



УДК 622.235.62:622.271.7

АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕКАЧЕСТВЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Константинов И.А.¹, Тальгаммер Б.Л.², Старков А.Е.³

¹ООО «Компания Востсибуголь»

² Иркутский национальный исследовательский технический университет

³ООО «Савкин Майнинг»



Информация о статье

Поступила:

14 мая 2024 г.

Рецензирование:

25 июня 2024 г.

Принята к печати:

09 сентября 2024 г.

Ключевые слова:

деградирующая мерзлота, взрывные работы, скважины, качество подготовки пород, нарушение структуры заряда ВВ, улучшение дробления горных пород, высота уступа

Аннотация.

Ведение взрывных работ в условиях деградирующей мерзлоты осложняется наличием таликовых зон, пльвунгов и грунтовых вод, что является причиной низкого качества подготовки пород к выемке. По результатам натурных исследований на одном из месторождений Сибири было выявлено десять причин некачественного разрушения горных пород взрывом, основными из которых являются смещение или перемешивание заряда ВВ с обводнёнными породами (около 15%), заполнение водой или пльвунгами воздушного промежутка рассредоточенного заряда ВВ (около 40%), выдувание ВВ и/или СИ из заряженных скважин сжатым воздухом бурового станка при бурении им соседних скважин (около 3%). Итого было выявлено около 45% скважин с нарушением структуры заряда ВВ, т.е. почти половина исследованных скважин. Для повышения эффективности взрывных работ наряду с традиционными способами управления параметрами буровзрывных работ (БВР) предлагается регулировать параметры и качество выполнения других процессов горных работ, обеспечивая предварительное осушение массива горных пород или водопонижение, осуществляя планировку поверхности взрывного блока, изменяя высоту уступов, сокращая опережение между взрывными и выемочными работами и т.д. Выявленные на исследуемом месторождении отрицательные результаты взрыва пород (II и III категории разрушенных пород по степени связности согласно классификации академика В. В. Ржевского как продукты взрыва), их причины (влияние горно-геологических условий разработки) и способы устранения (уменьшение высоты уступа) являются достаточно известными в теории открытых горных работ, однако не отражены в теории взрыва горных пород и не всегда учитываются при выборе способов повышения качества взрывной подготовки пород.

Для цитирования: Константинов И.А., Тальгаммер Б.Л., Старков А.Е. Анализ причин некачественного разрушения горных пород взрывом в различных горно-геологических условиях // Техника и технология горного дела. – 2024. – № 3(26). – С. 22-42. – DOI: 10.26730/2618-7434-2024-3-22-42, EDN: EGXKHX

Введение

При разработке одного из осадочных месторождений Восточной Сибири с деградирующей многолетней мерзлотой и заболоченностью по мере развития фронта работ во всё большем масштабе наблюдается неполное разрушение взрывом крепких мёрзлых включений, а лишь их предразрушение, растрескивание, обуславливающее снижение производительности и повышение аварийности вскрышных экскаваторов и, как следствие – нарушение ритмичности



работы и снижение производственной мощности предприятия. Так, общий объём некачественно взорванных пород составил:

- В 2018-2020 годах – 727 500 м³;
- В 2023 году – около 1 000 000 м³;
- В 2024 году (по состоянию на май месяц) – 180 000 м³.

Исследуемое месторождение расположено в районе со средней годовой температурой воздуха -2,4°C. Верхняя часть вскрыши на месторождении представлена слоем четвертичных (рыхлых) отложений мощностью 2-10 м, обрабатываемых с использованием автотранспорта, а нижняя часть – третичными (коренными) отложениями мощностью до 30 м, обрабатываемая с использованием бестранспортной технологии. Разработка пород вскрыши осуществляется с применением БВР.

В процессе наблюдений были выявлены следующие проблемы с качеством взрывной подготовки вскрышных пород на данном месторождении:

- Систематические.
 1. Взрывное дробление пород, расположенных в середине уступа, до категории разрушения II или III по степени связности согласно классификации академика В.В. Ржевского (т.е. взрывание пород с неполным их разрушением или разрыхлением) [6].
 2. Некачественное разрушение пород, расположенных в подошве уступа.
 3. Некачественное разрушение четвертичных отложений с оставлением больших неразрушенных порогов.
 4. Некачественное разрушение коренных (третичных) отложений с формированием неровного контура откоса.
- Эпизодические.
 1. Некачественное разрушение коренных (третичных) отложений с оставлением больших неразрушенных порогов.
 2. Некачественное разрушение блока под автомобильный спуск.
 3. Оставление неразрушенных целиков в середине некоторых блоков.

По результатам анализа эффективности взрывной подготовки пород были выявлены следующие причины некачественного разрушения горного массива:

1. Несоответствие параметров БВР условиям работ.
2. Применение некачественной системы инициирования зарядов ВВ.
3. Случайные или систематические скрытые групповые отказы взрывов зарядов ВВ.
4. Низкое качество процессов и операций БВР.
5. Нарушение структуры заряда ВВ в скважинах.
6. Невозможность заряжания скважин из-за их быстрого заиливания после бурения.
7. Некачественная подготовка блока под бурение.
8. Повышенная гравелистость взрывааемых пород.
9. Повторное смерзание вполне качественно взорванной мерзлоты.
10. Засыпка скважин необрунным до конца слоем реголитовых (четвертичных) отложений.

С учётом изложенного были сформулированы следующие основные задачи исследования:

1. Выявить причины и объяснить все происходившие на исследуемом месторождении отрицательные результаты взрывов.
2. Оценить масштаб выявленных причин и установить их долю в некачественной подготовке пород взрывом на данном месторождении.
3. Изыскать способы устранения причин, повлекших отрицательные результаты взрывов.

Методика исследования

Соответствие параметров БВР условиям работ проверялось путём сравнения фактических и проектных значений этих параметров на некачественно взорванных блоках 2018-2020 гг.



Качество системы инициирования зарядов ВВ проверялось путём сравнения фактической системы инициирования зарядов с рекомендованной для использования в данных условиях техническим проектом вскрытия и разработки исследуемого месторождения как в 2018-2020 гг, так и в 2023-2024 гг.

Случайные или систематические скрытые групповые отказы взрывов зарядов ВВ, низкое качество процессов и операций БВР, нарушение структуры заряда ВВ в скважинах, невозможность заряжания скважин из-за их быстрого заиливания после бурения изучалось в 2023-2024 гг., так как полноценный анализ этих причин на некачественно взорванных блоках 2018-2020 гг. не осуществлялся.

Качество подготовки уступа под бурение оценивалось количеством незабуренных скважин вследствие плохой его подготовки под бурение из-за наличия на нём разновысотных полок, затопленных впадин, затяжных откосов и т.д. Для оценки такого фактора некачественной подготовки блока под бурение как неполностью убраный слой реголитовых пород учитывалась его мощность на поверхности блока.

Завышение гравелистости взрывааемых пород устанавливалось путём сравнения фактических размеров и концентрации зёрен пород с их предельными значениями, которые влияют на снижение дробимости пород.

Повторное смерзание вполне качественно взорванной мерзлоты проверялось путём установления наличия в трещинах развала некачественно взорванных блоков воды, льда-заполнителя или обводнённых песчано-глинистых пород.

В 2018-2020 гг. проводился анализ отрицательных результатов взрывов десяти некачественно взорванных блоков, сведения о которых были взяты из соответствующих проектов массовых взрывов.

В 2023-2024 гг. проводились натурные наблюдения на 32 блоках общей длиной 5670м и шириной до 60 м в период буровых и зарядочных работ до производства массового взрыва. Глубина скважин диаметром 160 и 215 мм варьировалась от 5 до 24 м. Зарядка скважин по сетке 4×4-6×6 м производилась вслед за бурением. Бурение исследованных скважин осуществлялось в период с мая 2023 года по май 2024 года. Всего было исследовано 9577 скважин. Масштаб нарушений структуры зарядов ВВ не был установлен полностью, так как не все виды нарушений были выявлены. Например, если скважина была заполнена пльвунами, то не представлялось возможным произвести контроль укладки заряда ВВ, который вполне мог быть смещён вверх по скважине. В подобных случаях отмечалось наиболее явное нарушение. Одна и та же скважина могла иметь несколько видов нарушений структуры заряда ВВ, например, столб заряда ВВ мог быть смещён вверх по скважине и одновременно у него мог быть заполнен пльвунами внутривысотный промежуток, а также могла быть выдута часть заряда сжатым воздухом при бурении соседних скважин. Для таких условий отмечались все виды нарушений, из-за чего количество скважин с нарушенной структурой заряда ВВ может превышать фактическое количество исследованных скважин. Также заряд ВВ мог быть визуально определён как смещённый под устье скважины, однако, при этом быть не смещённым, а перемешанным с пльвунами. В этом случае заряд ВВ оценивался как смещённый.

Результаты исследований, их анализ и обсуждение

Результаты наблюдений за БВР на блоках, разрабатываемых в 2018-2020 годах, приведены в табл. 1. Все указанные в таблице блоки являются некачественно взорванными. Взрывные работы согласно проекту осуществлялись рассредоточенными зарядами с воздушным промежутком, при этом для верхней части заряда с мощностью взрыва 11478 МВт использовалось неводоустойчивое ВВ, а для нижней части заряда с мощностью взрыва 16500 МВт – водоустойчивое ВВ. Использовались предусмотренные проектом интервалы замедлений: междурядный – 42 мс, внутривысотный – 67 мс, скважинный – 500 мс.

Результаты наблюдений за БВР на блоках 2023 года приведены в табл. 2. Блоки 9, 12, 15 характеризовались отсутствием пльвунных пород. Блок 13 бурился буровым станком СБР-160, то есть без удаления бурового штыба сжатым воздухом (что и обуславливает отсутствие



скважин с выдутым зарядом ВВ). Блоки 16 и 17 были единым буровым блоком, разбитым на два блока с разными способами заряжания и разными марками ВВ (патронированным эмульсионным ВВ – ручным способом и горячельющимся ВВ – механизированным способом). Некачественно взорванными были блоки №№2, 6, 9, 10, 11, 12, 15.

Таблица 1 – Проектные и фактические параметры БВР на некачественно взорванных блоках за 2018-2020 гг.

Table 1 – Design and actual parameters of drilling and blasting on poorly blasted blocks for 2018-2020

Параметры БВР	Фактические значения параметров БВР по блокам с номерами										Проектное значение параметра
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Глубина скважин (высота уступа), м	26	12	31	30	26	23	14	13	18	7	7
Диаметр скважин, м	0,22	0,16	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	≤0,25
Сетка скважин, м	7×7	6×6	7×6	7×7	7×7	6×7	6×7	6×7	6×6	5×5	≤7×7
Угол наклона скважин к горизонту, градус.	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	60-75 *
Величина перебура скважин, м	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7-3,1
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,67	0,76	0,74	0,62	0,64	0,64	0,67	0,62	0,77	0,75	0,60-0,90
ЛСПП, м	21,00	12,80	4,86	21,57	28,18	18,10	9,45	16,83	24,96	7,80	8,6-8,9

Результаты наблюдений за БВР на блоках 2024 года приведены в табл. 3. Блок №1 2024 года представлял собой перебуренный блок №9 2023 года, блок №5 2024 года – блок №12 2023 года, блок №6 (130 м длины) 2024 года – блок №15 2023 года, блок №8 2024 года – блок №3 2023 года. Блок №10 бурился буровым станком СБР-160 без удаления бурового штыба сжатым воздухом, поэтому отсутствуют скважины с выдутым ВВ. Скважины глубиной 7 м заряжались без рассредоточения заряда ВВ, поэтому уровень обводнённости скважин не имеет значения, так как промежутки заряда (по причине их отсутствия) ни водой, ни грунтом не заполнялись и использовалось водоустойчивое ВВ. На блоке №12 плывуны практически отсутствовали. Блок №14 (на 7 и 12 метровых глубинах) представлял собой часть (70 м длиной) перебуренного блока №11.

Скважины заряжались как патронированным эмульсионным ВВ (Э) и россыпным гранулированным ВВ (РГ), так и эмульсионным горячельющимся ВВ (Г) ручным (Р) или механизированным (М) способами. В результате наблюдений из общего количества исследованных скважин ($N_{общ}$), были отдельно выделены скважины с выдутым зарядом ВВ сжатым воздухом бурового станка при бурении им соседних скважин ($N_{выд}$), со смещённым или перемешанным с обводнёнными породами зарядом ВВ ($N_{смещ}$), с заполненным водой или плывунами воздушным промежутком рассредоточенного заряда ВВ ($N_{зап}$), скважины с нарушенной структурой заряда ВВ ($N_{нар}$), а также скважины заилённые сразу после бурения ($N_{заил}$), несвоевременно заряженные скважины ($N_{нз}$), скважины с испорченными элементами СИ ($N_{си}$), недобуренные до проектного значения ($N_{нд}$), обводнённые и заряженные неводостойкой ВВ ($N_{обв}$) и незабуренные вообще из-за наличия на поверхности блока западений, заполненных водой ($N_{отс}$).

Хронометраж заряжания скважин (без учёта времени перехода взрывника или переезда зарядной машины со скважины на скважину) диаметром 0,215 м практически на одном и том же месте траншеи ручным способом (с расходом 270 кг на скважину и установкой патрона-боевика последовательно с заряжением) патронированным эмульсионным ВВ ($t_{рп}$) и механизированным способом (с расходом 320 кг на скважину и установкой патрона-боевика



одновременно с заряданием) горячелюющимся эмульсионным ВВ (t_{MG}) дал результаты, представленные в табл. 4.

Таблица 2 – Условия проведения и параметры БВР на блоках, разрабатываемых в 2023 году, и выявленное количество скважин с нарушением структуры зарядов ВВ

Table 2 – Conditions and parameters of drilling and blasting on blocks developed in 2023, and the identified number of wells with a violation of the structure of explosive charges

Показатели	Номер блока							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Длина блока, м	200	270	180	170	230	230	180	170
Высота уступа, м, в т.ч. реголитовые отложения	17,5	16,5	17,5	15	15,5	20,5	15	15,5
	5,0	5,0	2,0	3	2,0	1,5	1	1,5
Диаметр скважин, м	0,215							
Сетка скважин, м	6×6					5×5, 6×6	6×6	
Марка бурового станка	СБШ-250						СБШ, DML	СБШ
Период бурения	05.23	06.23	07.23			09.23		
Температура окружающего воздуха, °С	+9	+17	+19			+11		
Тип ВВ	Э							
Способ зарядания	Р							
Кол-во скважин, шт, $N_{общ}$	325	374	315	306	349	269	291	234
в т. ч.: $N_{выд}$	21	63	8	6	16	25	33	12
$N_{смещ}$	101	148	28	29	32	40	84	63
$N_{зап}$	65	216	222	163	329	128	204	179
$N_{нар}$	187	344	260	195	339	176	242	208
$N_{заил}$	2	2	0	0	0	0	0	0
$N_{нз}$	0	0	0	1	0	2	0	0
$N_{си}$	0	0	4	1	1	0	0	0
$N_{нд}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$N_{обв}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$N_{отс}$	0	56	0	0	0	0	0	0

Продолжение табл. 2
 Continuation of Table 2

Показатели	Номер блока								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Длина блока, м	110	100	80	230	130	200	160	200	
Высота уступа, м, в т.ч. реголитовые отложения	20	14	16	19	7	14	19	7	
	0	1	2	0	0	0	0	7	
Диаметр скважин, м					0,16	0,215			
Сетка скважин, м	6×6				4×4	6×6			
Марка бурового станка	СБШ	DML		СБШ	СБР	DML	СБШ-250		
Период бурения	10.23						11.23		
Температура окружающего воздуха, °С	+5						-10		
Тип ВВ	Э						Э, Г	Г	Э
Способ зарядания	Р						М		Р



Показатели	Номер блока								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Кол-во скважин, шт, $N_{\text{общ}}$	150	179	104	312	304	313	220	447	118
в т. ч.: $N_{\text{выд}}$	1	9	4	0	0	26	0	0	1
$N_{\text{смест}}$	12	29	35	5	24	107	20	20	17
$N_{\text{зап}}$	43	76	58	4	229	250	56	45	2
$N_{\text{нар}}$	56	100	83	10	170	312	76	67	19
$N_{\text{заил}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$N_{\text{нз}}$	0	1	0	0	1	1	0	3	0
$N_{\text{си}}$	0	0	2	1	0	4	0	1	0
$N_{\text{нд}}$	1	0	23	0	216	0	0	0	0
$N_{\text{обв}}$	0	0	0	0	0	0	5	0	0
$N_{\text{отс}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3 – Условия проведения и параметры БВР на блоках, разрабатываемых в 2024 году, и выявленное количество скважин с нарушением структуры зарядов ВВ

Table 3 – Conditions and parameters of drilling and blasting on blocks developed in 2024, and the identified number of wells with a violation of the structure of explosive charges

Показатели	Номер блока									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Длина блока, м	220	270	200	120	150	130	90	160	180	100
Высота уступа, м, в т.ч. реголитовые отложения	15 0	18 1	18 2	14 0	17 1	17 0	13 0	17 3	14 0	17 0
Диаметр скважин, м	0,215									
Сетка скважин, м	6×6									
Марка бурового станка	DML	СБШ, DML	DML	СБШ	DML	СБШ	СБШ, DML	DML		
Период бурения	01.2024	02.2024			03.2024					
Температура окружающего воздуха, °С	-18.8	-16.4			-5.5					
Тип ВВ	Э						Э, Г		Г	
Способ заряжания	Р						Р, М		М	
Кол-во скважин, шт, $N_{\text{общ}}$	362	464	360	162	279	228	151	292	314	74
в т. ч.: $N_{\text{выд}}$	0	4	2	0	12	0	0	32	0	0
$N_{\text{смест}}$	0	56	19	0	39	0	0	65	2	0
$N_{\text{зап}}$	1	107	111	0	47	31	0	175	20	31
$N_{\text{нар}}$	1	164	130	0	89	31	0	228	22	31
$N_{\text{заил}}$	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0
$N_{\text{нз}}$	0	0	2	0	6	0	0	6	0	0
$N_{\text{си}}$	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
$N_{\text{нд}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$N_{\text{обв}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$N_{\text{отс}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение табл. 3



Continuation of Table 3

Показатели	Номер блока								
	10	11	12	13	14			15	
Длина блока, м	230	150	210	160	170			290	
Высота уступа, м, в т.ч. реголитовые отложения	7	19	23	7	7	12	17	6	15
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Диаметр скважин, м	0,16		0,215						
Сетка скважин, м	4×4		6×6						
Марка бурового станка	СБР	СБШ	DML					DML, Revathi	
Период бурения	04.2024			05.2024					
Температура окружающего воздуха, °С	+3.5			+13					
Тип ВВ	Э	Э, Г		Э					
Способ заряжания	Р	Р, М		Р					
Кол-во скважин, шт, $N_{общ}$	821	269	397	212	21	110	106	130	215
в т. ч.: $N_{выд}$	0	12	3	0	0	3	13	1	6
$N_{смещ}$	332	51	26	13	0	16	29	12	28
$N_{зап}$	207	137	68	204	12	104	93	107	107
$N_{нар}$	539	200	97	210	12	108	106	114	127
$N_{заил}$	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$N_{нз}$	0	0	0	0	0	0	0	5	1
$N_{си}$	0	8	0	0	0	0	0	0	1
$N_{нд}$	0	0	0	0	0	0	0	0	3
$N_{обв}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$N_{отс}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Табл. 4 – Хронометраж ручного заряжания скважин патронированным эмульсионным ВВ ($t_{рп}$) и механизированного заряжания горячельющимся эмульсионным ВВ ($t_{мр}$). *Timing of manual loading of wells with cartridgeed emulsion explosives ($t_{рп}$) and mechanized loading with hot-burning emulsion explosives ($t_{мр}$).*

Номер замера	$t_{рп}$, мин	$t_{мр}$, мин
1	4,13 (-144 кг*)	1,11
2	4,31 (-90 кг)	1,12
3	5,51 (-36 кг)	1,12
4	6,38 (-18 кг)	1,12
5	6,56 (-18 кг)	1,06
6	4,36 (54 кг)	1,15
7	4,18 (-90 кг)	1,20
8	6,09 (-90 кг)	1,24
9	6,34 (-54 кг)	1,13
10	7,25	1,11
Среднее время заряжания, мин	5,51	1,13
Скорость заряжания, кг/мин	49	283

Примечание: * здесь и далее в таблице – количество ВВ, не вошедшее в скважины из-за частичного заполнения последних пльвунами. *Note: * here and further in the table – the amount of explosives that did not fit into the boreholes due to partial filling of the latter with quicksands.*

В результате анализа полученных результатов было установлено следующее.



Несоответствие параметров БВР условиям работ

Оценка соответствия параметров БВР условиям работ позволила выявить следующие отклонения от рекомендуемых значений: несоблюдение угла наклона скважин к горизонту, увеличение высоты уступа и глубины скважин, уменьшение величины перебура и завышение расчётной линии сопротивления по подошве (ЛСПП).

Несоблюдение угла наклона скважин

В результате наблюдений было установлено, что несоблюдение угла наклона скважин (глубиной более 15 м) связано с низкой эффективностью бурения наклонных скважин из-за их неустойчивости (запыляемости) и невозможности рассредоточения в них заряда ВВ (сложности установки в них затворов). В 2018-2019 годах в экспериментальном порядке два блока были полностью забурены наклонными скважинами. Последующая экскавация пород показала улучшение взрывной проработки верхней и средней частей уступа, и (также, как и на смежных блоках) низкую проработку взрывом подошвы уступа.

Увеличение высоты уступа и глубины скважин

Проектом вскрытия и разработки исследуемого месторождения предписано, что глубина скважин на бестранспортных уступах внешней вскрыши определяется послойной отработкой бестранспортного уступа слоями (подступами) в основном мощностью 8,0-10,0 м, при этом междупластья мощностью 6,0-17,0 м отрабатываются в один уступ. Послойная отработка бестранспортного уступа обусловлена следующими факторами: наличием слабых обводнённых пород (пльвунов) в общем составе пород основной вскрыши, что не позволяет осуществлять бурение взрывных скважин на всю мощность массива (происходит их мгновенное заиливание и запыление); распространением многолетней мерзлоты на значительной площади карьерного поля. При взрывании пород по всей мощности происходит смерзание нижнего горизонта массива, что делает взорванную горную массу неготовой к выемке и требует повторного проведения буровзрывных работ.

Наблюдение за проведением БВР на исследуемом месторождении показывает, что превышение глубины скважин оказывает влияние на снижение качества взрывной подготовки вскрышных пород не только по причине мгновенного заиливания скважин сразу после их пробуривания и увеличения риска смерзания нижнего слоя, но и по причине нарушения структуры заряда ВВ при зарядании скважин.

Уменьшение величины перебуров

При анализе проектной документации и результатов наблюдений за ведением БВР было установлено, что занижение (до нулевого значения) перебуров скважин продиктовано, с одной стороны, обуриванием вскрышного уступа на всю его мощность, с другой стороны – недопустимостью потерь или разубоживания при взрыве пласта полезного ископаемого, расположенного в подошве вскрышного уступа. При наличии в подошве уступа (на кровле пласта полезного ископаемого) мощных крепких мёрзлых или литифицированных породных отложений, отсутствие перебуров скважин может стать причиной некачественного их взрывного рыхления. Судя по всему, это имело место быть при взрыве блока №8 (табл. 1). На этом блоке все мёрзлые слои массива были сконцентрированы в подошве уступа на кровле пласта полезного ископаемого. На смежных с ним блоках слои мерзлоты расщеплялись и располагались от 2-5 м выше подошвы уступа и, несмотря на более широкую сетку и большую глубину скважин (причём, скважины всех этих блоков были устойчивыми) смежные блоки были взорваны качественно.

Превышение ЛСПП

В результате наблюдений было установлено, что завышенное значение ЛСПП продиктовано следующими причинами:

- Невозможностью забурить скважины в условиях мерзлоты и пльвунов под требуемым углом наклона вследствие неустойчивости таких скважин и обрушения их стенок.
- Невозможностью размещения в таких скважинах заряда ВВ, который при зарядании задерживается стенками скважин и не проходит до дна.
- Невозможностью установки затворов в таких скважинах и рассредоточения заряда ВВ.



Эксплуатация взорванных пород показывает, что завышенное значение ЛСПП при наличии во взрываемом массиве слоёв крепких мёрзлых пород снижает качество взрыва. Особенно заметно это проявляется при отработке четвертичных отложений (7-10 м по мощности) при обурировании их вертикальными скважинами (так как по рыхлым отложениям наклонные скважины не бурятся вообще по причине их неустойчивости). В результате взорванный блок экскавируется вполне качественно везде, кроме откосов, которые перед экскавацией приходится практически полностью разрушать ковшом экскаватора (рис. 1).

В результате проведения БВР было установлено, что рациональный угол наклона скважин в первом ряду составляет 75°. Бурение скважин второго и последующего рядов оптимально под углом наклона 90° (вертикально).



Рисунок 1 – Неотбитые взрывом откосы уступа четвертичных отложений
Figure 1 – Unblasted slopes of Quaternary sediment bench

В целом превышение ЛСПП и занижение величины перебуров скважин (по сравнению с их проектными значениями) при наличии в подошве уступа мощных крепких мёрзлых или литифицированных отложений объясняет их неполное разрушение в подошве уступа, но не объясняет их неполного разрушения в средней и верхней частях уступа.

Применение некачественной системы инициирования зарядов ВВ

На некачественно взорванных блоках 2018-2020 гг. применялась проектная система инициирования зарядов ВВ («Искра»), соответствующая данным условиям взрывания. В 2023 г. применялась проектная система инициирования зарядов ВВ («Коршун»), которая также соответствовала условиям взрывания. Поэтому применение некачественной системы инициирования зарядов ВВ не было систематической причиной некачественного взрывания. Тем не менее, один из блоков достоверно был взорван некачественно именно по причине применения несоответствующей (но качественной) системы инициирования. Этот факт был установлен при проходке гидравлическим экскаватором по развалу этого блока поперечной траншеи на всю глубину черпания, в результате чего внутри этого блока были обнаружены в большом количестве неразорвавшиеся патроны ВВ и патроны СИ. Причиной отказа взрыва было применение патронов СИ в мягкой оболочке и последующее их передавливание весом вышележащих патронов ВВ, воды и плывунов с уменьшением диаметра этих патронов ниже критического значения.

Случайные или систематические скрытые групповые отказы взрывов зарядов ВВ

Установить достоверно, какое количество заряда ВВ в скважинах после взрыва выгорело (полностью или частично), какое – разлетелось по сторонам, не сдетонировав, не представлялось возможным. Наличие в отдельных частях некоторых некачественно



взорванных блоков невзорвавшихся зарядов ВВ достоверно оценить количественно также не представлялось возможным.

На обследованных в 2018-2020 годах буровых блоках (табл. 1) в небольших количествах (2-3 скважины/панель) были обнаружены факты свисания патронов ВВ над зарядом ВВ в скважинах. Причиной этого было медленное обрушение (в отдельные моменты времени представлявшее собой выпирание) текуче-пластичных пород со стенок скважин и запираения ими заряда ВВ, который задерживаясь на заторе, инициировался системой “патрон СИ - волновод” с жёстким закреплением волноводов на устье скважины. В последующем создавшие затор породы обрушались в скважину и заряд ВВ уходил вслед за ними, а патрон СИ, будучи жёстко закреплённым волноводом на устье скважины, оставался на прежнем месте. В этом случае передача детонации от патрона СИ через воздушный промежуток и слой обрушенных пород прерывалась.

В 2018-2020 годах была проверена целостность системы инициирования зарядов ВВ, в результате которой в небольших количествах (2-3 скважины/панель) были установлены факты порчи волноводов (ударно-волновых трубок) СИНВ из-за их переломов, засасывания их в скважины, выдёргивания их из скважин и т. д.

На обследованных в 2023-2024 гг. буровых блоках (табл. 2, 3) были установлены факты (3,26% всех исследованных скважин) вылета патронов ВВ и/или СИ из заряженных скважин сжатым воздухом бурового станка при бурении им соседних скважин (соответственно заряд ВВ этих скважин оставался неиницированным). Также были установлены факты (14,45% всех исследованных скважин) стихийного рассредоточения заряда ВВ пливунами на несколько частей при зарядке скважин, из которых только 1-2 части заряда были инициированы патронами СИ. Соответственно, в этом случае передача детонации через пливуны от инициированных частей заряда ВВ к неиницированным была маловероятна. Кроме того, в присутствии пливунов неизбежно снижалась и теплота взрыва заряда.

Кроме того, в результате обрушения и оплывания стенок скважин стихийно увеличивался их диаметр в разных местах, что могло привести к каналному эффекту и затуханию детонации.

Отказ взрывов по причине подбоя скважин при взрыве соседних скважин исключается правильным выбором интервалов замедлений (табл. 2).

В результате проведённых наблюдений в 2023-2024 гг. (табл. 2, 3) было установлено, что количество скважин со свисающими или вылетевшими из скважин патронами СИ, а также с испорченными волноводами не превышает 0,5% от общего количества обследованных скважин.

В результате проведённых наблюдений в 2024 году на взорванных блоках с нарушенной структурой заряда ВВ были обнаружены невзорвавшиеся патроны ВВ.

Таким образом, отказы взрывов зарядов ВВ могли быть причиной некачественного взрывания в основном из-за нарушения структуры заряда ВВ при зарядании, связанного с перемешиванием ВВ с пливунными и пливуче-пластичными породами при обрушении стенок скважин. Оценка нарушений структуры заряда ВВ в скважинах производилась отдельно.

Низкое качество процессов и операций БВР

По результатам наблюдений были установлены следующие факты снижения качества процессов и операций БВР:

- Недобуривание скважин до паспортной глубины (кровли угольного пласта).
- Несвоевременное зарядание скважин при их быстрой заплываемости.

Было установлено, что недобуривание скважин до паспортной глубины составляло по мощности от 0,5-1,5 м (на блоках 2018-2020 годов) до 5,0-6,0 м (на блоках 2023 года) и было вызвано следующими причинами:

- Отсутствием характерного для полезного ископаемого цвета бурового штыба, так как последний при большой глубине бурения разлетался по стенкам скважин, что лишало машиниста бурового станка возможности визуально контролировать появление в скважине полезного ископаемого.



- Высокой заштыбовываемостью скважин вследствие их высокой заплываемости, что вызывало необходимость периодически полностью разбирать буровой став для удаления бурового штыба из скважины. При большой глубине скважин это становилось невозможным.
- Несвоевременной поставкой дополнительной буровой штанги.

Масштаб этого явления, выраженный в количестве испорченных таким образом скважин, не превышает 3% от общего количества обследованных в 2023-2024 г.г. скважин.

Таким образом, недобуривание скважин и их несвоевременное заряжание оказывали влияние на снижение качества взрыва пород подошвы уступа, особенно – при наличии там мощных крепких литифицированных или мёрзлых отложений.

Нарушение структуры заряда ВВ в скважинах

В процессе исследования были установлены следующие виды нарушения структуры заряда ВВ в скважинах:

- Смещение заряда ВВ в скважинах вследствие заполнения скважин пльвунами.
- Заполнение воздушных промежутков рассредоточенных зарядов ВВ в скважинах пльвунами или водой.
- Выдувание заряда ВВ (вместе с СИ) из скважин сжатым воздухом бурового станка при бурении им соседних скважин.
- Перемешивание заряда ВВ в скважине с пльвунами как при зарядании, так и после зарядания (в результате выдувания заряда ВВ сжатым воздухом при бурении соседних скважин).

Исследование этого явления началось на буровых блоках 2023 года.

Масштаб этого явления, выраженный в количестве испорченных таким образом скважин, оценивается в 45% от их общего количества. Особенно часто это регистрировалось на участках деградированной мерзлоты (таликов), межмерзлотных водонасыщенных пород, водонасыщенных песков и т.д.

Смещение заряда ВВ в скважинах приводит к образованию в подошве уступа мёртвых зон, где разрушающее действие взрыва полностью отсутствует.

Заполнение воздушных промежутков рассредоточенных зарядов ВВ в скважинах пльвунами или водой приводит к тому, что заряд действует уже не как единое целое, а как два уменьшенных заряда с уменьшенными зонами регулируемого дробления каждого. При этом промежуток между частями заряда волновым действием взрыва не охвачен, а охвачен только подъёмно-поршневым действием продуктов детонации нижней части заряда и взрывается, соответственно, «на подъём». Таким образом, если в пространстве заполненного водой или пльвунами промежутка рассредоточенного заряда будет находиться пласт крепкой литифицированной или мёрзлой породы, то разрушение её «на подъём» приведёт лишь к её растрескиванию (мёрзлые породы) или разрушению на плотно прилегающие и имеющие взаимное зацепление друг с другом куски (литифицированные породы). Как показывают наблюдения, продуктами такого разрушения будут породы категории II «связно-сыпучие разрушенные породы» (при разрушении литифицированных пород) или категории III «связно-разрушенные породы» (при разрушении мёрзлых пород) технологической характеристики разрушенных пород по степени связности [6]. Эскавация обеих категорий пород выемочным оборудованием осуществляется с более низкой производительностью.

Выдувание заряда ВВ и/или СИ из заряженных скважин сжатым воздухом бурового станка происходит вследствие наличия в массиве слоёв слабых пльвунных пород, через которые (полностью или частично) сжатый воздух бурового станка, удаляющий штыб из буримой скважины, устремляется в соседние скважины. Если соседние скважины, при этом, не заряжены, то происходит их задувание пльвунными породами с последующей (частичной или полной) потерей этих скважин. Если соседние скважины уже заряжены, то происходит частичное выдувание заряда ВВ из них, а нередко – и СИ, одновременно может происходить перемешивание заряда ВВ с пльвунными породами. В результате потери части заряда снижается зона регулируемого дробления таких скважин. Потеря СИ приводит к отказу взрыва всего заряда в такой скважине. Перемешивание заряда ВВ с пльвунными породами может



привести к отказу взрыва (затуханию детонации) части заряда ВВ вследствие разделения его на отдельные части (инициированными из которых являются 1-2 части), а также вследствие снижения теплоты взрыва из-за присутствия в составе заряда обводнённых пород.

Механизированное заряжание скважин способно снизить долю нарушений структуры заряда ВВ в виде смещения заряда ВВ в скважинах или его перемешивания с плавунными породами (при своевременном зарядании скважин вслед за бурением). Однако этот способ не способен предотвратить такие виды нарушений структуры заряда ВВ, как выдувы ВВ и СИ из заряженных скважин и заполнения воздушных промежутков рассредоточенных зарядов в скважинах плавунками или водой.

Проведение БВР в зимний период с целью стабилизации скважин не даст результата, так как внутри массива сохраняется положительная температура даже в зимний период, и вода с плавунными породами находятся внутри массива в жидком состоянии круглый год.

Невозможность заряжения скважин из-за их быстрого заиливания после бурения

В процессе наблюдений установлено (табл. 2,3), что количество заиленных сразу после бурения скважин не превышает 0,2% от их общего количества. Таким образом, заиливание скважин сразу после пробуривания не являлось заметной причиной некачественного (неполного) разрушения горных пород взрывом.

Нарушение структуры заряда ВВ в скважинах (включая их быстрое заиливание сразу после бурения) наблюдалось в местах скопления многолетней мерзлоты в массиве, провоцирующей повышенную водообильность вмещающих пород. На участках отсутствия мерзлоты проблем с устойчивостью скважин и нарушением структуры заряда ВВ не наблюдалось (кроме заполнения воздушных промежутков рассредоточенного заряда водой). Также было установлено, что выявленные разведочным бурением (по сетке 200×200 м) острова многолетней мерзлоты (с размерами в плане 10×20 км), охватывающие часть вскрыши верхнего угольного пласта по глубине, являются на самом деле архипелагами островов (размерами в плане каждого острова от 4×4 м и более и размерами по глубине от 2 м и более) и охватывающие на период исследования всю толщу вскрыши верхнего угольного пласта.

Некачественная подготовка блока под бурение

Некачественная подготовка запасов горной массы уступа под бурение заключалась в оставлении на блоке, подготовленном под бурение, разновысотных полок, стоячих водоёмов, затяжных откосов и т. д., в результате чего увеличивалась сетка скважин и, соответственно, росла доля мёртвых зон (областей, в котором разрушающее действие взрыва отсутствует) внутри взрываемого блока, что приводило, в свою очередь, к снижению качества взрыва.

Данное явление наблюдалось на трёх блоках 2018-2020 годов (не указаны в табл. 2, так как причины некачественного их взрывания были установлены без дополнительных исследований), два из которых взорвались некачественно из-за оставления разновысотных полок (рис. 2) и один – из-за оставления затяжного откоса.

Повышенная гравелистость взрывааемых пород

Известно, что повышенное содержание гравелистых пород (именно -пород с содержанием мелкого щебня) снижает их дробимость при взрыве (вплоть до минимального значения - при содержании щебня порядка 25%) [7]. Изучение геологической и проектной документации по разработке исследуемого месторождения и проведённые наблюдения позволили установить наличие незначительного количества крупнозернистых песков и в ряде случаев – мелкого гравия, что не могло быть заметной причиной некачественного (неполного) разрушения горных пород взрывом.

Повторное смерзание

При визуальном обследовании некачественно взорванных блоков 2018-2020 годов была установлена повышенная их трещиноватость (рис. 3). Трещины при этом были полыми, не заполненными ни льдом-цементом, ни водой, ни обводнёнными песчано-глинистыми породами. Из этого следует, что эти породы были подвержены взрыву недостаточной силы и не были повторно смёрзшимися, будучи до этого вполне качественно взорванными.



*Рисунок 2 – Неразрушенный взрывом целик из-за увеличения сетки скважин, вызванного
наличием на поверхности бурового блока разновысотных полок*
*Figure 2 – Unexploded pillar due to the increase in the well grid caused by the presence of different
height slopes on the surface of the drilling block*

При визуальном обследовании некачественно взорванных блоков 2023 года, на блоках №№ 9, 12, 15 (табл. 2) в трещинах развала был в большом количестве обнаружен лёд (рис. 4). Стабильность структуры заряда на этих блоках, их обводнённость, минимальное влияние других возможных причин некачественного взрывания, а также длительный отстой взорванных блоков перед их экскавацией (не менее 1 месяца) в условиях пониженных температур окружающего воздуха (до -50°C) позволяет сделать вывод о том, что эти три блока были повторно смёрзшимися, будучи до этого вполне качественно взорванными.



Рисунок 3 – Полые трещины развала блоков 2018-2020 годов
Figure 3 – Hollow cracks in block collapse 2018-2020

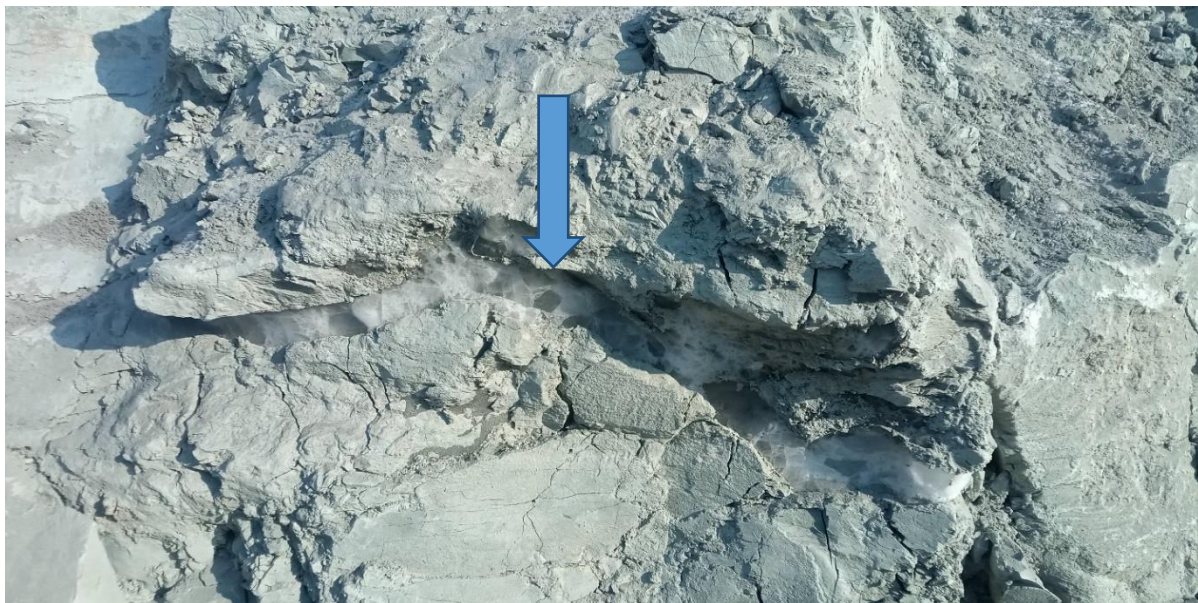


Рисунок 4 – Трещины развала блоков №№9,12,15 2023 года, заполненные льдом
Figure 4 – Cracks in the collapse of blocks No. 9, 12, 15 of 2023 are filled with ice

Также в результате наблюдений за ведением БВР было установлено, что взрывные скважины на всех исследованных блоках были обводнены круглый год и не замерзали в массиве даже в зимний период в условиях низких температур (до -50°C) за счёт сохранения внутри массива положительной температуры (до $+1,5^{\circ}\text{C}$), тогда как в развале массива происходила сквозная вентиляция холодным воздухом, поэтому вода в трещинах замерзала, сцепляя взорванные куски массива между собой, частично или полностью восстанавливая его прежнюю монолитность.

Заиливание скважин неубранным до конца слоем реголитовых (четвертичных) отложений

Влияние неубранного до конца слоя четвертичных отложений наблюдается, однако определяется лишь как усугубляющий фактор, поскольку и при полностью убранном слое этих отложений (ведение БВР исключительно по коренным породам) качество взрывных работ повышается незначительно.

Таким образом, в результате исследований было установлено, что проблемы с качеством взрывной подготовки вскрышных пород, возникающие на исследуемом месторождении, происходили по следующим причинам:

- Систематические.
 - I. Низкое качество разрушения пород, расположенных в середине уступа, происходило по причине замещения воздуха в межрядном промежутке рассредоточенного заряда водой или обводнёнными породами, обрушившимися или сплывшими со стенок скважин до, во время или после заряжания, или задутыми в скважину сжатым воздухом бурового станка при бурении им соседних скважин.
 - II. Некачественное взрывание пород, расположенных в подошве уступа, происходило из-за замещения заряда ВВ в нижней части скважин обводнёнными вязко-пластичными породами или плывунами, (обрушившимися или сплывшими со стенок скважин после вскрытия ими этих пород в массиве), усугубляемое недобуриванием скважин до паспортного значения по различным причинам (несвоевременное обеспечение бурового станка дополнительной буровой штангой, высокая заштыбовываемость скважин при бурении, отсутствие характерного бурового штаба полезного ископаемого как признака окончания бурения), поздним заряжением скважин по различным причинам (несвоевременный подвоз ВВ,



- несвоевременный подвоз СИ, несвоевременная работа заряжающего), отсутствием перебуров скважин – при наличии в подошве уступа мощных крепких мёрзлых или литифицированных пород.
- III. Некачественное взрывание четвертичных отложений (мощностью 7-10м) вдоль откоса в виде оставления мощных порогов происходило из-за завышения ЛСПП вследствие обуривания уступов вертикальными скважинами (из-за невозможности бурить в этих породах наклонные скважины), усугубляемого некачественной подготовкой под бурение приоткосной площадки уступа с последующим отступлением первого ряда скважин от верхней бровки уступа – при наличии в приоткосном пространстве уступа крепких мёрзлых или литифицированных пород.
- IV. Некачественное взрывание коренных (третичных) отложений (мощностью до 35м) вдоль откоса уступа с формированием неровного контура (в виде ступеней) этого откоса происходило из-за наличия в составе уступа крепких мёрзлых или литифицированных пород.
- V. Некачественное взрывание коренных (третичных) отложений (мощностью до 35м) вдоль откоса уступа в виде оставления мощных порогов происходило из-за завышения ЛСПП вследствие обуривания этих откосов вертикальными скважинами (в связи с невозможностью бурить наклонные скважины по причине неисправности буровых станков, усугубляемого некачественной подготовкой под бурение приоткосной площадки уступа (с последующим отступлением первого ряда скважин от верхней бровки уступа) – при наличии в приоткосном пространстве уступа крепких мёрзлых или литифицированных пород). Вследствие устранения неисправности буровых станков (или закупки новых) последняя причина в настоящее время практически устранена.
- Эпизодические.
 - I. Некачественное разрушение блока под автомобильный спуск произошло вследствие массового отказа взрыва зарядов ВВ из-за использования в качестве СИ патронов-боевиков в мягкой оболочке и их пережатием в скважинах вышележащим зарядом ВВ, пльвунами и водой с уменьшением диаметра этих патронов ниже критического значения.
 - II. Неразрушенные взрывом целики в середине некоторых блоков произошли из-за некачественной подготовки под бурение площадок этих блоков в виде оставления на них разновысотных полок, откосы которых не смог обурить буровой станок, в результате чего была недопустимо расширена сетка скважин с последующим появлением в местах расширения скважин неразрушенных взрывом целиков.
 - III. Некачественная подготовка пород блоков №№9,12,15 2023г. (табл. 2) произошла вследствие их повторного смерзания после взрыва из-за длительного отстоя (не менее месяца) их развала при низкой температуре окружающего воздуха (до -50°C) и высокой обводнённости пород, вследствие чего вода в трещинах развала замёрзла и скрепила между собой разрушенные куски породы.
 - IV. Некачественное разрушение блока №6 2023г. (табл. 2), смежного с некачественно взорванными блоками № 9,12,15, произошло, вероятнее всего, по той же причине, усугубляемой нарушением структуры заряда ВВ.

Основным отрицательным результатом взрывного дробления на исследуемом месторождении явилось образование разрушенных пород II и III категории по степени связности (по классификации академика В. В. Ржевского [6]) вместо I категории. Дополнительным отрицательным результатом взрыва, являющегося следствием основного результата, было некачественное контурное взрывание. Указанный основной результат некачественного взрывания пород уже давно и достаточно подробно был описан (в т.ч. на количественном уровне) академиком В. В. Ржевским [6], однако не был включён в теории взрыва в состав отрицательных результатов взрыва пород [1] и, поэтому, является нестандартным.



Причинами отрицательных результатов взрыва пород на исследуемом месторождении было также влияние некоторых свойств взрываемого массива, таких как неустойчивость и обводнённость пород, наличие мёрзлых и скальных породных включений, наличие плывунов, повторная смерзаемость, наличие проточных подземных водотоков, нестабильные температурные характеристики массива и др. Указанные причины подвергнуты в горной науке широкому изучению [2-5,7], однако также не включены в теории взрыва в состав традиционных причин [1] и потому являются нетрадиционными.

Ни один традиционный способ повышения качества взрывной подготовки пород не способен устранить все выявленные отрицательные результаты взрыва на исследуемом месторождении и эффективно устранять выявленные причины. Так, изменение удельного расхода ВВ, диаметра заряда, марок применяемого ВВ, параметров сетки скважин и т. д. являются малоэффективными способами в условиях стихийной дестабилизации заряда ВВ (в результате заполнения скважин пльвунными породами, перемешивания ВВ в скважинах с этими породами, выдувания ВВ и СИ из скважин сжатым воздухом бурового станка при бурении им соседних скважин и т. д.), а также – в условиях повторного смерзания вполне качественно взорванных пород. Таким образом, способы повышения качества взрывной подготовки пород, которые смогут устранить выявленные причины, также будут нестандартными.

В практике горных работ выработан ряд способов взрывной подготовки, основанных на изменении параметров элементов системы разработки, таких как – длина буровзрывного блока, скорость его отработки [8], а также высота обрабатываемого уступа. Данные способы являются нестандартными способами устранения отрицательных результатов взрыва пород и применяются в практике предприятий в качестве вынужденных мер, так как кроме повышения качества взрыва сопряжены с рядом недостатков.

Например, при уменьшении высоты обрабатываемого уступа:

- снижается объём деградированной мерзлоты (таликов) и пльвунов (как следствие повышается качество бурения и заряжания, увеличивается время устойчивого стояния скважин);
- в целом стабилизируется структура заряда ВВ (рис. 5);
- уменьшается объём крепких мёрзлых и литифицированных пород (как следствие, повышается эффективность подъёмно-поршневого действия продуктов детонации, разрушения «на подъём»);
- уменьшается сетка скважин (что компенсирует отсутствие перебуров скважин и повышает качество взрывной подготовки подошвы уступа);
- уменьшается ЛСПП и ЛНС (как следствие увеличивается качество взрывной подготовки подошвы и откоса уступа);
- уменьшается риск повторного смерзания вполне качественно взорванной мерзлоты (вследствие поэтапного исключения из уступа обводнённых пород и воды как цементирующего взорванную мерзлоту материала и снижения литостатического давления на взорванную мерзлоту);
- повышается качество взрыва откоса уступа (как следствие - выравнивание его поверхности и снижение ЛСПП и ЛНС) со стороны рабочего борта карьера (за счёт поэтапности его формирования);
- появляется возможность применения патронов-боевиков в мягкой оболочке (за счёт уменьшения веса заряда ВВ, пльвунов и воды и, соответственно, риска передавливания патрона);
- повышается производительность буровых станков за счёт минимизации операций сборки-разборки бурового става при бурении скважин и минимизации необходимости производить их расштыбовку.
- сокращается количество дополнительных штанг у бурстанков;



- появляется возможность поэтапного (поуступного) регулирования параметров БВР (и, как следствие, энергии взрыва) в соответствии со свойствами взрывааемых пород на каждом более низком уступе.

Однако уменьшение высоты обрабатываемого уступа не влияет на такие причины отрицательных результатов взрывов, как некачественная подготовка поверхности уступа под бурение. Кроме того, уменьшение высоты уступов сопряжено со снижением экономичности работ за счёт увеличения объёма буровых работ (и возможного увеличения количества буровых станков) и расхода ВВ вследствие сгущения сетки скважин; увеличения количества проходных выемочного вскрышного оборудования (и возможного увеличения количества единиц этого оборудования); увеличения объёма бульдозерных (планировочных) работ; задержки со вскрытием запасов полезного ископаемого. Поэтому принимать решение об уменьшении высоты обрабатываемого уступа необходимо после экономической оценки возможных вариантов.

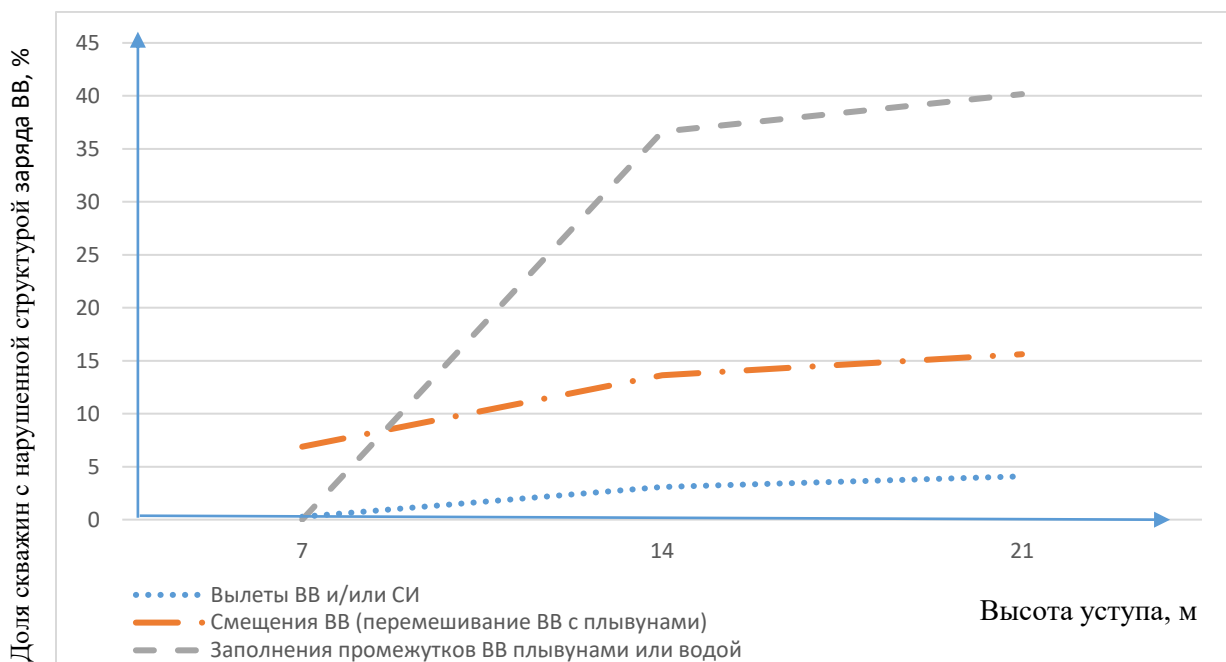


Рисунок 5 – Доля скважин с нарушенной структурой заряда ВВ по видам нарушений
Figure 5 – Proportion of wells with disturbed explosive charge structure by type of disturbance

Примечания:

Количество скважин с заплывшим воздушным промежутком при высоте уступа равной 7м принимается равным нулю, хотя скважины и были обводнены, однако заряд ВВ в них не рассредотачивался, а значит никаких промежутков не содержал. Статистика нарушений структуры заряда ВВ при увеличении глубины скважин с 21 до 27 м (по факту 23 м – блок №12, 2024 г., табл. 3) в графике не учитывалась из-за того, что все эти скважины находились за пределами мерзлоты (в межостровном пространстве). Все остальные скважины попадали как в островное, так и в межостровное пространство распространения многолетней мерзлоты. При построении графика также не учитывалась статистика нарушений структуры заряда ВВ на уступах реголитовых пород из-за значительного различия характера таких нарушений по сравнению с уступами коренных пород.

После устранения указанных недостатков и разработки соответствующего технологического решения вышеописанные способы могут применяться на предприятиях в качестве полноценных способов регулирования степени дробления горных пород взрывом в сложных горно-геологических условиях.



Выводы и рекомендации

Эффективность буровзрывных работ для подготовки горных пород к выемке обеспечивается наиболее полным учётом влияющих на эту эффективность факторов (включая прочностные свойства пород, структуру горного массива, его обводнённость, наличие мерзлоты, параметры и расположение зарядов взрывчатых веществ [9-11]). Изменение параметров горных и буровзрывных работ позволяет управлять энергией взрыва и, тем самым, повышать эффективность подготовки пород к выемке [12, 13]. Известно, что ведение горных и буровзрывных работ на месторождениях деградирующей криолитозоны сопряжено с высокой круглогодичной обводнённостью взрывных скважин, в которые поступающая из деятельного слоя вода содержит песчано-илистый материал и заиливает их на 50–100%. Потери скважин от заиливания достигают 50 %, составляя в среднем около 25 %. Потери длины скважин из-за заиливания и обрушения стенок изменяются в пределах от 0% до 80–90%. Продолжительность сохранности пробуренных скважин – от нескольких секунд до нескольких суток. Потери скважин от заиливания, обрушения стенок и оттаивания мёрзлых пород составляют 10–15 % в холодный период и 25 % - в тёплый период года. Наибольшие потери скважин отмечаются в период промерзания деятельного слоя, когда межмерзлотные воды имеют напорный характер – в этот период теряется до 50 % скважин [14, 15].

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Ведение взрывных работ в условиях деградирующей мерзлоты осложняется наличием таликовых зон, плывунов и грунтовых вод, что является причиной низкого качества подготовки пород к выемке.
2. По результатам натурных исследований было выявлено десять причин некачественного разрушения горных пород взрывом, основными из которых являются смещение или перемешивание заряда ВВ с обводнёнными породами (около 15%), заполнение водой или плывунами воздушного промежутка рассредоточенного заряда ВВ (около 40%), выдувание ВВ и/или СИ из заряженных скважин сжатым воздухом бурового станка при бурении им соседних скважин (около 3%).
3. Для повышения эффективности взрывных работ наряду с традиционными способами управления параметрами БВР предлагается регулировать параметры и качество выполнения других процессов горных работ, обеспечивая предварительное осушение массива горных пород или водопонижение, изменяя высоту уступов, осуществляя планировку поверхности взрывного блока, сокращая опережение между взрывными и выемочными работами и т.д.
4. Выявленные на исследуемом месторождении отрицательные результаты взрыва пород (II и III категории разрушения пород по степени связности согласно классификации академика В. В. Ржевского как продукты взрыва), их причины (влияние горно-геологических условий разработки) и способы устранения (уменьшение высоты уступа) являются достаточно известными в теории открытых горных работ, однако не отражены в теории взрыва горных пород и не всегда учитываются при обосновании способов повышения качества взрывной подготовки разрабатываемого массива.
5. Установить аналитическую зависимость эффективности взрывного рыхления горных пород от параметров уступа и качества его подготовки к БВР не представляется возможным, поэтому влияние этих факторов на степень разрушения массива пород должно определяться опытным путём для каждого конкретного предприятия и месторождения.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Информация об авторах

Константинов Илья Александрович, горный мастер

e-mail: ilya-konst@rambler.ru

ООО «Компания Востсибуголь», 664007, г. Иркутск, ул. Советская, 55

Тальгамер Борис Леонидович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых

e-mail: talgamer@istu.edu

Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрННТУ)

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Старков Анатолий Евгеньевич, начальник участка

e-mail: anatoliy.starkov@istu.edu

ООО «Савкин Майнинг»

674363, Забайкальский край, Нерчинско-Заводской район, с. Михайловка, падь Макерская, в 8 км от с. Михайловка

Список литературы

1. Технология и безопасность взрывных работ / В. А. Белин, Б. Н. Кутузов, М. И. Ганопольский, М. Н. Оверченко; под ред. проф. В. А. Белина. // М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2016. – 424 с.
2. Винокуров А.П. Исследование процессов смерзаемости горных пород в условиях месторождений криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №5. – С. 111-116.
3. Панишев С.В., Ермаков М.А., Каймонов М.В. Исследование влияния температурного режима многолетнемерзлых пород Кангаласского месторождения на производительность драглайна // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №7. – С. 146-150.
4. Каймонов М.В., Хохолов Ю.А., Курилко А.С. Влияние теплофизических и технологических факторов на смерзание отбитой породной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № S4. – С. 166-175.
5. Курилко А.С., Каймонов М.В. Экспериментальные исследования прочности смёрзшихся сыпучих горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №12. – С. 69-70.
6. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Часть I. Производственные процессы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
7. Анализ и обобщение опыта ведения взрывной отбойки многолетнемерзлых горных пород / Б.Н. Заровняев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № ОВ7. – С. 196-210.
8. Ведомственные строительные нормы. Нормы проектирования и производства буровзрывных работ при сооружении земляного полотна. ВСН 178-91. М., 2001.
9. Умаров Ф.Я., Махмудов Д.Р. Исследования методов управления дроблением горных пород взрывом скважинных зарядов взрывчатых веществ на глубоких карьерах // Горный вестник Узбекистана, 2017. – №2. – С. 30-33.
10. Комащенко В.И., Воробьёв Е.Д., Лукьянов В.Г. Разработка технологии взрывных работ, уменьшающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. №8. – С. 33-40.
11. Старков А.Е., Тальгамер Б.Л. Повышение качества взрывной подготовки горных пород к выемке при низком удельном расходе взрывчатых веществ // Рациональное недропользование. – 2021. – №6. – С. 30-35.
12. Брухавецкая А.О. Анализ влияния параметров БВР на качество дробления горной массы // Взрывное дело. – 2022. – №136-93. – С. 111-128.
13. Рахманов Р.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ при дроблении разнопрочных горных массивов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №S1-1. – С. 453-465.
14. Технология горных и буровзрывных работ в сложных гидрогеологических и геокриологических условиях разреза «Восточный» / Рашкин А.В., Дорофеев В.А., Авдеев П.Б., Селезнев С.Ю. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 5. – С. 375-379.
15. Буровзрывные работы в сложных геокриологических условиях / Лещинский А.В., Дорофеев В.А., Шевкун Е.Б. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 5. – С. 342-343.



ANALYSIS OF THE CAUSES OF POOR QUALITY ROCK DESTRUCTION BY EXPLOSION IN DIFFERENT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

Igor A. Konstantinov¹, Boris L. Talgamer², Alexander E. Starkov³

¹ Irkutsk National Research Technical University

² Vostsibugol LLC

³ Savkin Mining LLC



Article info

Received:

14 May 2024

Revised:

25 June 2024

Accepted:

09 September 2024

Keywords: degrading permafrost, blasting, boreholes, quality of rock preparation, disturbance of the structure of the explosive charge, improvement of rock crushing, bench height

Abstract.

Blasting in degrading permafrost conditions is complicated by the presence of talic zones, quicksands and groundwater, which causes poor quality of rock preparation for excavation. According to the results of field studies at one of the Siberian deposits ten causes of poor quality rock destruction by explosion were identified, the main ones being displacement or mixing of the explosive charge with waterlogged rocks (about 15%), filling of the air gap of the dispersed explosive charge with water or floaters (about 40%), blowing out of the explosive charge and/or SI from the charged boreholes by the compressed air of the drilling machine while drilling neighboring boreholes (about 3%). In total, about 45% of the wells with violation of the structure of the explosive charge, i.e. almost half of the investigated wells, were detected. To improve the efficiency of blasting operations along with traditional methods of controlling the parameters of drilling and blasting operations (DBI) it is proposed to regulate the parameters and quality of performance of other processes of mining operations, providing preliminary dewatering of the rock massif or dewatering, planning the surface of the blast block, changing the height of ledges, reducing the advance between blasting and mining operations, etc. The negative results of rock blasting (II and III categories of destroyed rocks by degree of cohesion according to the classification of Academician V.V. Rzhnevsky as blast products), their causes (influence of mining and geological conditions of development) and ways of elimination (reduction of ledge height) revealed in the studied field are quite known in the theory of open-pit mining, but are not reflected in the theory of rock blasting and are not always taken into account when choosing ways to improve the quality of rock blasting.

For citation Konstantinov I.A., Talgamer B.L., Starkov A.E. Analysis of the causes of poor-quality rock destruction by explosion in different mining and geological conditions. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2024;3(26):22-42. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-3-22-42, EDN: EGXKHX

References

1. Technology and safety of blasting operations / V. A. Belin, B. N. Kutuzov, M. I. Ganopolsky, M. N. Overchenko; edited by Prof. V.A. Belin. // Moscow, "Gornoe Delo" Publishing House; LLC "Cimmerian Center", 2016. – 424 p. [In Russ.].
2. Vinokurov, A.P. Investigation of the processes of rock freezeability in the conditions of cryolithozone deposits // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2007;5:111-116. [In Russ.].
3. Panishev, S.V.; Ermakov, M.A.; Kaimonov, M.V. Investigation of the influence of the temperature regime of the permafrost rocks of the Kangalasskoye deposit on the dragline productivity // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2010;7:146-150. [In Russ.].
4. Kaimonov, M.V.; Khokholov, Yu.A.; Kurilko, A.S. Influence of the thermophysical and technological factors on the freezing of the beaten rock mass // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2010;S4:166-175. [In Russ.].



5. Kurilko, A.S.; Kaimonov, M.V. Experimental investigations of the strength of frozen loose rocks (in Russian) // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2004;12:69-70. [In Russ.].
6. Rzhnevsky V.V. Open cast mining operations. Part I. Production processes: Textbook for universities. – 4th edition. – Moscow, Nedra Publishing House, 1985. – 509 p. [In Russ.].
7. Zarovnyaev B.N. [et al.] Analysis and generalization of experience in blasting of perennially frozen rocks // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2012;S7:196-210. [In Russ.].
8. Departmental construction norms. Norms of design and production of drilling and blasting operations in the construction of earth bed. DCN 178-91. Moscow, 2001. [In Russ.].
9. Umarov F.Y., Makhmudov D.R. Research on methods of controlling the crushing of rocks by explosion of borehole explosive charges at deep quarries. *Mining Bulletin of Uzbekistan*. 2017;2:30-33. [In Russ.].
10. Komashchenko, V.I.; Vorobyov, E.D.; Lukyanov, V.G. Development of the blasting technology reducing the harmful impact on the environment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2017;328(8):33-40. [In Russ.].
11. Starkov, A.E.; Talgamer, B.L. Improving the quality of explosive preparation of rocks for excavation at low specific consumption of explosives. *Rational Subsoil Use*. 2021;6:30-35. [In Russ.].
12. Brukhavetskaya, A.O. Analysis of the influence of the BVR parameters on the quality of the rock mass crushing. *Vzryvnoe delo = Blasting*. 2022;136-93:111-128. [In Russ.].
13. Rakhmanov, R.A. Perfection of the drilling and blasting technology for crushing the different-strength rock massifs. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2015;S1-1:453-465. [In Russ.].
14. Rashkin A.V., Dorofeev V.A., Avdeev P.B., Seleznev S.Y. Technology of mining and drilling and blasting operations in complex hydrogeological and geocryological conditions of Vostochny open pit. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2006;5:375-379. [In Russ.].
15. Leshchinsky A.V., Dorofeev V.A., Shevkun E.B. Drilling and blasting operations in difficult geocryological conditions *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' = Mining information and analytical bulletin*. 2009;5:342-343. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Ilya A. Konstantinov – Mining Engineer
e-mail: ilya-konst@rambler.ru

Vostsibugol JSC, 55 Sovetskaya street, 664007 Irkutsk, Russian Federation

Boris L. Talgamer – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Mineral Deposit Development
e-mail: talgamer@istu.ru

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Street, 664074 Irkutsk, Russian Federation

Anatoly E. Starkov – Head of Mining Section
e-mail: anatoliy.starkov94@istu.edu

Savkin Mining LLC, Makerskaya Ravine, 8 km from Mikhaylovka village, Nerchinsko-Zavodsky District, 674363 Transbaikal Territory, Russian Federation