

УДК 622.235

**ПРИМЕНЕНИЕ КАМУФЛЕТНО-СКВАЖИННОГО ВЗРЫВАНИЯ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ
ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРАВИЙНО-ГАЛЕЧНИКОВЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ**

Ал. А. Галимьянов, В. И. Мишнев

*Институт горного дела ДВО РАН,
E-mail: azot-1977@mail.ru, ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

Обоснован метод камуфлетно-скважинного взрывания с применением рассредоточенного скважинного заряда, предназначенный для рыхления многолетнемерзлых крупнооблочных вечномерзлых (гравийно-галечниковых) пород на угольных разрезах в криолитозоне Дальневосточного региона. Ключевая особенность метода — разделение скважинного заряда, при котором верхняя часть инициируется отдельно от нижней камуфлетной части с выдержкой времени не менее суток. Это позволяет создать искусственный квазипарниковый эффект за счет запираания продуктов детонации нижней части заряда. Внедрение метода на разрезе “Буреинский” Хабаровского края позволило достичь снижения удельного расхода взрывчатых веществ более чем в 1.5 раза, увеличить недобур скважины относительно проектной отметки подошвы уступа до 2 м, а также повысить уровень безопасности за счет увеличения объема массового взрыва более чем в 2 раза.

Камуфлетный рассредоточенный заряд, многолетнемерзлые породы, угольный разрез, четвертичные отложения, параметры буровзрывных работ, объем взрывного блока

DOI: 10.15372/FTPRPI20250109

EDN: EBCEVS

В программе развития угольной отрасли Российской Федерации до 2030 г. [1] особое внимание уделяется стимулированию роста и модернизации угольной промышленности Дальневосточного региона. На долю этого региона приходится 12.8 % разведанных запасов угля в России. Наряду с увеличением добычи угля, предполагается наращивание экспорта в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, в первую очередь в Китай, Японию и Корею. Логистическое преимущество расположения Дальнего Востока вблизи восточных портов отгрузки играет важную роль в этом процессе.

ОСОБЕННОСТИ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

В течение последних 25 лет в Дальневосточном федеральном округе наблюдается рост добычи угля (с 28.4 до 85.1 млн т), что отразилось на увеличении экспорта угля из региона с 4.1 до 44.1 млн т (рис. 1) [2]. Основной объем добычи (более 50 %) приходится на сложноструктурные месторождения, разработка которых осуществляется с помощью буровзрывных работ в условиях криолитозоны и характеризуется острой нехваткой квалифицированных кадров [3, 4]. Стоимость 1 м³ взорванной горной массы в регионе выше средней по стране на 61 %, что обусловлено удаленностью угольных предприятий от основных поставщиков сырья

для производства промышленных взрывчатых веществ, а также средств инициирования и других необходимых материалов и оборудования. В этой связи становится актуальной научно-техническая задача, связанная с разработкой обоснованных методов и технических решений по совершенствованию параметров буровзрывных работ [5–7]. Такие решения способны снизить затраты и повысить уровень безопасности при проведении массовых взрывов рационального объема в процессе подготовки горной массы к добыче на угольных месторождениях Дальневосточного региона.

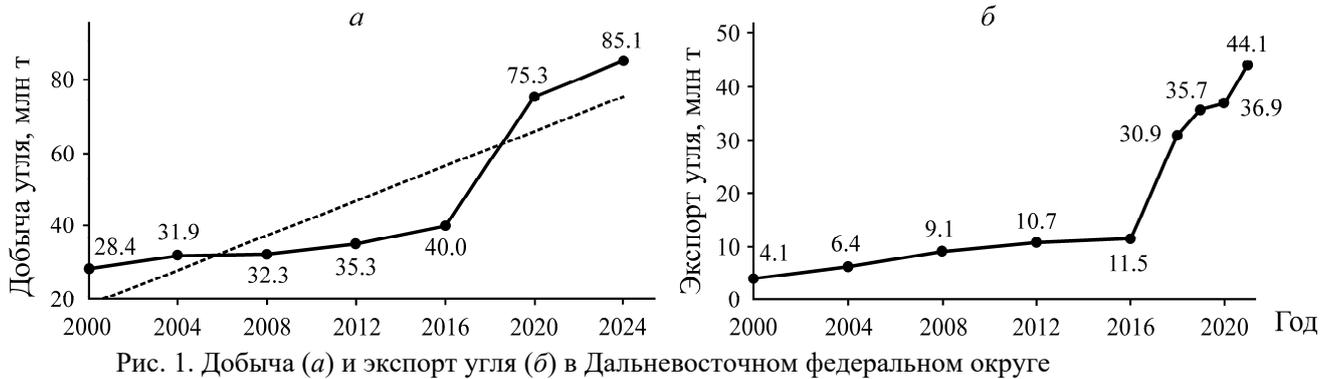


Рис. 1. Добыча (а) и экспорт угля (б) в Дальневосточном федеральном округе

Основная масса угля, добываемого открытым способом в условиях вечной мерзлоты на Дальнем Востоке, сосредоточена в ряде угольных месторождений:

- Эльгинское и Сугодинско-Огоджинское месторождения;
- Ургальское месторождение;
- Верхне-Талуминское, Чульмаканское и Денисовское месторождения;
- Нерюнгринское и Кангаласское месторождения;
- Чульмаканское месторождение Налымакитской площади.

Добыча полезных ископаемых ведется с использованием промышленных взрывчатых веществ, которые производятся непосредственно на самих разрезах. Основной компонент промышленных взрывчатых веществ — аммиачная селитра гладкой фракции, соответствующая ГОСТ 2-2013. Она составляет ~70% от стоимости взрывчатых веществ. Расстояние транспортировки аммиачной селитры от завода-изготовителя в г. Кемерово до потребителей на территории Сибири и Дальневосточного федерального округа существенно различается (рис. 2). Среднее расстояние доставки аммиачной селитры до угольных разрезов Дальнего востока в 10 раз превышает аналогичный показатель для Сибири. Этот логистический аспект наглядно демонстрирует острую необходимость минимизации расходов на производство и доставку продукции в сфере производства, включая буровзрывные работы.

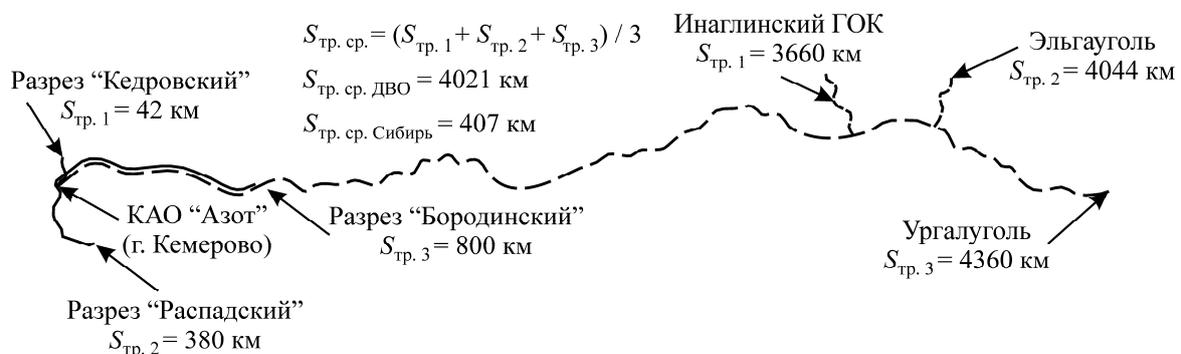


Рис. 2. Вариант логистической сравнительной схемы при поставках аммиачной селитры от завода-изготовителя до потребителей в Сибири и на Дальнем Востоке ($S_{тр}$ — расстояние доставки)

На рис. 3 приведено изменение средней стоимости аммиачной селитры с 2000-х годов. В Дальневосточном федеральном округе она превышает аналогичный показатель в Сибири в среднем на 45%. Это обусловлено транспортными расходами. Рост цен в 2021 г. связан с пандемией COVID-19.

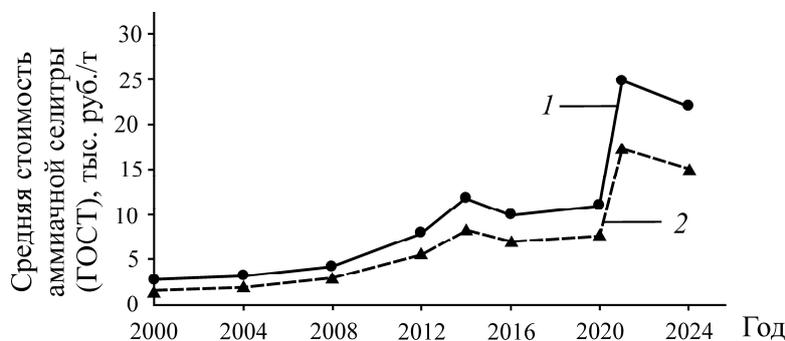


Рис. 3. Динамика усредненной стоимости аммиачной селитры для потребителей Сибири (1) и Дальневосточного федерального округа (2) с учетом транспортных расходов

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе рассматривается камуфлетно-скважинный метод буровзрывных работ при разработке разреза “Буреинский” на предприятии АО “Ургалуголь”. Объект исследования — верхний слой многолетнемерзлых крупнообломочных пород, представленный гравийно-галечниковыми четвертичными отложениями [8]. Участок расположен в центральной части Ургальского каменноугольного месторождения на правом крыле Ургальской синклинали. Четвертичные отложения представлены галечниками, суглинками и супесями, их мощность варьируется от 4 до 8 м, увеличиваясь на юге до 18 м [9, 10]. Вскрышные породы представлены полускальными и скальными коренными породами, коренные — слоями переслаивающихся песчаников, алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов и туффитов (рис. 4).

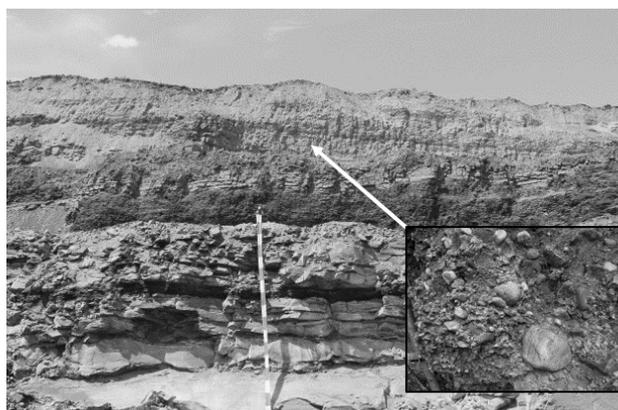


Рис. 4. Рабочий борт разреза “Буреинский”. Стрелкой показан верхний слой многолетнемерзлых крупнообломочных пород из гравийно-галечниковых отложений

В почве и кровле угольных пластов встречаются мелко- и тонкозернистые песчаники, прослой алевролита и аргиллита. Участок характеризуется прерывистым распространением многолетнемерзлых пород. Верхняя граница мерзлоты залегает на глубине 0.3–3.5 м. Слой от поверхности до верхней границы мерзлоты называется деятельным, его сезонное промерзание завершается в марте, оттаивание — в сентябре. Мощность многолетней мерзлоты варьируется в пределах 20–40 м, преобладающая мощность 30 м. Температура мерзлых пород колеблется

от 0 до -2.5 °С. В толще пород встречаются линзы льда мощностью 0.1–0.5 м. Наибольшая льдонасыщенность наблюдается на глубинах 4–6 м в глинистых и суглинистых грунтах. По шкале буримости горных пород, предложенной Министерством геологии СССР, данные породы относятся к VI–X категории с коэффициентом крепости 4–5 [11]. Согласно единым нормам выработки Министерства геологии СССР на горнопроходческие работы, многолетнемерзлые крупнообломочные породы отнесены к VI категории (коэффициент крепости 4–5) [12].

При годовом объеме добычи угля до 1.5 млн т и коэффициенте вскрыши не более 5, верхний слой многолетнемерзлых крупнообломочных пород разрабатывался без предварительного взрывного рыхления с августа по декабрь за счет естественного оттаивания [13–16]. При увеличении объема добычи свыше 1.5 млн т и коэффициенте вскрыши более 5 запланированный объем горной массы не успевает оттаять, поэтому на разрезе используются буровзрывные работы по верхнему уступу с декабря по май включительно, что существенно увеличивает расходы на вскрышу. Кроме того, с июня по ноябрь производство взрывных работ по многолетнемерзлым крупнообломочным породам осложняется поверхностным оттаиванием мерзлых гравийно-галечниковых грунтов и, как следствие, приводит к трудностям работы смесительно-зарядных и забоечных машин на блоке.

Эффективность буровзрывных работ по мерзлым гравийно-галечниковым грунтам существенно ниже по сравнению с аналогичным производством по коренным породам вследствие ряда факторов:

- повышенный износ шарошечных долот, превышающий двукратный показатель;
- увеличенный удельный расход взрывчатых веществ более чем на 50 %;
- ограничение производства буровзрывных работ зимне-весенним периодом из-за таяния верхнего слоя мерзлоты;
- малый объем взорванной горной массы ввиду быстрого ее промерзания после взрыва (1–10 сут в зависимости от температуры воздуха);
- невозможность производства буровзрывных работ на двух и более уступах, поскольку за время выемки взорванной горной массы верхнего уступа разрушенная горная масса нижележащего уступа успевает покрыться укатанным автосамосвалами уплотненным слоем грунта;
- увеличенный разлет кусков взорванной горной массы из-за необходимости поднимать заряд взрывчатых веществ как можно ближе к устью скважины для обеспечения требуемого качества дробления верхней части взрываемого горного массива.

Разработан и внедрен камуфлетно-скважинный метод взрывной подготовки к выемке мерзлых гравийно-галечниковых грунтов [17], прошедший успешную апробацию на разрезе “Буринский”. Отличие данного метода от традиционного способа буровзрывных работ в технологии взрывного дробления мерзлого массива, которая реализуется согласно схеме взрывной подготовки уступа в четыре этапа (рис. 5).

1. Взрывается сектор I традиционным способом с одновременным дроблением верхней и нижней части массива уступа, для возможности ее последующей выемки экскаватором непосредственно после взрыва и одновременной подготовки к взрыву очередных секторов с применением камуфлетно-скважинных зарядов.

2. Нижняя часть сектора II взрывается с помощью зарядов камуфлета.

3. Одновременно взрываются верхняя часть сектора II и нижняя часть сектора III. Взорванная горная масса сектора I в это время отрабатывается экскаватором.

4. По мере валовой выемки взорванной горной массы сектора II, взрывается верхняя часть сектора III и нижняя часть сектора IV по аналогии с третьим этапом. Под валовой выемкой понимается одновременная разработка экскаватором взорванной горной массы двух частей сектора II.

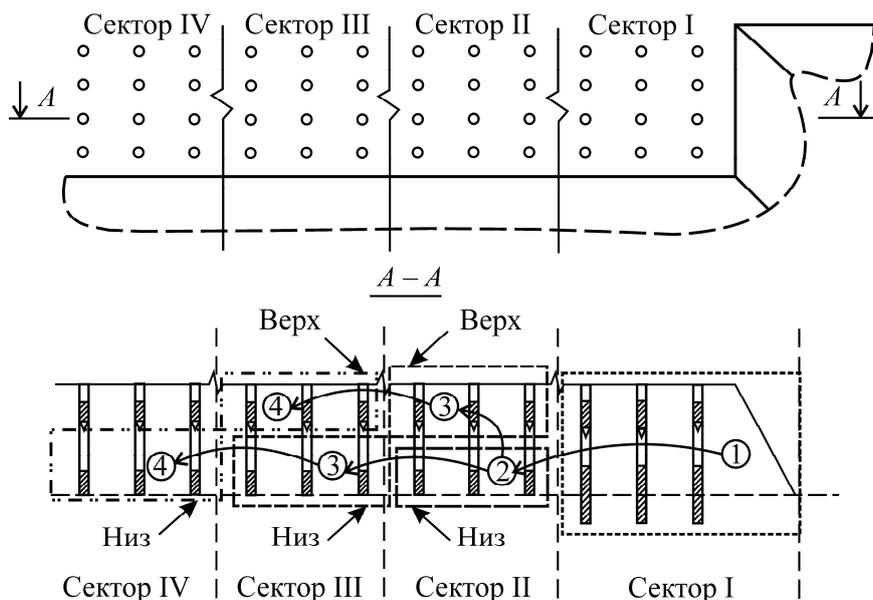


Рис. 5. Схема последовательности взрывания массива уступа из мерзлых гравийно-галечниковых грунтов: 1–4 — порядок взрывания верхней и нижней частей секторов I–IV

Метод имеет следующие особенности:

- взрывание зарядов камуфлета сектора II уступа проводится с опережением на 2–10 сут относительно зарядов очереди взрывания, согласно этапу 3 (рис. 6). Создается квазипарниковый эффект, учитывается количество времени достаточное для оттаивания соответствующей верхней части уступа посредством теплового воздействия на массив заряда камуфлета и несмерзания непрерывной извлекаемой взорванной горной массы;
- при обработке данного уступа экскаватором, остается небольшая часть взорванной горной массы в виде гребня из смерзшегося грунта (рис. 6, позиция 1), разбираемая с помощью бульдозера;
- масса нижнего заряда определяется так, чтобы в результате взрыва нижнего камуфлетного заряда разрушалась только нижняя часть массива уступа и целостность скважины с установленным зарядом в верхней ее части сохранялась (рис. 7);
- формирование верхнего заряда осуществляется с помощью специального затвора [18], предназначенного для рассредоточения заряда (рис. 7). Разработанный специалистами АО “Ургалуголь” затвор изготавливается непосредственно на месте работ и характеризуется повышенной стойкостью к воздействию продуктов взрыва камуфлетного заряда.

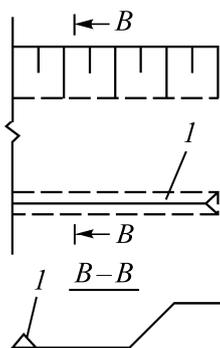


Рис. 6. Схема состояния уступа после выемки

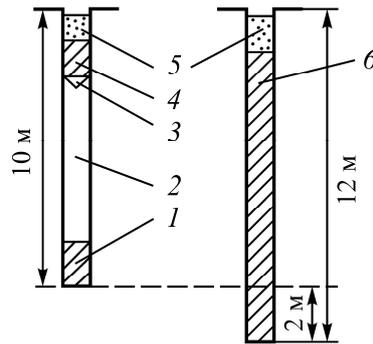


Рис. 7. Конструкция предлагаемого заряда: 1 — заряд камуфлета; 2 — инертный промежуток; 3 — специальный затвор; 4 — верхний заряд; 5 — забойка; 6 — сплошной заряд

ПРИМЕНЕНИЕ КАМУФЛЕТНО-СКВАЖИННОГО ВЗРЫВАНИЯ НА РАЗРЕЗЕ “БУРЕИНСКИЙ”

Для создания песчаной забойки в процессе буровзрывных работ по мерзлым породам в условиях разреза “Буреинский” применялась специальная забоечная машина, разработанная сотрудниками Тихоокеанского государственного университета [19]. Ее отличительная конструктивная особенность — наличие грейфера (рис. 8), который обеспечивает возможность загрузки машины забоечным материалом непосредственно в ближней зоне, т. е. на расстоянии 50–500 м от места производства забойки скважинных зарядов.

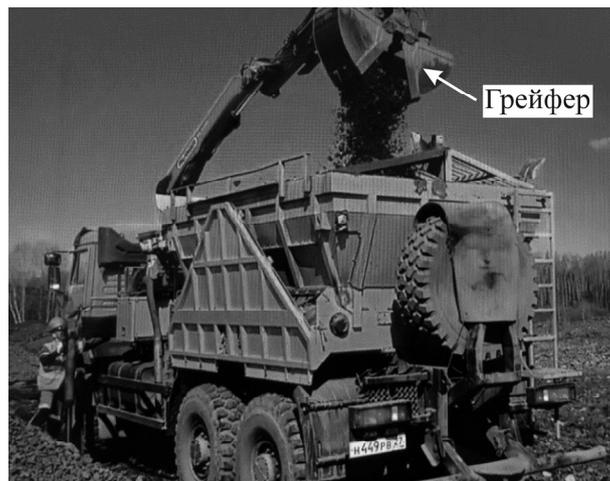


Рис. 8. Забоечная машина в процессе загрузки забоечным материалом посредством грейфера, входящего в ее комплектацию

Подготовка к выемке горных пород экспериментального участка блока с общим объемом 142 тыс. м³ проводилась посредством метода камуфлетно-скважинного взрывания. Расчет параметров буровзрывных работ включал соответствующие этапы взрывной подготовки массива уступа по секторам I–III, согласно следующей схеме последовательности дробления экспериментального участка блока:

- 1) производство массового взрыва на гор. 381–371 м по дроблению массива в секторе I экспериментального участка блока;
- 2) выемка взорванной горной массы в объеме 71 тыс. м³ в секторе I экспериментального участка блока экскаватором Komatsu PC1250 с обратной лопатой;
- 3) подготовка бульдозером под бурение сектора II–III экспериментального участка блока после взрыва массива в секторе I;

4) производство бурения по секторам II–III экспериментального участка блока объемом 71 тыс. м³ буровой установкой DML-1200 в количестве 1972 п. м;

5) формирование камуфлетно-скважинных зарядов по секторам II–III экспериментального участка блока;

6) взрыв зарядов камуфлета нижней части сектора II экспериментального участка блока;

7) одновременное взрывание массива в верхней части сектора II и в нижней части сектора III.

На рис. 9 с представлена продолжительность выполнения этапов взрывной подготовки мерзлых гравийно-галечниковых грунтов в реальных условиях разреза “Буреинский”.

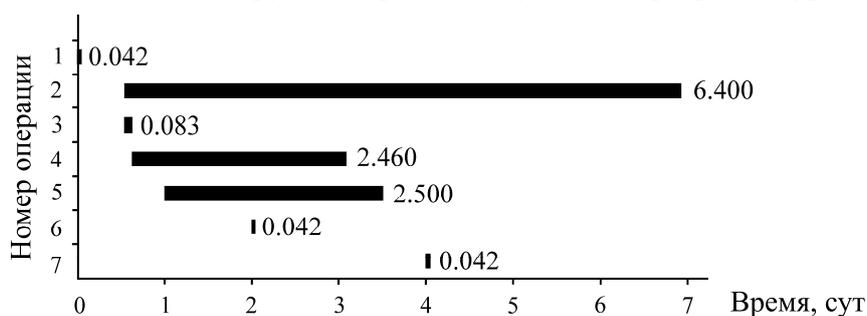


Рис. 9. Продолжительность выполнения операций; начало организации первого взрыва 27.11.2019 г. в 13 ч

Согласно наблюдениям, за 2005–2016 гг., при производстве работ на разрезе “Буреинский” в многолетнемерзлых гравийно-галечниковых грунтах по традиционной технологии удельный расход взрывчатых веществ составлял 0.9–1.1 кг/м³. Эти данные согласуются с рекомендованным диапазоном удельного расхода взрывчатых веществ для рыхления подобных грунтов (0.8–1.1 кг/м³), установленным в классификации мерзлых грунтов по взрываемости [20]. В этой классификации многолетнемерзлые гравийно-галечниковые грунты относятся к III категории, что характеризует их как трудновзрываемые.

Для определения коэффициентов крепости многолетнемерзлых крупнообломочных пород используются формулы М. М. Протодяконова и Л. И. Барона [21, 22]:

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{10}, \quad f = \frac{\sigma + 10\sigma_1}{60} + \sqrt{\frac{\sigma + 10\sigma_1}{12}},$$

где $\sigma_{сж}$ — временное сопротивление одноосному сжатию; σ , σ_1 — временное сопротивление образцов одноосному сжатию правильной и неправильной форм. Применение этих формул занижает прочностные характеристики указанных пород и не обеспечивает адекватного отражения их реальных физико-механических свойств. Расчет коэффициентов крепости и последующее вычисление удельного расхода взрывчатых веществ, на основе полученных данных может привести к необоснованным техническим решениям при выборе оборудования и технологии разработки угольных месторождений.

В ходе внедрения технологии камуфлетно-скважинного взрывания отмечается существенное изменение параметров буровзрывных работ применительно к вечномерзлым грунтам разреза “Буреинский”. Ниже приведены рассчитанные параметры буровзрывных работ с учетом рационального и традиционного методов подготовки к выемке многолетнемерзлых гравийно-галечниковых грунтов:

Параметр	Рациональный	Традиционный
Выход горной массы с одного погонного метра бурения, м ³ /п. м	36	30
Удельный расход взрывчатых веществ, кг/м ³	0.25	0.90
Высота уступа, м	10	10
Глубина скважины, м	10	12
Длина перебура	0	2
Длина скважинного заряда взрывчатого вещества, м:	2.9	10.5
верхнего (гранулит М)	1.3	—
нижнего (гранулит М)	1.6	10.5
инертного промежутка	6.0	—
свободной от заряда верхней части скважины	1.1	1.5
Масса скважинного заряда, кг:	91.5	324.5
верхнего (гранулит М)	40.0	—
нижнего (гранулит М)	50.0	323.0
Общая масса ПД ТГП-750 скважинного заряда	1.5	1.5

ВЫВОДЫ

При выемке многолетнемерзлых гравийно-галечниковых грунтов на разрезе “Буреинский” с 2017 по 2020 г. успешно апробирован и внедрен камуфлетно-скважинный метод, основанный на создании искусственного квазипарникового эффекта внутри мерзлого массива, посредством взрывания камуфлетной части рассредоточенного скважинного заряда с опережением более чем на сутки взрывания верхней его части. В результате применения метода получены следующие результаты: значительное увеличение более чем в 2 раза объема массового взрыва; рост выхода горной массы с одного погонного метра бурения на 15–20 %; снижение удельного расхода взрывчатого вещества в 2.5–3.5 раза; уменьшение негативного воздействия продуктов детонации после проведения массовых взрывов; уменьшение износа шарошечных долот в среднем на 15 %.

Эти результаты позволяют рекомендовать данный метод к внедрению на других угольных разрезах, где ведется подготовка к выемке многолетнемерзлых крупнообломочных пород взрывным способом в сходных горно-геологических и климатических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Распоряжение** Правительства от 24 января 2012 года № 14-р. [Электронный ресурс] URL: <http://government.ru/docs/all/81076> (дата обращения 27.01.2025).
2. **Федеральная** служба государственной статистики. [Электронный ресурс] URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/vneshnyaya_torgovlya (дата обращения 27.01.2025).
3. **Regotunov A. S., Sukhov R. I., and Grashchenko D. A.** Identifying factors which induce transitive processes in blasthole drilling in structurally complex rock masses, Conf. Series: Earth and Env. Sci.: Challenges and Solutions, Novosibirsk, 2022. — 012001.
4. **Zharikov S. N. and Kutuev V. A.** Impact of blasting on pit wall rock mass, Conf. Series: Earth and Env. Sci., Novosibirsk, 2021. — 012060.
5. **Черских О. И., Галимьянов А. А., Корнеева С. И., Мишнев В. И.** Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов // Уголь. — 2023. — № 5 (1167). — С. 50–54.

6. Галимьянов А. А., Рассказова А. В., Корнеев И. В., Мишнев В. И., Казарина Е. Н. Влияние межскважинных замедлений на уровень сейсмобезопасности с учетом отклонения времени срабатывания детонаторов // ФТПРПИ. — 2024. — № 3. — С. 69–79.
7. Галимьянов А. А., Герасимов Д. Е., Мишнев В. И., Казарина Е. Н., Галимьянов А. А., Гевако К. В. Влияние параметров буровзрывных работ на скорость детонации заряда взрывчатых веществ // Изв. ТулГУ. Технические науки. — 2022. — № 9. — С. 268–274.
8. Бондаренко И. Ф., Жариков С. Н., Зырянов И. В., Шеменев В. Г. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. — 172 с.
9. Richard I. Waller. Permafrost and glacier interactions, Available online 18 September 2024, Version of Record 18.09.2024. — P. 278–295.
10. Kai Liu and Tingting Wang. Dynamic mechanical behaviours of frozen rock under sub-zero temperatures and dynamic loads, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 2024, Vol. 180. — 105813.
11. Справочник горного мастера геологоразведочных партий. — М.: Недра, 1973. — 365 с.
12. Марков В. С. Методика определения коэффициента крепости многолетнемерзлых крупнообломочных пород // ГИАБ. — 2006. — № 12. — С. 355–358.
13. Панишев С. В. К вопросу обоснования эффективности подготовки горных пород к выемке блоками активного климатического воздействия в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны // Успехи современного естествознания. — 2017. — № 12. — С. 230–235.
14. Белин В. А., Трусов А. А., Цэдэнбат А. Особенности ведения взрывных работ в условиях вечной мерзлоты на угольных разрезах Монголии // ГИАБ. — 2007. — № S7. — С. 113–118.
15. Панишев С. В., Ермаков С. А. Влияние температурного режима на эффективность разработки вскрышных пород месторождений криолитозоны // ФТПРПИ. — 2013. — № 2. — С. 132–138.
16. Han L., Jia H., Dong Y., Wei Y., and Tan X. Thawing and softening of frozen sandstone by microwave irradiation, Rock Mech. Rock. Eng., 2024, Vol. 57. — P. 79–95.
17. Пат. 2678245 С1 РФ, МПК F42D 3/04, F42D 1/08. Способ взрывного разрушения мерзлых горных пород / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов // Оpubл. в БИ. — 2019. — № 3.
18. Пат. 147959 U1 РФ, МПК F42D 1/08. Устройство для создания воздушных камер в скважинных зарядах / А. А. Галимьянов // Оpubл. в БИ. — 2014. — № 32.
19. Пат. 2600474 С1 РФ, МПК F42D 1/08, F42D 1/10, B65G 65/30. Забoечная машина для формирования короткой комбинированной забойки взрывных скважин с каменным материалом / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, А. И. Добровольский, А. А. Галимьянов // Оpubл. в БИ. — 2016. — № 29.
20. Кутузов Б. Н., Скоробогатов В. М., Ерофеев И. Е. и др. Справочник взрывника. — М.: Недра, 1988. — 511 с.
21. Барон Л. И. Коэффициенты крепости горных пород. — М.: Наука, 1972. — 176 с.
22. Марков В. С. Методика определения коэффициента крепости многолетнемерзлых крупнообломочных пород // ГИАБ. — 2006. — № 4. — С. 363–367.

Поступила в редакцию 07/XI 2024

После доработки 20/I 2025

Принята к публикации 23/I 2025