

ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 622.831 + 622.2

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ЭТАЖНЫМ ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ОБРУШЕНИЕМ РУДЫ

**В. А. Еременко¹, В. Н. Карпов², В. В. Тимонин²,
Н. Г. Барнов³, И. О. Шахторин²**

¹Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия

²Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

³Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,
ул. Вересаева, 15, 121357, г. Москва, Россия

Установлены причины снижения технико-экономических показателей системы разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды пучками скважинных зарядов диаметром 105 мм и одиночными диаметром 250 мм и увеличения затрат на бурение и времени ввода в эксплуатацию технологических блоков в условиях подземной разработки Абаканского месторождения. Рассмотрены варианты повышения производительности буровых работ в современных условиях.

Система разработки, этажное обрушение, удельный расход ВВ, диаметр скважины, буровой станок, пневмоударник, высокое давление воздуха, компрессорные станции, буровые коронки, расширители скважин, скорость объемного бурения

Системы разработки с этажным и подэтажным обрушением руды получили широкое распространение во всем мире. За рубежом доля использования данных систем составляет не менее 60 %, в России — свыше 70 % [1, 2].

Применение при разработке мощных и крутопадающих рудных тел системы этажного принудительного обрушения с отработкой месторождения сплошным фронтом без оставления целиков позволяет управлять горным давлением за счет погашения выработанного пространства обрушенными вмещающими горными породами. Ортовая схема подготовки горизонтов адаптирована к использованию данной системы и на протяжении длительного времени проходила совершенствование как по элементам, так и по способам подготовки и отбойки блоков [3]. Вариант системы разработки с отбойкой руды на компенсационные камеры эллипсоидной формы и зажатую среду пучками параллельно-сближенных скважинных зарядов ВВ диаметром 105 мм позволяет вести эффективную отработку в сложных горно-геологических и геомеханических условиях [4]. Наибольшее влияние на массив горных пород оказывают взрывные работы.

Недостатками применения скважинных зарядов ВВ диаметром 105 мм являются потери скважин от 30 до 50 % при подготовке блоков, невозможность увеличения производительности труда при бурении и зарядании всех скважин в сложных геомеханических условиях, что приводит к повышению выхода негабарита и снижению производительности при выпуске руды.

Для обеспечения безопасности, повышения эффективности горных работ и снижения негативного влияния взрывов большой мощности на массив горных пород разработан способ отработки крутопадающих мощных и средней мощности залежей устойчивых и среднеустойчивых руд, который прошел испытание на Абаканском руднике в Республике Хакасия [5, 6]. Данный способ включает проходку комплекса подготовительных и нарезных подземных горных выработок, отбойку и доставку руды, а также управление горным давлением. Отработка очистных блоков проводится одностадийной системой разработки этажного принудительного обрушения руд с применением скважин увеличенного диаметра — 130, 155 и 250 мм. Система разработки с отбойкой руды на зажатую среду позволяет выполнять погрузку и доставку руды с применением самоходных установок, а также перейти с этажного на подэтажное обрушение руды с уменьшением высоты этажей от 60–80 м до подэтажей с высотой 30–40 м (рис. 1). При этом в рассматриваемой системе бурение взрывных скважин увеличенного диаметра осуществляется с бурового горизонта в восходящем или нисходящем направлении, а также с использованием веерного бурения скважин.

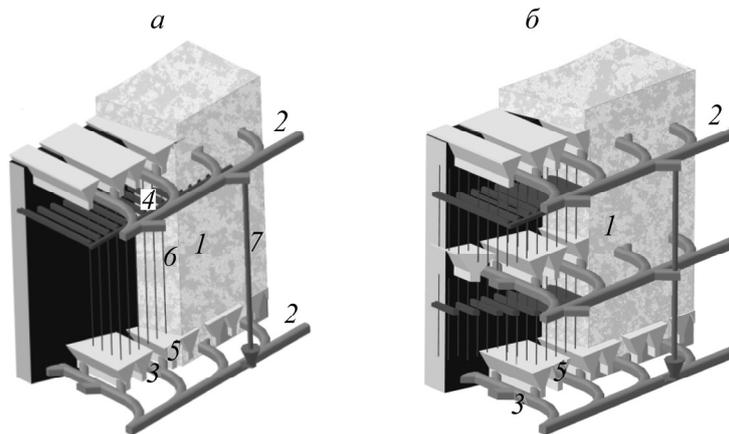


Рис. 1. Система разработки этажного (а) и подэтажного (б) обрушения с отбойкой руды слоями параллельными скважинами диаметром 250 мм на зажатую среду и применением для погрузки и доставки руды самоходной техники: 1 — зажатая среда; 2 — полевой штрек; 3 — орт; 4 — буровой орт; 5 — траншея; 6 — параллельные скважины увеличенного диаметра; 7 — рудоспуск

Разработанный способ имеет резервы повышения производительности труда при бурении скважин в 4–6 раз и способствует снижению сейсмического воздействия взрыва на прилегающий массив горных пород за счет уменьшения массы заряда ВВ до 10 т при отбойке каждого слоя руды в блоке. Если сравнивать с минимальной массой заряда ВВ не менее 120 т при массовом обрушении блоков, то воздействие взрыва на массив снижается в несколько раз.

Применение скважин увеличенного диаметра улучшает технико-экономические показатели по системе разработки, снижает удельный расход ВВ как на первичное, так и на вторичное дробление. При этом увеличивается производительность, глубина и точность бурения скважин.

Осуществлено несколько технологических взрывов слоев с помощью данного способа в IV рудном теле в этаже –95 ÷ –15 м в блоках № 1–5. Из-за недостаточного объема отбитой руды на разрабатываемых рудных участках месторождения для поддержания производительности рудника также периодически проводилось взрывание сразу нескольких подготовленных порядно слоев (рис. 2).

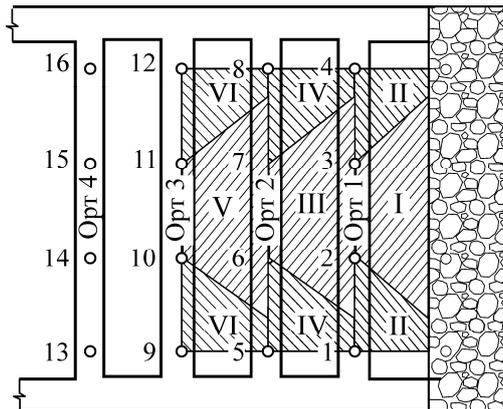


Рис. 2. Очередность взрывания слоев с интервалами замедления скважинами диаметром 250 мм на зажатую среду: 1 – 16 — номера скважин; I – VI — очередность взрывания

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ОБРУШЕНИЕМ РУДЫ И ПРИМЕНЕНИЕМ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН УВЕЛИЧЕННОГО ДИАМЕТРА

На Абаканском руднике проведены исследования по установлению возможных причин снижения технико-экономических показателей системы этажного принудительного обрушения с отбойкой руды пучками скважинных зарядов диаметром 105 мм и одиночным диаметром 250 мм. Задачи исследований включали следующие вопросы: эффективность системы разработки с этажным обрушением руды с применением для отбойки взрывных скважин увеличенного диаметра с момента их ввода в эксплуатацию; действующие образцы буровой техники, используемой на руднике; гарантийные и фактические ресурсы погружных пневмоударников и буровых коронок; выявление характера смещений взрывных скважин диаметром 250 мм, пробуренных в структурно нарушенном массиве горных пород технологических блоков, возникающих в условиях действия высокого горного давления.

Причина ввода в эксплуатацию системы разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды скважинными зарядами ВВ увеличенного диаметра — необходимость отработки рудных участков на больших глубинах в условиях действия высокого горного давления. В сложных горно-геологических и геомеханических условиях регистрировались случаи разрушения выработок подсечного и бурового горизонта (рис. 3а, б), при подготовке компенсационных камер и блоков происходило смещение, деформирование взрывных скважин диаметром 105 мм до 50 % от общего их количества (рис. 3б, в) [7, 8]. Как следствие, проводилось повторное бурение скважин со значительным увеличением времени подготовки блока к эксплуатации. Наблюдалась также неэффективная работа ВВ из-за переуплотнения заряда при зарядании восходящих пучковых скважин диаметром 105 мм и переувлажнения ВВ в нисходящих скважинах.

После успешных промышленных испытаний в 2008 г. система разработки с использованием скважинных зарядов диаметром 250 мм введена в эксплуатацию. С 2009 по 2010 г. применение данной системы позволило сократить затраты на проходку и поддержание выработок, а также на снижение объемов нарезных работ на сумму свыше 5 млн руб. (в ценах 2009 г.). В 2011 г. намечился резкий спад экономических показателей, в связи с чем в июле 2012 г. в эксплуатацию введена система отбойки руды на зажатую среду скважинами диаметром 105 и 130 мм. Динамика изменения добычи руды следующая: 2010 г. — объем добычи 2 014 736 т, 2011 г. — 1 706 446, 2012 г. — 1 888 559 т.

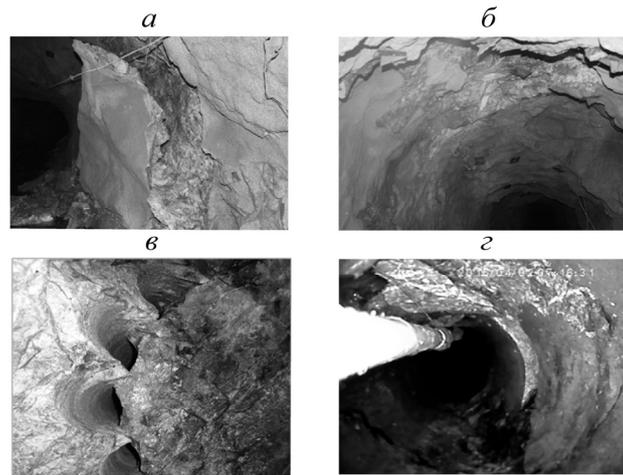


Рис. 3. Проблемы, связанные с действием высокого горного давления при отработке рудных участков на больших глубинах: вывалы породы с боков (а) и кровли (б) выработки; деформирование (в) и сдвиг (г) скважин диаметром 105 м

В табл. 1 и на рис. 4 представлены сравнительные характеристики изменения показателей удельного расхода ВВ на первичное и вторичное дробление: до внедрения системы разработки в 2007 г. (отбойка руды проводилась пучковыми скважинными зарядами диаметром 105 мм), промышленное испытание в 2008 г., введение в эксплуатацию с 2009 г. и до отказа от скважин диаметром 250 мм в 2012 г. (переход на систему с применением скважин диаметром 130 мм). Удельный расход ВВ на первичное дробление, кг/т: 2007 г. — 0.75, 2008 г.— 0.45, 2009 г.— 0.39, 2010 г.— 0.4, 2011 г.— 0.62, 2012 г.— 0.56.

Качественное дробление руды при первичной отбойке с применением скважин диаметром 250 мм позволило снизить объемы расходуемого ВВ на вторичное дробление в 1.48 раза в 2010 г., в последующие годы расход сопоставим с традиционно применяемой технологией. Расход ВВ на вторичное дробление, кг: 2010 г. — 71 824, 2011 г. — 106 664, 2012 г. — 106 197. Значительно уменьшились объемы подготовительно-нарезных выработок (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Показатели объемов пройденных подготовительно-нарезных выработок на Абаканском руднике в 2009–2012 гг.

Показатель	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Расход ВВ, кг	—	113035	120633	150799.5
Пройдено горных выработок, пм/м ³	—	5358/33306	5860/35092	6345/37142
Удельный расход ВВ:				
кг/м	21.7	21.1	20.58	23.77
кг/м ³	3.52	3.39	3.44	4.06

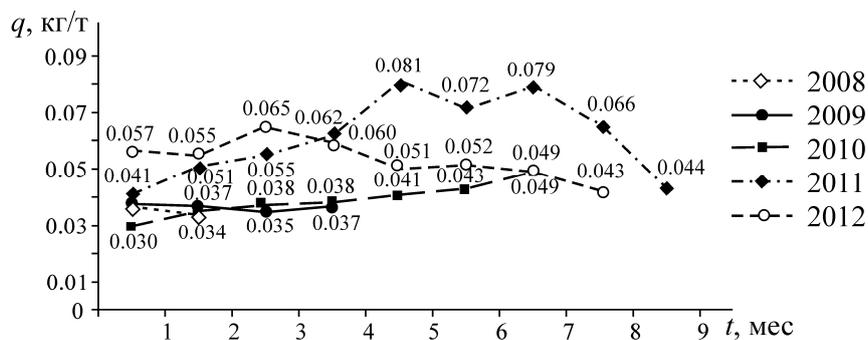


Рис. 4. Удельный расход ВВ на вторичное дробление

В 2011 г. ухудшились показатели по первичному и вторичному дроблению в 1.55 и 1.6 раза соответственно, что привело к снижению добычи руды (рис. 4). Причина заключалась в возникновении проблем, связанных со сдвижением скважин диаметром 250 мм, пробуренных в структурно-нарушенных и напряженных массивах горных пород на больших глубинах. Наиболее распространенный механизм деформирования — сдвиг оси скважины на различной глубине от устья в интервале 10–30 м. Исследование процессов деформирования и сдвигов скважин проводилось с помощью технологии оперативного мониторинга НДС массива горных пород [7]. Сдвиг оси изменялся от 0.5 до 2 диаметров (125–500 мм и более) (рис. 5). Следует отметить, что скважина диаметром 250 мм заменяет 7–8 пучковых скважин диаметром 105 мм и не перебуривается в отличие от скважин диаметром 105, 130 и 155 мм.

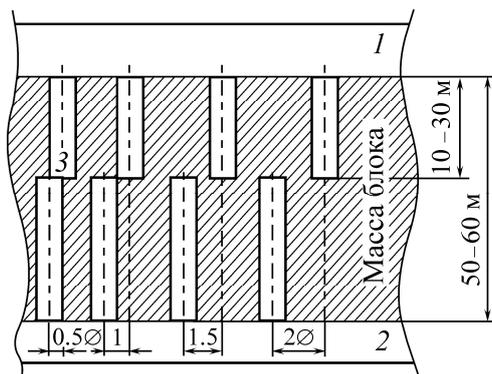


Рис. 5. Схема сдвига скважин диаметром 250 мм: 1 — буровой горизонт; 2 — подсечной горизонт; 3 — деформируемая скважина; Ø — диаметр скважины

Скважины диаметром 250 мм при их сдвижении приходилось заряжать с верхнего бурового и нижнего подсечного горизонта (рис. 6а), а не с верхнего, как утверждено в проекте (рис. 6б). В связи с этим возникали проблемы с заряданием скважин диаметром 250 мм с подсечного горизонта из-за того, что ВВ не удерживалось в скважине и под действием силы тяжести падало вниз (диаметр рукава, подающего ВВ, 40–50 мм). Подобные трудности приводили к увеличению трудоемкости подготовительных работ и снижению плановых показателей по введению технологических блоков в эксплуатацию.

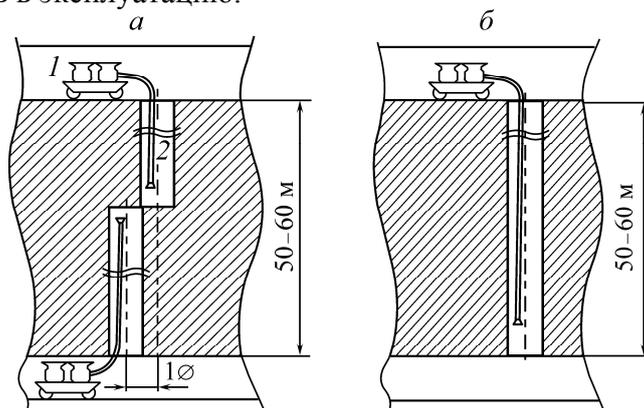


Рис. 6. Схема зарядания деформируемых (а) и недеформируемых (б) скважин диаметром 250 мм: 1 — смесительно-зарядная машина; 2 — рукав

Основная причина деформирования и сдвига скважин — незапланированное и длительное обуривание блоков. Например, в 2009–2010 гг. взрывные скважины диаметром 250 мм бурились интенсивнее в период релаксации массива от действия высокого горного давления. При сдвигах

весь диаметр скважин не перекрывался и зарядание проводилось с верхнего бурового горизонта. Скважины также деформировались во время проведения массовых и технологических взрывов в соседних подготавливаемых блоках и слоях.

Выявлены причины резкого снижения качества первичной отбойки в 2011 г.: переход на более дешевое и менее мощное ВВ, ухудшение организации буровзрывных работ, сдвигание и некачественная зарядка скважин. Определены основные причины увеличения затрат на бурение взрывных скважин диаметром 250 мм и времени ввода в эксплуатацию взрывных блоков (материалы экспедиций ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала, организованных в 2009 и 2013 гг.).

До перехода на систему отбойки скважинными зарядами диаметром 130 мм в июле 2012 г. сменная производительность по сравнению с 2009 г. снизилась на 30 %, а прямые затраты за полгода выросли на 17 %. Сменная производительность станка СБУ-6 при бурении скважин диаметром 250 мм составила, п.м: 2009/10 гг. — 7; 2011 г. — 5.53; 2012 г. — 5.38.

По представленным в табл. 2 результатам расчета прямых затрат на бурение 1 п.м скважин диаметром 250 мм (за 2011 г.) установлено, что основная доля расходов (не менее 30 %) приходится на погружные пневмоударники П-150С, остальные затраты по убыванию идут на заработную плату, коронки-расширители, сжатый воздух, обслуживание и ремонт станков СБУ-6, буровые коронки КНШ-150 и пр.

ТАБЛИЦА 2. Прямые затраты на бурение 1 п.м скважин диаметром 250 мм станком СБУ-6 в 2011 г. при бурении 6 599 п.м скважин с производительностью 5.53 м/см

Показатель	Стоимость ед., руб.	Расход за год, шт.	Стоимость расходов за год, руб.	Стоимость расходов на 1 п.м, руб.
СБУ-6 (амортизация)	2 000 000	4	1 613 148	244.5
Пневмоударник П-150С	42 551	99	4 212 549	638.4
Коронка-расширитель РС-250	37 089	68	2 520 928	382
Коронка КНШ-150	10 866	70	760 620	115.3
Штанга СБУ	4 274	67	286 358	43.4
Сжатый воздух	231.4 руб./1000 ³	19 м ³ /мин	2 032 109	307.9
Масло	29603 руб./т	3 л/смену	105 976	16.1
Заработная плата	36 532 руб./мес + 37.5%	1193.3 ч/см	2 895 741	438.8
Сумма			14 427 429	2 166.4

К 2012 г. качество пневмоударников П-150С снизилось, из годовой партии закупленных машин 20 % оказались бракованными (не запускались). Ресурс пневмоударников на отказ по сравнению с первыми партиями,купаемыми для рудника начиная с 2004 г., упал в 2.8 раза, а по сравнению с началом ввода в серийное производство — в 4 раза. Следует отметить, что гарантийный ресурс пневмоударников, заявленный в техническом паспорте машин П-150С, составляющий 300–350 п.м при крепости пород $f = 12–14$, не соответствует этим показателям. Реальные эксплуатационные показатели ниже заявленных не менее чем в 2 раза. При соответствии гарантийных ресурсных характеристик машин, указанных в паспорте, с эксплуатационными потенциал снижения годовых затрат на приобретение пневмоударников составит 2.3 млн руб., а при ресурсе 660 п.м (серии машин, выпускаемых до 2004 г.) с учетом 10 % годового резерва пневмоударников, закладываемых рудником, может составлять 3.2 млн руб. в ценах 2011 г. На рис. 7 представлена зависимость годовых затрат, расходуемых на пневмоударник П-150С при бурении 1 п.м скважин диаметром 155 и 250 мм, от ресурса машины на отказ.

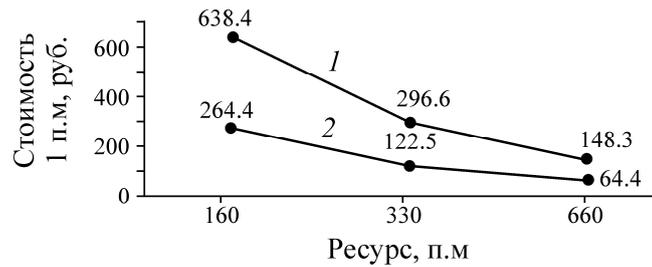


Рис. 7. Зависимость годовых затрат на пневмоударник П-150С при бурении 1 п.м скважин диаметром 250 и 150 мм по породам крепостью $f = 12 - 14$ от ресурса на отказ

В настоящее время погружные пневмоударники, выпускаемые для подземных условий освоения рудных месторождений, по расходным характеристикам бурового оборудования на 1000 п.м приближаются к буровым коронкам, а в ряде случаев и превосходят расходные показатели инструмента. В табл. 3 приведены комплекты бурового оборудования для бурения скважин диаметром 250 мм, а также расходные характеристики пневмоударников и буровых коронок для П-150С и П-155-4/1 на 1000 п.м по Абаканскому руднику. Бурение скважин данного типоразмера станком СБУ-6 выполняется в два этапа: осуществляется бурение пилотной скважины диаметром 155 мм и последующее ее расширение до диаметра 250 мм. В 2013 г. объем использования скважин диаметром 250 мм значительно снизился до 200 п.м, гарантийный ресурс новых пневмоударников (170 п.м, $f = 12 - 14$) отличался от эксплуатационного меньше чем в 2.6 раза (66 п.м).

ТАБЛИЦА 3. Расход бурового оборудования по Абаканскому руднику на 1000 п.м

Погружные пневмоударники	Количество, шт.	Буровые коронки	Количество, шт.
ОАО "Серовский механический завод"			
П-150С	6.2	КНШ-155	12.5
Данные на 2012 г.	—	РС-250	12.1
ОАО "Кыштымское машиностроительное объединение"			
П-155-4.1 (М32К)*	15	КНШ-155П.ШВ.14.	11
Данные на 2013 г.	—	Р155-250-2	66

*Пневмоударник М-32К, разработанный в ИГД СО РАН, в 1985 г. снят с серийного производства из-за низких энергетических характеристик. Нарботка на отказ при поступлении в серию в 1964 г. составляла 600 п.м, расход пневмоударников на 1000 п.м — 1.6 шт. [9]

При проведении экспедиционных исследований определены основные причины увеличения затрат на бурение и времени ввода в эксплуатацию технологических блоков в условиях подземной разработки Абаканского месторождения: низкий ресурс пневмоударников, увеличивающий количество спускоподъемных операций и снижающий производительность бурения; выход из строя станков СБУ-6 (количество отказов возросло в 2–3 раза по сравнению с 2009 г.) из-за низкого качества поставляемого ремонтного комплекта; изношенность внутришахтных воздушных магистралей, не обеспечивающих пневмоударнику требуемого номинального давления рабочей среды, что приводит к снижению скорости бурения; перерасход бурового инструмента из-за низкого сетевого давления, снижающего скорость шламотранспорта через затрубное пространство к устью скважины, что способствует переизмельчению буровой мелочи, приводящему к преждевременному износу инденторов буровых коронок и увеличению спускоподъемных операций; потери пневмоударников и бурового става из-за пустот, расположенных внутри блока,

или пустот, образуемых при бурении пилотных скважин по мягким трещиноватым породам, приводящим к заклиниванию пневмоударника и бурового става из-за заполнения образованных полостей частицами отбитой породы в результате резкого перепада площади затрубного пространства при движении к устью скважины (регулярные потери пневмоударников составляли от одного до трех – четырех в месяц, потери бурового става до 40 п.м в месяц). Рассмотрены варианты повышения производительности буровых работ в условиях применения системы разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды пучками скважинных зарядов диаметром 105 мм и одиночными диаметром 250 мм в современных условиях.

В настоящее время большинство горнодобывающих предприятий Российской Федерации используют буровые станки и пневмоударники, работающие от шахтной сети низкого давления, не превышающего 0.6 МПа. Представлены возможности увеличения скорости бурения взрывных скважин диаметром 105 и 250 мм на низком давлении сжатого воздуха для рассматриваемой системы разработки. Из серийно выпускаемых отечественных пневмоударников низкого давления в своем типоразмерном ряду П-150С имеет наиболее высокие энергетические характеристики. Обеспечение надежной работы пневмоударника и увеличение ресурсных показателей до уровня поступления в серийное производство (600–700 п.м) — основной путь надежного обеспечения технологии добычи руды с применением пневмоударников П-150С при работе на низком давлении воздуха [10].

Перспективой серийной замены пневмоударника П-150С является пневмоударник П-155Р, разработанный в ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала. Сравнительные испытания пневмоударников осуществлялись на Абаканском руднике. В табл. 4 приведены характеристики испытываемых комплектов. Сменная производительность опытной модели пневмоударника П-155Р при бурении пилотных скважин диаметром 155 мм на станке СБУ-6 по породам крепостью $f = 12–14$ составила 20.8 п.м, что в 1.5 раза выше показателей, полученных при испытаниях П-150С. К основным отличительным особенностям пневмоударника П-155Р следует отнести простоту конструкции, технологичность изготовления и потенциал увеличения скорости бурения в 2–3 раза за счет использования повышенного давления воздуха до 1.6 МПа. Более подробная информация о машине представлена в [11, 12].

ТАБЛИЦА 4. Технические характеристики пневмоударников П-150С и П-155Р

Показатель	Значение показателя	
	П-155Р	П-150С
Пневмоударник (модель)	П-155Р	П-150С
Диаметр бурения, мм	155	155
Наружный диаметр, мм	142	140
Расход воздуха, м ³ /мин	10	10
Масса ударника, кг	17.35	15.3
Энергия удара, Дж, не менее (при 0.5 МПа)	320	350
Частота ударов, Гц (при 0.5 МПа)	18	18
Ударная мощность, кВт, не менее (при 0.5 МПа)	5.8	6.3
Рабочее давление, МПа	0.4–0.7	0.4–0.7
Масса буровой коронки диаметром 155, кг	15	12.5
Масса РС диаметром 250, кг	32	30

Возможности повышения энергетических параметров бесклапанных погружных пневмоударников низкого давления в настоящее время практически исчерпаны. В ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала разработан и успешно прошел испытания клапанный погружной пневмоударник ПП 110 ЭН, не имеющий аналогов в России [13–15].

Особенностью схемы пневмоударника является комбинированное воздухораспределение, включающее ступенчатый клапан с выхлопной полостью. Рабочий цикл машины обеспечивает изменение структуры мощности в пользу увеличения энергии удара в 1.5–2 раза по сравнению с серийными пневмоударниками М48, П105ПМ, П105К (ранние разработки ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала) [16]. В новой конструкции пневмоударника улучшена силовая характеристика рабочего цикла, способствующая увеличению ресурса машины, а также условия передачи крутящего момента и ударной мощности породоразрушающему инструменту. Пневмоударник снабжен шламозащитным обратным клапаном, который исключает его зашламовывание, и адаптирован к повышенному содержанию воды в энергоносителе — обязательное требование для пылеподавления. Пневмоударник позволяет проходить межэтажную скважину длиной 50–70 м за один проход без подъема, что сокращает вспомогательное время для замены инструмента.

На рис. 8 представлены энергетические показатели погружного пневмоударника ПП 110 ЭН с возможностью его применения при изменении магистрального давления энергоносителя в диапазоне от 0.35 до 0.6 МПа, при котором значение энергии удара варьирует в пределах 90–180 Дж, что позволяет эффективно разрушать породы при пониженном давлении энергоносителя. Отметим, что даже при ограниченном магистральном давлении энергоносителя (0.35 МПа) значение энергии единичного удара ударника соответствует некоторым отечественным аналогам пневмоударников при нормальном 0.5–0.6 МПа давлении сжатого воздуха в магистрали [17].

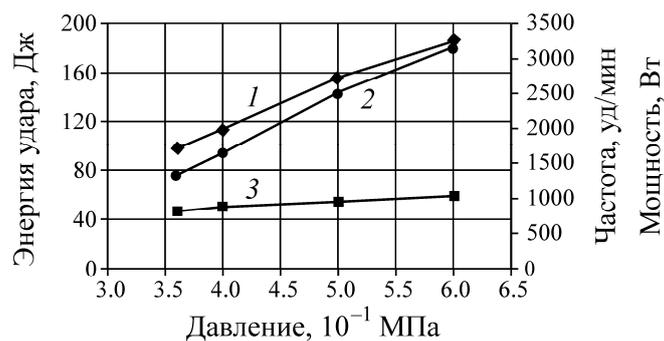


Рис. 8. Изменение энергетических показателей погружного пневмоударника ПП 110 ЭН от давления энергоносителя: 1 — энергия удара; 2 — мощность; 3 — частота ударов

При высоких мощностных характеристиках в своем типоразмерном ряду ресурс опытного образца пневмоударника ПП 110 ЭН при бурении взрывных скважин станком НКР-100МПА по породам крепостью $f = 12 - 14$ в несколько раз превышает ресурс отечественных аналогов и составляет 600 п.м. Результаты ресурсных испытаний пневмоударника носят предварительный характер, наработка на отказ будет продолжена после изготовления новой партии оригинальных буровых коронок к пневмоударнику.

Использование пневмоударников ПП 110 ЭН и П-155Р (рис. 9) для бурения скважин диаметром 105 и 250 мм на низком давлении энергоносителя на отечественных буровых станках при условии строгого соблюдения технологии их изготовления и применяемых материалов позволит сократить время буровых работ при качественной организации не менее чем в 1.5 раза по сравнению с 2009–2010 гг., а также снизить количество потерянных и смещенных взрывных скважин.

По предварительным оценкам, потенциал снижения затрат по одному взрывному блоку за счет использования предлагаемых комплектов погружных пневмоударников низкого давления на станках СБУ-6 и НКР-100МПА (при условии надежности парка буровых станков и качества поставляемого ремонтного комплекта, сопоставимого с показателями 2009–2010 гг.) может составлять 10–12 млн руб. в ценах 2011 г.

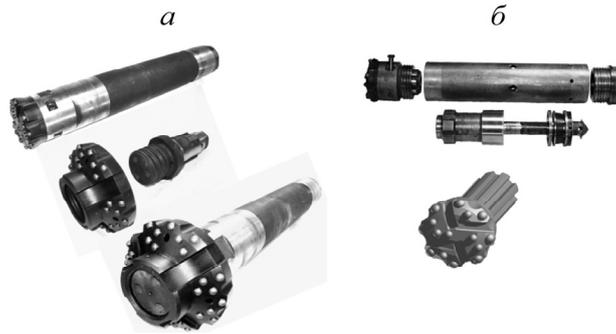


Рис. 9. Пневмоударники П-155Р (а) и ПП 110 ЭН (б) с комплектом вооружения

Важнейшим резервом повышения технико-экономических показателей систем разработки с обрушением руды служит использование надежного, простого в обслуживании, безопасного бурового станка, обеспечивающего бурение скважин в диапазоне диаметров 105–160 мм при бурении сплошным забоем и путем расширения скважин до диаметра 250 мм. В [18–20] представлены отечественные варианты выпускаемых буровых станков и их сравнительные технико-эксплуатационные характеристики. Дополнительным резервом снижения затрат на закупку бурового оборудования является эффективная заточка буровых коронок, что в 2–3 раза увеличивает их ресурс. На Абаканском руднике при ведении буровых работ заточка инструмента не проводилась.

Одно из важнейших преимуществ системы разработки с этажным обрушением руды с применением скважин диаметром 250 мм — высокая скорость объемного бурения, позволяющая снизить количество пробуренных взрывных скважин по блокам, в сравнении с использованием скважинных зарядов диаметром 105 мм, на 30 %, подготовительно-нарезных выработок — на 20 %, а затраты на подготовительно-восстановительные работы — на 20 % [21].

Несмотря на высокую линейную скорость бурения скважин диаметром 105 мм, обеспечивающую сменную производительность на станках НКР-100МПА и НКР-100МА — 18 и 25 п.м (многостаночное обслуживание), при работе на давлении воздуха 0.5 МПа объемная скорость бурения скважин диаметром 250 мм выше в 2.2 и 1.6 раза соответственно (рис. 10). Высокая скорость объемного бурения при образовании скважин диаметром 250 мм — резерв эффективного использования низкого давления в рудниках на отечественном буровом оборудовании.



Рис. 10. Зависимость скорости объемного бурения скважин диаметром 250, 155 и 105 мм от сменной производительности станка СБУ-6 и НКР-100МПА (данные Абаканского рудника 2009–2010 гг.)

Рассмотрены дальнейшие перспективы повышения сменной производительности за счет применения пневмоударников высокого давления для бурения скважин увеличенного диаметра. В настоящее время вопрос использования высокого давления в рудниках становится все более

актуальным. Этому способствуют отечественные машиностроительные предприятия, в частности ЗАО “Машиностроительный холдинг”, выпускающий буровые станки, адаптированные к высокому давлению воздуха. Высокое давление энергоносителя обеспечивает дожимная самоходная компрессорная станция СКС17/25, работающая от воздушной магистрали шахтной сети 0.4–0.6 МПа: давление на выходе до 2.5 МПа с расходом воздуха 17 м³/мин.

На рис. 11 представлена продукция предприятия: легкий буровой станок БП-100, обеспечивающий бурение скважин диаметром 110–130 мм на высоком давлении энергоносителя, станок БП-100С, обеспечивающий бурение скважин диаметром 160 мм, и компрессорная станция СКС17/25. Более подробная информация о технических характеристиках отечественного бурового оборудования высокого давления приведена в [22, 23].

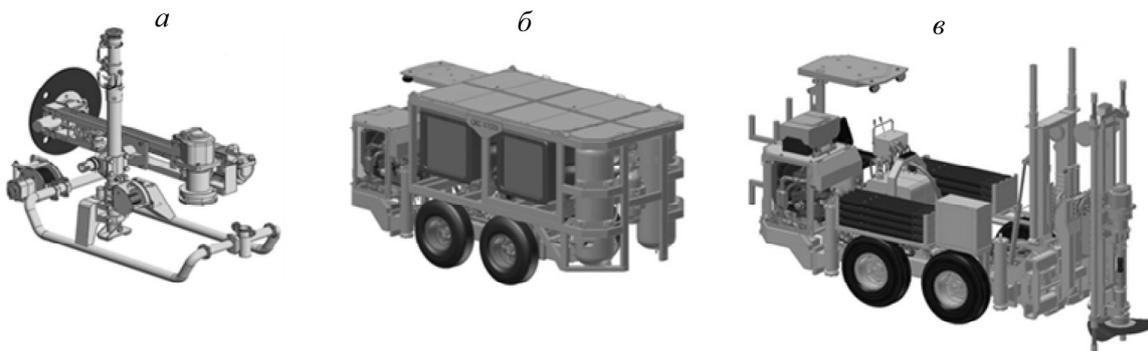


Рис. 11. Буровое оборудование высокого давления компании ЗАО “Машиностроительный холдинг”: а — БП-100; б — СКС 17/25; в — БП-100С

В ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала осуществлены промышленные испытания погружного пневмоударника высокого давления ПВ-170М. По механической скорости бурения машина превосходит все серийные аналоги отечественных пневмоударников (рис. 12). Основной объем буровых работ выполнен в диапазоне рабочего давления 1.2–1.6 МПа по породам крепостью $f = 12–16$ (граниты, мраморизированный известняк, диабазы). Пневмоударником ПВ-170М пробурено 645 п.м скважин диаметром 172 мм без отказов и поломок. Испытания проведены с учетом результатов исследований системы воздухораспределения машины в лабораторных и полевых условиях. Установлено, что механическая скорость бурения сопоставима, а в ряде случаев превосходит зарубежные аналоги. Конструктивные изменения, внесенные в механизм воздухораспределения по результатам проведенных исследований, позволили повысить производительность машины на 20–30 % в условиях Коенского каменного карьера Тогучинского района Новосибирской области при давлении 1.4 МПа ($f = 16$, диабазы) [24, 25]. В настоящее время продолжение ресурсных испытаний машины отсрочены до изготовления новой партии бурового инструмента.

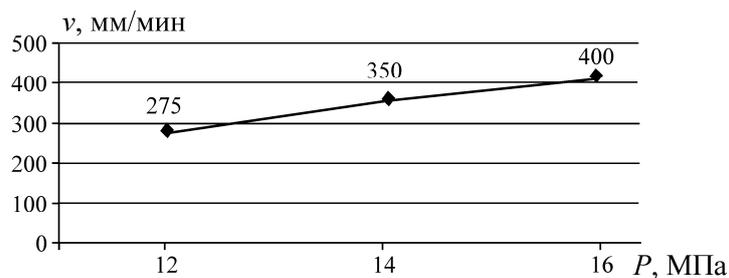


Рис. 12. Зависимость скорости бурения от рабочего давления пневмоударника ПВ-170М

Промышленное использование пневмоударника ПВ-170М на повышенном давлении энергоносителя в 1.2 МПа по своей производительности позволяет использовать одну буровую установку типа БП-100С с дожимным компрессором СКС17/25 вместо двух станков низкого давления типа СБУ-6 или БП-100 при бурении скважин диаметром 160 и 250 мм по породам крепостью $f = 12 - 14$.

Потенциалом снижения технико-экономических затрат и повышения сменной производительности при проведении буровых работ способна стать адаптация легких (недорогих) буровых станков типа БП-100 к бурению скважин диаметром до 160 мм на повышенном давлении воздуха с использованием отечественного пневмоударника ПВ-170М. В данном сочетании бурового оборудования при работе на давлении сжатого воздуха в 1.2 МПа с учетом имеющихся ресурсных и скоростных характеристик пневмоударника ПВ-170М прямые затраты на бурение 1 п.м скважин диаметром 250 мм при годовом объеме буримых скважин 6599 п.м снизятся на 43 %, а сменная производительность возрастет в 3.6 раза и составит 20 п.м по сравнению с технико-экономическими показателями 2011 г., приведенными в табл. 2.

Прогрессивный шаг к повышению эффективности рассматриваемой системы разработки — использование скважин диаметром 190–216 мм, пробуренных сплошным забоем с высокой как линейной, так и объемной скоростями бурения. Сменная производительность при этом возрастает не менее чем в 2 раза из-за отсутствия необходимости в разбуривании пилотных скважин коронками-расширителями. К примеру, при использовании скважины диаметром 190 мм, заменяющей 5–6 взрывных скважин диаметром 105 мм, сменная скорость объемного бурения при рабочем давлении 2.4 МПа по породам крепостью $f = 12 - 14$ в зависимости от модели пневмоударника высокого давления может составлять 2.06–2.8 м³, что в 6–8 раз выше объемной скорости бурения скважин диаметром 250 мм при использовании бурового оборудования низкого давления.

В настоящее время буровые комплексы, обеспечивающие бурение взрывных скважин сплошным забоем диаметром 89–216 мм, а также с расширением пилотных скважин до диаметра 445 мм на глубину до 100 м, выпускает канадская компания Cubex (с 2013 г. компания продала технологии изготовления буровых комплексов шведской компании Sandvic), впервые в мире осуществившая запуск серийных буровых комплексов высокого давления (2.4 МПа) для подземных горных работ в 1986 г. Компания Cubex — лидер по производству мощных автономных и компактных буровых комплексов для подземных горных работ, обеспечивающих бурение скважин большого диаметра.

На рис. 13 приведены технические характеристики самоходного бурового комплекса DU311-T (ORION), в табл. 5 — варианты компрессорных станций для подземных условий, обеспечивающих высокую производительность бурения при давлении воздуха до 2.7 МПа. В настоящее время российских аналогов представленного компрессорного оборудования для подземных горных работ отечественная промышленность не выпускает. Мощные компрессорные станции высокого давления обеспечивают бурение скважин сплошным забоем диаметром 203–216 мм, а с использованием расширителей, например модель компании Machines Roger International (Канада) V-30, — до 762 мм. Данный комплект используется только на буровых комплексах, разработанных компанией Cubex. Следует отметить, что кроме бурения вентиляционных и дренажных скважин, рудоспусков, скважин для прокладки трубопроводов воды, воздуха и др., одним из основных назначений V-30 является образование аварийных выходов для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в подземных рудниках. Буровое оборудование канадских компаний успешно зарекомендовало себя на удароопасных месторождениях США, Канады, Бразилии, Мексики, Перу. В России опыт разработки и со-

здания модульных расширителей скважин различного типоразмера принадлежит ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала, некоторые из разработанных образцов, например РС-220, в настоящее время выпускаются в странах ближнего зарубежья (Украина, Казахстан). Опыт создания, перспективы и потенциал использования машин данного класса рассмотрен в работах [26–29].

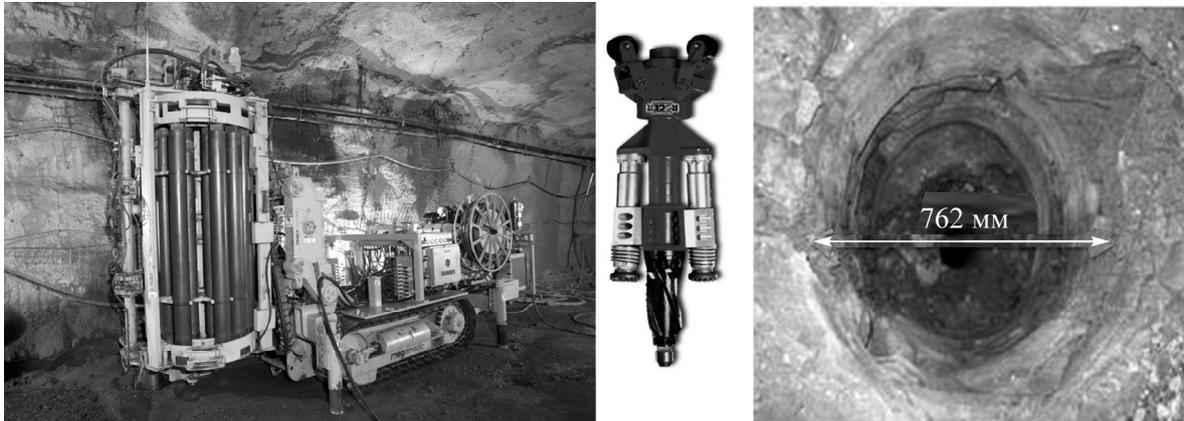


Рис. 13. Буровое оборудование для бурения скважин большого диаметра

Модель установки	Диаметр		Глубина бурения, м	Габаритные размеры транспорта, мм	Масса, кг	Уклон, %	v , км/ч	$M_{кр}$, Нм	$v_{вр}$ става, об/мин	Усилие подачи кН
	СЗ*	Р**								
DU311-T	89–216	445	100	3 581	12 700	35	2	8520	50	70
		V-30*** 89–762		2 746 1 829						

*СЗ — бурение сплошным забоем; **Р — бурение расширителями скважин;
***V-30 — расширитель компании Machines Roger International.

ТАБЛИЦА 5. Компрессорные станции Sandvic (Cubex) для подземных горных работ

Модель	Мощность, кВт	Номинальное давление, МПа	Расход воздуха, м ³ /мин
KR055	55	2.4	20.3
KR110	110	2.4	42.5
KS112	112	2.76	30
KS150	150	2.76	37

Ближайшими аналогами канадских буровых комплексов является серия отечественных буровых установок пневмоударного бурения УБС-150 производства ОАО “Кыштымское машиностроительное объединение”, последняя разработка — установка УБС-150-01, обеспечивающая бурение скважин до 190 мм на глубину до 250 м. Машина адаптирована к использованию высокого давления воздуха, но информация о проведении испытаний и эксплуатации буровых установок на высоком давлении в подземных условиях в открытой печати не найдена. С учетом технических характеристик машины, предложенных разработчиком, буровая установка может использовать широкий диапазон расширителей скважин, включая V-30 или потенциальные аналоги отечественного производства. Более подробно информация о предложенной серии подземных буровых машин отечественного производства представлена в работах [6, 19, 30].

Мощные компрессорные станции типа KS115 и KS150 обеспечивают высокую механическую скорость бурения и очистку скважин.

Следует отметить современную тенденцию ведущих зарубежных компаний, выпускающих горное оборудование, к совмещению двух ударных систем ударно-вращательного способа бурения на одном буровом комплексе [31, 32]. Машины могут оснащаться как пневмоударным (ITH), так и гидроударным (WRD) модулями. Представленный в статье буровой комплекс из этой серии машин.

Зарубежный опыт приведен не случайно, а в качестве ориентира для отечественного машиностроительного комплекса. Низкое качество технического обеспечения применяемых систем разработки с обрушением руды или его отсутствие вынуждает собственников горнодобывающих предприятий переходить на использование зарубежной техники и технологий добычи. Пример — Абаканский рудник: сменив собственника предприятия в 2014 г., перешел на технологию добычи с помощью самоходных буровых комплексов ударно-вращательного бурения импортного производства.

ВЫВОДЫ

Для обеспечения безопасности, повышения эффективности горных работ и снижения негативного влияния взрывов большой мощности на массив горных пород разработан способ отработки крутопадающих мощных и средней мощности залежей устойчивых и среднеустойчивых руд, который прошел испытание на Абаканском руднике в Республике Хакасия. Данный способ включает проходку комплекса подготовительных и нарезных подземных горных выработок, отбойку и доставку руды, а также управление горным давлением. Отработка очистных блоков проводится одностадийной системой разработки этажного принудительного обрушения руд с применением скважин увеличенного диаметра — 130, 155 и 250 мм. Разработанный способ имеет резервы повышения производительности труда при бурении скважин в 4–6 раз и способствует снижению сейсмического воздействия взрыва на прилегающий массив горных пород за счет уменьшения массы заряда ВВ до 10 т при отбойке каждого слоя руды в блоке.

Снижение технико-экономических показателей системы разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды пучками скважинных зарядов диаметром 105 мм и одиночными диаметром 250 мм, а также увеличение затрат на бурение и времени ввода в эксплуатацию технологических блоков в условиях подземной разработки Абаканского месторождения обусловлено низким ресурсом пневмоударников, увеличивающим количество спускоподъемных операций и снижающим производительность бурения, выходом из строя станков СБУ-6 из-за низкого качества поставляемого ремонтного комплекта и изношенностью внутришахтных воздушных магистралей, не обеспечивающих пневмоударнику требуемое номинальное давление рабочей среды, что приводит к снижению скорости бурения и перерасходу бурового инструмента ввиду низкого сетевого давления и др.

Рассмотрены варианты повышения производительности буровых работ в условиях применения системы разработки с обрушением руды в современных условиях. Обеспечение надежности работы пневмоударника П-150С и увеличение ресурсных показателей до уровня поступления в серийное производство — основной путь надежного обеспечения технологии добычи руды. Перспективой серийной замены пневмоударника П-150С является пневмоударник П-155Р, разработанный в ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала. Использование пневмоударников ПП 110 ЭН и П-155Р для бурения скважин диаметром 105 и 250 мм на низком давлении энергоносителя и

применение буровых станков при соблюдении технологий изготовления, материалов и качественной организации буровых работ позволит сократить время буровых работ в 1.5 раза и снизить количество потерянных и смещенных взрывных скважин. Потенциалом снижения технико-экономических затрат и повышения сменной производительности при проведении буровых работ способна стать адаптация недорогих буровых станков типа БП-100 к бурению скважин до диаметра 160 мм на повышенном давлении воздуха с использованием отечественного пневмоударника ПВ-170М.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И.** Разработка руд на больших глубинах. — М.: Недра, 1982.
2. **Горные науки: освоение и сохранение недр Земли** / под ред. К. Н. Трубецкого. — М.: Изд-во АГН, 1997.
3. **Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П.** Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов. — Новосибирск: Наука, 2008.
4. **Курленя М. В., Серяков В. М., Еременко А. А.** Техногенные геомеханические поля напряжений. — Новосибирск: Наука, 2005.
5. **Еременко В. А., Лобанов Е. А., Котляров А. А., Лушников В. Н., Маловичко Д. Н.** Новая технология снижения сейсмического воздействия массовой отбойки руды при разработке удароопасных месторождений // Горн. журн. — 2012. — № 9.
6. **Еременко В. А., Карпов В. Н., Филатов А. П., Котляров А. А., Шахторин И. О.** Совершенствование системы разработки с отбойкой руды на зажатую среду при освоении удароопасных месторождений // Горн. журн. — 2014. — № 1.
7. **Еременко В. А., Ерина Е. Н., Семенякин Е. Н.** Разработка технологии оперативного мониторинга НДС массива горных пород // Горн. журн. — 2015. — № 8.
8. **Карпов В. Н.** Проблемы освоения нижележащих горизонтов в рудниках России и пути их решения // Маркшейдерия и недропользование. — 2013. — № 3.
9. **Емельянов П. М., Есин Н. Н., Зиновьев А. А., Семенов Л. И., Суксов Г. И.** Машины для бурения скважин погружными молотками в подземных условиях. — Новосибирск: СО АН СССР, 1965.
10. **Репин А. А., Алексеев С. Е., Попелюх А. И.** Методы повышения надежности деталей ударных машин // ФТПРПИ. — 2012. — № 4.
11. **Карпов В. Н., Щептев Е. Н.** Использование пневмоударных расширителей скважин в подземных условиях // Фундаментальные проблемы формирования техногенной среды: конф. с участием иностр. ученых. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010.
12. **Пат. на п.м. 94616 РФ.** Погружной пневмоударник / А. А. Репин, С. Е. Алексеев // Оpubл. в БИ. — 2012. — № 15.
13. **Пат. 2463431 РФ.** Погружной пневмоударник / А. А. Липин, Н. Н. Заболоцкая // Оpubл. в БИ. — 2012. — № 28.
14. **Тимонин В. В., Липин А. А.** Погружные пневмоударники для подземных условий отработки удароопасных месторождений // Геодинамика и современные технологии отработки удароопасных месторождений: труды II науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Таштагольского филиала. — Таштагол: Евраз, 2011.

15. **Тимонин В. В.** Погружные пневмоударники ПП 110 ЭН для подземных условий отработки месторождений // Модернизация и инновационное развитие архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: фундаментальные и прикладные исследования: материалы 65-й науч.-практ. конф. ФГБОУ ВПО “СибАДИ”. — Омск: СибАДИ, 2011.
16. **Суднишников Б. В., Есин Н. Н., Тупицын К. К.** Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. — Новосибирск: Наука, 1985.
17. **Тимонин В. В.** Погружные пневмоударники для подземных условий отработки месторождений // Горн. оборудование и электромеханика. — 2015. — № 2.
18. **Люханов В. В., Алферов С. Б.** Использование бурового инструмента и оборудования производства ЗАО “Машиностроительный холдинг” // Горн. пром-сть. — 2010. — № 4.
19. <http://www.mash-hold.ru/>.
20. <http://www.oaokmo.ru/>.
21. **Байбородов Я. Н.** Разработка параметров расположения вертикальных концентрированных и параллельно-сближенных зарядов ВВ увеличенного диаметра при выемке рудных тел (на примере Абаканского месторождения): автореф. ... дис. канд. техн. наук. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011.
22. **Люханов В. В., Алферов С. Б.** ЗАО “Машиностроительный холдинг”: модернизация бурового станка БП-100С в условиях ОАО “Гайский ГОК” // Горн. пром-сть. — 2013. — № 3.
23. **Люханов В. В., Алферов С. Б.** Буровой комплекс на высокое давление сжатого воздуха производства ЗАО “Машиностроительный холдинг” // Горн. пром-сть. — 2014. — № 4.
24. **Репин А. А., Смоляницкий Б. Н., Алексеев С. Е., Попелюх А. И., Тимонин В. В., Карпов В. Н.** Погружные пневмоударники высокого давления для открытых горных работ // ФТПРПИ. — 2014. — № 5.
25. **Repin A. A., Alekseev S. E., Timonin V. V., and Karpov V. N.** Analysis of the compressed air distribution in down-the-hole, Reports of the XXIII International Scientific Symposium “Miner's week-2015”, 26-30 January, 2015.
26. **Беляев Н. А.** Пневмоударные расширители скважин. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1987.
27. **Репин А. А., Алексеев С. Е.** Совершенствование схем конструкций погружных пневмоударных расширителей скважин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. тр. / под ред. В. Н. Фрянова. — Новокузнецк, 2011.
28. **Карпов В. Н.** Современная буровая техника для предупреждения и ликвидации ЧС в подземных условиях // Безопасность жизнедеятельности в промышленно развитых регионах: сб. тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. — Кемерово: КГТУ, 2011.
29. <http://www.machines-roger.ca/en/>.
30. **Кочетов В. А., Глазков В. Н.** Установка для бурения скважин УБС-150 // Горн. журн. — 2009. — № 12.
31. <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/>.
32. <http://www.atlascopco.ru/>.

Поступила в редакцию 5/Х 2015