Digital modeling in solving problems of open and underground mining technology, *Mining Journal*, 2019, no. 6, pp. 51–55 [**Лукичев С. В., Наговицын О. В.** Цифровое моделирование при решении задач открытой и подземной горной технологии // *Горный журнал*. — 2019. — № 6. — С. 51–55.]
15. **Vinogradov A. I., Ivanov A. S., Gerasimov A. V., and Ovsyannikov A. N.** The geological and mining-surveyor support of the drilling and blasting operations at the open-cut mines with the use of the mining-geological informational GIS Geomix system, *Ferrous Metallurgy*, 2015, no. 10, pp. 32–34. [**Виноградов А. И., Иванов А. С., Герасимов А. В., Овсянников А. Н.** Геолого-маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ на карьерах с применением горно-геологической информационной системы ГИС Геомикс // *Черная металлургия*. — 2015. — № 10. — С. 32–34.]
16. **Kovalenko V. A.** Automated pre-production system in quarries. “Blast Maker”, *Mining Industry*, 2018, vol. 11, no. 3, pp. 104–106. [**Коваленко В. А.** Система автоматизированной подготовки производства на карьерах. “Blast Maker” // *Добывающая промышленность*. — 2018. — Т. 11. — № 3. — С. 104–106.]
17. **Nazarenko M. V.** Automation of planning and control of technological processes at mining enterprises, *Mining Journal of Kazakhstan*, 2019, no. 5, pp. 6–9. [**Назаренко М. В.** Автоматизация планирования и управления технологическими процессами на горных предприятиях // *Горный журнал Казахстана*. — 2019. — № 5. — С. 6–9.]