

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2025.2.6

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Е.В. Накаряков, А.В. Таций
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В условиях разработки глубоких рудников возрастающее аэродинамическое сопротивление вентиляционных выработок требует внедрения автоматизированных систем управления проветриванием, обеспечивающих эффективное распределение воздушных потоков и повышение энергетической эффективности. При этом особое внимание необходимо уделять взрывным работам, особенно дроблению негабарита, сопровождающемуся значительным акустическим и ударным воздействием на элементы системы. В настоящей работе приведены результаты натурных экспериментов по регистрации параметров ударной воздушной волны, возникающей при взрывании накладных зарядов. Проведены измерения уровня звукового давления и определены соответствующие значения избыточного давления. Выполнено моделирование распространения ударной волны и определены допустимые параметры взрывных работ, обеспечивающие безопасное функционирование систем автоматизированного управления проветриванием. Сформулированы рекомендации по ведению взрывных работ в выработках с учетом конструктивных особенностей вентиляционной сети.

Ключевые слова: буровзрывные работы, автоматизированное управление проветриванием, дробление негабарита, ударная взрывная волна.

В условиях интенсификации горнодобывающих работ на больших глубинах возрастает аэродинамическое сопротивление вентиляционных выработок, что приводит к значительным энергетическим затратам на проветривание. Традиционные системы вентиляции становятся неэффективными при увеличении длины и разветвленности вентиляционной сети. В связи с этим возрастает необходимость внедрения автоматизированных систем управления проветриванием, обеспечивающих адаптивное и точечное регулирование воздушных потоков [1]. Такие системы позволяют оперативно реагировать на изменения технологических условий, снижая энергопотребление и повышая безопасность горных работ. Автоматизация проветривания становится ключевым элементом устойчивого функционирования глубоких рудников [2].

При отработке полезных ископаемых рудных месторождений наиболее применим буровзрывной способ выемки, который подразумевает использование энергии взрыва для отрыва породы от массива. Буровзрывные работы на рудных месторождениях подразделяются на проходку выработок, очистные работы и дробление негабарита [3]. При проходке выработок на различных месторождениях применяются шпуровые заряды с массой взрывчатого вещества до 300 кг, при этом до 90% энергии взрыва поглощается породным массивом. В очистных работах используются скважинные заряды массой до 5 тонн, также характеризующиеся высокой степенью энергопоглощения массивом. При дроблении негабарита применяются накладные заряды массой до 100 кг, при этом до 80% энергии взрыва уходит в воздушную среду [4]. С точки зрения обеспечения безопасности оборудования систем автоматизированного управления проветриванием наиболее опасным является этап дробления негабарита из-за высокого уровня ударной волны и разлета элементов.

Было решено провести серию экспериментов для подтверждения ранжирования взрывов по опасности последствий для оборудования, а также определения величины избыточного давления, создаваемого взрывной волной.

Для проведения шахтных натурных исследований использовались шумомер ВШВ-003-M2 с микрофонным капсулем М-101, подключенный к регистратору цифровому сейсмическому Ref-tek 130.



Рис. 1. Шумомер ВШВ-003-М2 (слева) и регистратор Ref-tek 130 (справа)

Для регистрации воздействия ударно-воздушной волны при проведении работ был использован виброшумомер ВШВ-003-М2 с микрофонным капсюлем М-101. Данный прибор предназначен для измерения уровней звука, уровней звукового давления, средних квадратических значений виброускорения и виброскорости локальной и общей вибрации. Прибор относится к 1-му классу точности, то есть может быть использован как для лабораторных, так и для натурных измерений. Конструктивно шумомер состоит из измерительного микрофона, усилителя, корректирующих фильтров, детектора и индикатора. Микрофон надежно подвешивался за кровлю выработки и направлялся измерительным элементом против распространения УВВ. Измерения уровня звукового давления могут производиться как с использованием стрелочного индикатора прибора, так и с использованием внешней регистрирующей аппаратуры.

В ходе проведения работ использован метод регистрации выходного сигнала цифровым сейсмическим регистратором Ref-tek 130.

Регистратор Ref-tek 130, подключенный к шумомеру, осуществляет непрерывную запись показаний акустического давления ударной воздушной волны во времени с частотой 500 Гц.

В рамках экспериментов проведено три серии взрывов с различной величиной замедления в пределах добычного горизонта. Каждый замерный пункт находится на прямолинейном не загроможденном участке выработки, имеющем постоянную форму и площадь поперечного сечения в свету. Взрывание осуществляется в результате детонации накладных зарядов, размещенных на негабаритах в трех тупиковых выработках. Масса взрывчатого вещества, размещаемого на каждый негабарит, во всех сериях взрывов составляет 96 кг. В качестве взрывчатки применен аммонит 6ЖВ.

Места проведения измерений, а также места взрывания указаны на рисунке 2.

Первый замерный пункт располагается на расстоянии 250 метров от мест взрывания. Оборудование размещено в нише, а микрофон с чувствительным элементом подвешен к кровле примыкающей выработки. На пути распространения взрывной волны находится шесть Т-образных перекрестков, три крестообразных перекрестка, а также два поворота на 45°. В ходе проведения измерений в первом замерном пункте зарегистрированы две серии взрывов без замедления детонации взрывчатого вещества и с замедлением между взрывами в 25 мс.

Второй замерный пункт располагается на расстоянии 127 метров от мест зарядов взрывания. На пути распространения взрывной волны находится четыре Т-образных перекрестка и два крестообразных перекрестка. Во втором замерном пункте зафиксированы результаты при распространении ударной взрывной волны на прямолинейном участке при замедлении в 50 мс.

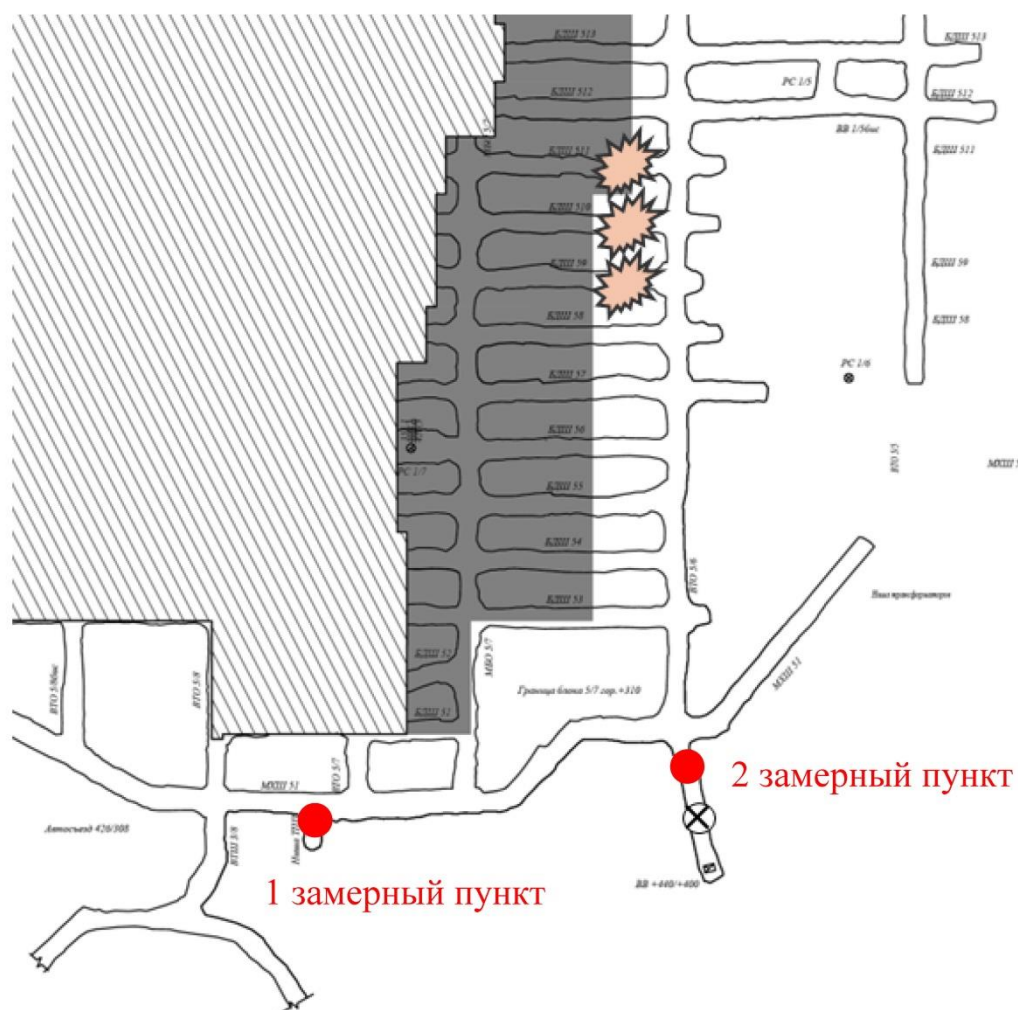


Рис. 2. Схема участка проведения эксперимента

В ходе анализа полученных данных установлено, что при детонации накладных зарядов без замедления величина звукового давления достигает 160 дБ. При использовании замедления величиной 25 мс на 1 замерной станции зарегистрировано звуковое давление в 141,7 дБ, а при использовании замедления в 50 мс на второй замерной станции звуковое давление достигает 152 дБ.

Необходимо иметь в виду, что шумомер регистрирует величину акустического воздействия в дБ, а уровень давления на фронте ударно-воздушной волны определяется в Па. Согласно документации на ВШВ-003, уровень звукового давления в дБ L связан с избыточным давлением в Па ΔP следующей зависимостью:

$$L = 94 + 20 \lg \Delta P \quad (1)$$

Исходя из этой формулы, величина избыточного давления в Па может быть рассчитана следующим образом:

$$\Delta P = 10^{0.05 \cdot L - 4.7} \quad (2)$$

На рисунке 3 представлен график величины избыточного давления при различном замедлении. Данный график получен в результате перевода величины звукового давления в избыточное давление.

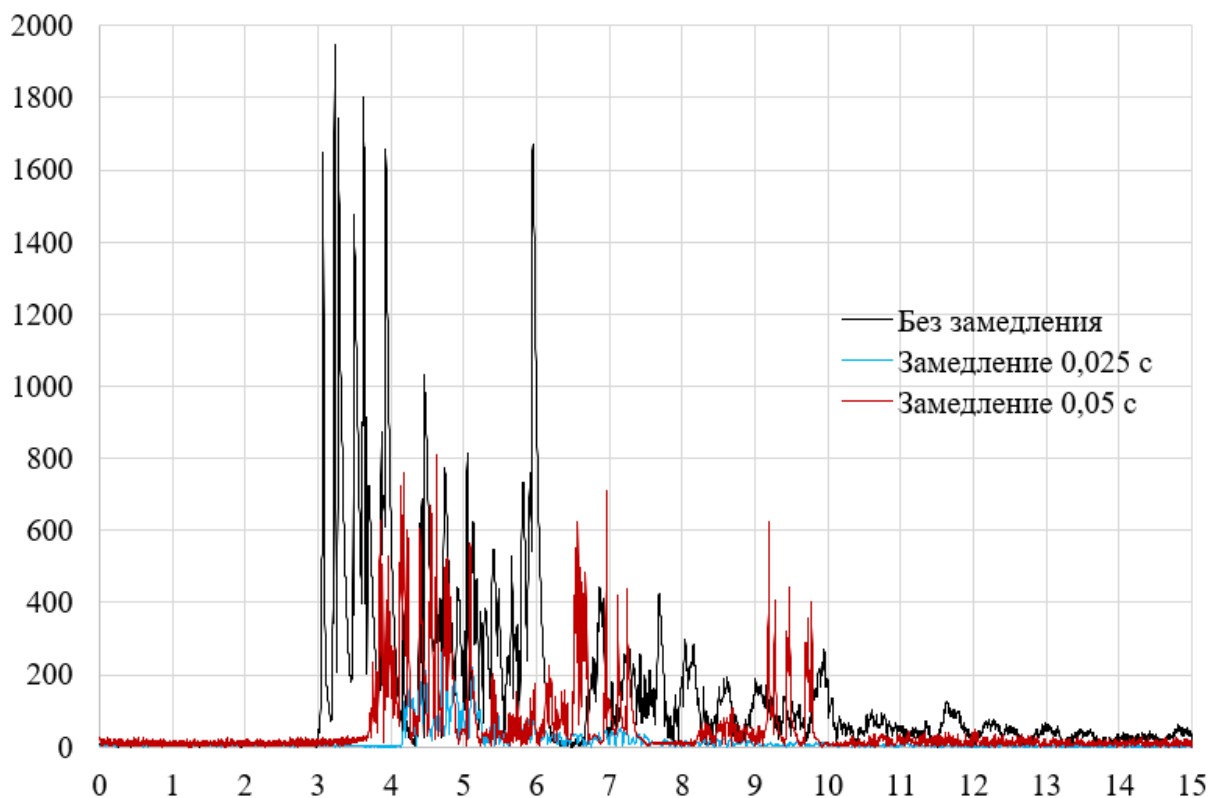


Рис. 3. График изменения давления взрывной волны (Па) на замерных пунктах во времени (с)

Пиковые значения давления в замерных точках без замедления составили порядка 2000 Па. При замедлении 25 мс – порядка 262 Па. При замедлении 50 мс – порядка 811 Па. Необходимо отметить, что в третьей серии взрыва оборудование было размещено ближе к точке взрывания.

Полученные данные использованы для нахождения первоначального давления взрыва. Моделирование взрыва произведено в программном комплексе «Аэросеть» [5]. По результатам итерационного подбора получено, что первоначальное давление составляет 165 кПа без замедления, и 69 кПа при применении замедления [6]. Эти данные использованы для определения минимальных условий для проведения дробления негабарита в пределах добычных участков с точки зрения обеспечения безопасности конструкций элементов системы автоматизированного управления проветриванием. На пути движения взрывной волны присутствует один крестообразный перекресток (на длине 50 м) и три Т-образных перекрестка (далее по движению), общая длина составляет порядка 150 м (рисунок 4).

По результатам исследования сформулированы следующие рекомендации по ведению взрывных работ по дроблению негабарита:

- суммарная масса одного ВВ не более 100 кг;
- применение замедления (25 мс или 50 мс);
- минимальное расстояние – порядка 150 метров;
- наличие минимум трех Т-образных перекрестков и минимум одного крестообразного перекрестка;

При невозможности обеспечения указанных рекомендаций взрывные работы следует проводить на другом горизонте, в котором соблюдаются приведенные выше требования.

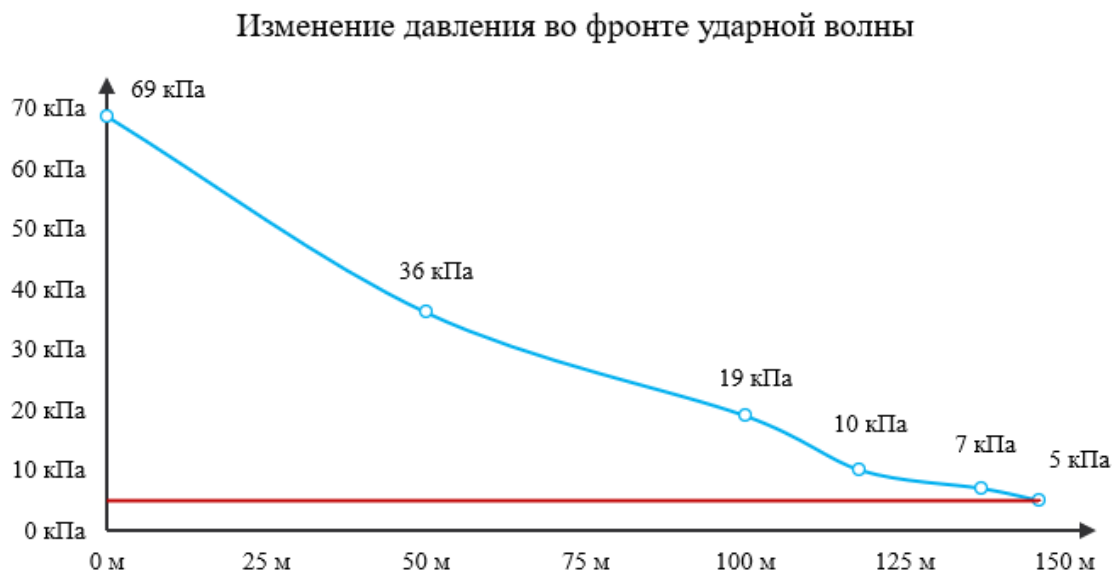


Рис. 4. График изменения давления во фронте ударной волны

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырев С.А., Осинцева А.В. Автоматизация проектирования вентиляции подземного рудника // Вестник МГТУ. Тр. Мурманского гос. техн. ун-та – 2009. – Т. 12, № 4. – С. 677-682.
2. Козырев С.А., Осинцева А.В., Амосов П.В. Управление вентиляционными потоками в горных выработках подземных рудников на основе математического моделирования аэродинамических процессов / Кольский науч. центр РАН. – Апатиты, 2019. – 114 с.
3. Лукьянов В.Г., Комащенко В.И., Шмурыгин В.А. Взрывные работы: учебник для вузов. – 2-е изд. – М.: Юрайт, 2022. – 402 с.
4. Кутузов Б.Н. Взрывные работы: учебник для горных техникумов. – М.: Недра, 1974. – 367 с.: ил.
5. Аналитический комплекс «АэроСеть»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2015610589 / Зайцев А.В., Казаков Б.П., Кашников А.В., Кормщиков Д.С., Круглов Ю.В., Левин Л.Ю., Мальков П.С., Шалимов А.В.; заявитель и правообладатель ГИ УрО РАН – № 2014613790; заявл. 24.04.2014; зарегистрировано 14.01.2015; опублик. 20.02.2015. – 1 с.
6. Методика газодинамического расчета параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли: утв. Госгортехнадзор России 01.04.2003 / М-во энергетики РФ, Центр. штаб ВГСЧ угольной пром-ти, ФГУП РосНИИИГД. – М., 2003. – 16 с.

УДК 622

DOI:10.7242/echo.2025.2.7

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ РУДНИКА «ЗАПОЛЯРНЫЙ»

М.Д. Попов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы обеспечения промышленной безопасности при одновременной отработке запасов рудника «Заполярный» открытым и подземным способами. Проведён анализ требований нормативных документов, в частности пунктов 1235 и 1237 Федеральных норм и правил (ФНиП) в области промышленной безопасности при ведении горных работ. Обоснована возможность применения комбинированной схемы проветривания. Представлены этапы перспективного развития горных работ, а также мероприятия по обеспечению безопасности ведения горных работ на рассматриваемые периоды.

Ключевые слова: рудник, шахта, промышленная безопасность, комбинированная отработка, рудник «Заполярный», вентиляция, аэрогазовый контроль, ФНиП, проветривание.