Влияние взрывных работ на газопровод высокого давления, расположенный в границах горного отвода

Кутуев В. А.^{1*}, Жариков С. Н.¹

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: slavik1988@mail.ru

Реферат

Введение. В статье представлены результаты исследования допустимой динамической нагрузки на площадку прокладки газопровода высокого давления II категории, размещенного в границах горного отвода, в связи с производством взрывных работ на карьере ОАО «Сухоложскцемент».

Цель работы. Работа направлена на повышение уровня безопасной эксплуатации газопровода и установление ограничений по сейсмическому воздействию горных (взрывных) работ в направлении места прокладки газопровода.

Методология. Применена методика ИГД УрО РАН для определения допустимых расстояний от технологического взрыва в карьере до охраняемого объекта (газопровода) в зависимости от массы взрывчатого вещества (ВВ) в ступени замедления, коэффициента грунтовых условий и допустимой скорости сейсмических колебаний.

Результаты. Установлено, что с учетом глубины взрыва в карьере и соответствующих геологических условий, путем изменения массы в ступени замедления можно полностью исключить негативное влияние взрыва на площадку укладки газопровода. Предложена расчетная схема для определения безопасных расстояний до газопровода высокого давления в зависимости от угла борта и глубины проведения взрывных работ в карьере.

Выводы. Выполнен динамический расчетный анализ силового воздействия взрывных работ на грунты и газопровод высокого давления. Рекомендовано установить ограничения по массе ВВ на уровне минимальных опасных значений, а для предстоящих взрывов проектировать схему инициирования зарядов с массой ВВ в ступени замедления менее одной тонны.

Ключевые слова: сейсмическое действие взрыва; сейсмоустойчивость; взрывные работы; разрушение горных пород; физико-механические свойства горных пород; газопровод высокого давления; безопасные расстояния.

Введение. Проблематика исследования заключается в том, что газопровод высокого давления II категории (от 0,3 до 0,6 МПа) размещен вблизи горного отвода ОАО «Сухоложскцемент». Требуется обеспечить сейсмическую безопасность эксплуатации газопровода и определить допустимые расстояния производства взрывных и горных работ в целом, а также допустимую сейсмоустойчивость площадки размещения.

В рамках исследования необходимо было решить две поставленные задачи:

— определить допустимые скорости сейсмических колебаний и перемещений грунта в зоне прокладки газопровода высокого давления II категории диаметром 225 мм, при которых сохраняется безопасная эксплуатация;

— определить безопасное расстояние (зону, величину откоса) от газопровода, на котором запрещена сейсмическая активность выше 6 и 7 баллов ввиду геологических особенностей.

В административном отношении трасса газопровода проходит от южной границы г. Сухой Лог, вдоль автомобильной дороги Сухой Лог–Камышлов, до пос. Куры.

В геоморфологическом отношении газопровод находится на слегка увалистой платообразной равнине восточного склона Среднего Урала в 0,5–3,6 км от р. Пышмы. Склоны долины реки осложнены эрозионно-карстовыми логами. Естественный рельеф трассы относительно ровный с уклоном к северо-востоку в сторону р. Пышмы. Абсолютные отметки поверхности изменяются в пределах 145–166 м. Перепад существующих высотных отметок земли на данном участке составляет 21 м.

Участок трубопровода расположен в зоне развития каменноугольных известняков мелкозернистых, массивных, серых, буро-серых, редко темных брекчиевидных известняков.

По данным бурения и анализа результатов лабораторных проб в геолого-литологическом разрезе площадки проектируемого строительства выделено пять инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Далее приводится описание разреза по выделенным ИГЭ (сверху–вниз):

ИГЭ–1. Насыпной грунт (tQ) представлен щебнем отсыпки автодорог, суглинком и супесью со щебнем с примесью строительного мусора и почвенно-растительного грунта. Мощность насыпного грунта по скважинам составляет 1,0–1,5 м. Использовать в основании фундаментов сооружений не рекомендуется.

ИГЭ–2. Суглинок делювиальный твердый (dQ) – коричневого, темно-коричневого цвета, с редкой галькой кварца, местами с белыми карбонатными стяжениями. Вскрытая мощность слоя 1,4–4,8 м.

По степени морозоопасности делювиальные грунты оцениваются как слабопучинистые. Тип грунтовых условий по просадочности – I.

ИГЭ–3. Супесь аллювиальная твердая (aQ) – ярко-охристого цвета, песчанистая, с гравием кварца до 23,0 %, местами гравелистая. Вскрытая мощность слоя 0,3–2,3 м. По степени морозоопасности аллювиальные грунты оцениваются как практически непучинистые. По предварительной оценке, грунты слоя просадочные. Тип грунтовых условий по просадочности – I. По предварительной оценке, супесь аллювиальная относится к ненабухающим грунтам.

ИГЭ–4. Суглинок континентальный твердый (K2cm) – серого, коричнево-серого, желто-серого цвета, с желтыми пятнами, легкий и тяжелый, пылеватый, преимущественно твердый, в единичных случаях полутвердый. Местами с ржавыми охристыми пятнами и редким щебнем. Мощность слоя 0,5–5,5 м. По степени морозоопасности делювиальные грунты оцениваются как слабопучинистые. По предварительной оценке, грунты слоя непросадочные, ненабухающие.

ИГЭ–5. Скальный грунт прочный (Pz) – известняк серого, буро-серого цвета, мелкозернистый, массивный, местами брекчиевидный, сильнотрещиноватый, очень плотный. Хорошо вскипает от действия HCl. По трещинам налет гидроокислов железа, с участками ожелезнения по массе, местами с многочисленными разноориентированными тонкими (0,5–0,7 мм) прожилками кальцита. Керна в виде крупного щебня, обуренных фрагментов и столбиков до 10 см. Выход керна 40–60 %.

Город Сухой Лог и прилегающие территории относятся к району с сейсмической интенсивностью 6 баллов по шкале MSK-64. Грунты относятся к I и II категориям по сейсмическим свойствам.

Методика исследований скорости сейсмических колебаний. Динамика воздействия от взрывных работ проявляется в сейсмических колебаниях грунта. Допустимое сейсмическое воздействие при массовых взрывах определяется в двух направлениях. Во-первых, воздействие сейсмических колебаний от взрывных работ не должно привести к потере устойчивости массива в границах площадки объекта. Во-вторых, колебания грунта под сооружением (газопроводом высокого

давления) не должны привести к его разрушению. Для выполнения комплекса расчета сейсмоустойчивости грунтов на площадках объектов и определения допустимых значений скорости колебаний для газопровода высокого давления в границах горного отвода карьера ОАО «Сухоложцемент», использованы разработки ИГД УрО РАН (*Методика измерений скорости сейсмических колебаний и давления на фронте ударной воздушной волны с использованием цифрового сейсморегистратора Minimate Plus, устройства регистрации и анализа УРАН*

Рис. 1. Схема к анализу сейсмического действия взрыва

Fig. 1. Scheme to blast seismic action analysis

и автономного измерителя-регистратора АИР / ИГД УрО РАН № 88-16359-118-01.00076-2011. Екатеринбург, 2011. 15 с.; Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. Свердловск, ИГД МЧМ СССР, 1984. 12 с.) [1, 2].

Допустимое значение скорости сейсмических колебаний находится в соответствии с допустимым динамическим напряжением в массиве. Допустимая величина на напряжений характеризует сейсмоустойчивость выработки:

$$[\sigma_{ст}] + [\sigma_{дин}] \leq \sigma_{доп}, \quad (1)$$

где $[\sigma_{ст}]$ – статическое напряжение в массиве, окружающем выработку, МПа;
 $[\sigma_{дин}]$ – динамическое напряжение в массиве (около выработки), МПа;
 $\sigma_{доп}$ – допустимая величина напряжений, МПа.

Все последующие расчеты подразумевают, что условие выражения (1) соблюдается и исследуемый массив горных пород устойчив. В приближении за допустимую величину напряжений $\sigma_{\text{доп}}$ можно принимать статический предел прочности пород на растяжение в массиве σ_p , увеличенный на 10–30 % [1]. Следует отметить, что σ_p , определенный в образце, существенно отличается от значения в массиве ввиду макронарушений. В массиве σ_p меньше, чем в образце, в 5–10 и более раз [1], так как породы, как правило, перемешаны между собой, также на эту величину существенно влияет трещиноватость и материал заполнения пустот. Определение прочности массива на растяжение осуществляется с помощью коэффициента структурного ослабления. Однако данный коэффициент ввиду масштабного эффекта в настоящее время можно определить только экспериментально, при этом на разных участках массива в одной породе он может существенно отличаться. С учетом того, что способы определения реального состояния массива пока находятся в развитии и требуют дополнительных исследований, для приближенных расчетов прочность в массиве скальных пород можно принять $0,1\sigma_p$ от значения в образце.

В [1] приведена формула для расчета допустимой скорости смещения массива (м/с). Анализ формулы, ее преобразование и сравнение с фактическими данными измерений показали, что значения получаются немного заниженными и составляют в среднем до 79 % от измеренных величин. При переводе значений ввиду округлений также образуется погрешность, уменьшающая значение на 4 %. В целом получается около 75 % от средней фактической величины. Соответственно, выражение используется в следующем виде:

$$v_d = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\gamma C} 2604,1, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимая величина напряжений, МПа; γ – плотность пород, т/м³; C – скорость звука в породе, м/с.

Скорость сейсмических колебаний (см/с) в зависимости от массы ВВ в ступени и расстояния от взрыва до охраняемого объекта может быть определена согласно [1] по следующему выражению (при расстоянии менее 1500 м):

$$v = K \sqrt{\frac{Q}{R^3}}, \quad (3)$$

где Q – масса одновременно взрываемых зарядов (масса ВВ в ступени замедления), кг; R – расстояние до объекта, м; K – коэффициент, зависящий от грунтовых условий: для скальных, полускальных грунтов $K = 200$ –300; для песчано-глинистых $K = 300$ –450; для рыхлых, обводненных и насыпных грунтов $K = 450$ –600.

Таким образом, определив допустимую скорость колебаний участка борта (2) и подставив полученное значение в выражение (3), можно определить в зависимости от расстояния допустимую массу ВВ на ступень замедления. В настоящее время средства взрывания могут обеспечить независимую работу каждого заряда ВВ в скважине, поэтому с применением таких расчетов можно оптимизировать параметры буровзрывных работ и добиться значительного снижения эффекта сейсмического воздействия взрыва на охраняемый массив и объект.

Представленный способ решения задачи позволяет произвести предварительные расчеты, оценить возможное воздействие взрывных работ на охраняемый

Таблица 1. Исходные данные и расчетные значения сейсмостойчивости грунтов
Table 1. Input data and rated values of soil seismic resistance

Порода	Плотность, т/м ³	Прочность на сжатие в образце, МПа	Прочность на растяжение в образце, МПа	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, ГПа	Скорость продольных волн в грунте, м/с	Скорость поперечных волн в грунте, м/с	Принятый коэффициент структурного ослабления	Прочность на сжатие в массиве, МПа	Прочность на растяжение в массиве, МПа	Принятая допустимая величина напряжений, МПа	Допустимая скорость сейсмических колебаний грунта, м/с
Насыпной грунт (щебень с примесями)	1,72	0,18	0,02	0,25	0,001	1300	751	1,00	0,18	0,02	0,03	0,03
	1,86	0,22	0,03	0,25	0,001	1350	779	1,00	0,22	0,03	0,03	0,04
	2,00	0,25	0,03	0,25	0,001	1400	808	1,00	0,25	0,03	0,04	0,04
Суглинок континентальный твердый (сильнопучнистый)	1,82	1,50	0,15	0,35	0,025	1700	817	0,80	1,20	0,12	0,16	0,13
	1,89	2,00	0,20	0,35	0,025	1930	927	0,80	1,60	0,16	0,21	0,15
	1,96	2,50	0,25	0,35	0,025	2160	1038	0,80	2,00	0,20	0,26	0,16
Суглинок делювиальный твердый	1,72	1,00	0,10	0,33	0,017	1500	756	0,70	0,70	0,07	0,09	0,09
	1,81	1,50	0,15	0,33	0,017	1700	856	0,70	1,05	0,11	0,14	0,12
	1,89	2,00	0,20	0,33	0,017	1900	957	0,70	1,40	0,14	0,18	0,13
Супесь аллювиальная твердая (ненабухающий грунт)	1,84	2,50	0,31	0,29	0,028	1450	789	0,50	1,25	0,16	0,20	0,20
	1,92	2,65	0,33	0,29	0,028	1575	857	0,50	1,33	0,17	0,22	0,19
	2,00	2,80	0,35	0,29	0,028	1700	925	0,50	1,40	0,18	0,23	0,17
Скальный грунт прочный (известняк)	2,42	64,30	6,43	0,26	34,00	3430	1953	0,10	6,43	0,64	0,84	0,26
	2,56	79,95	8,00	0,26	38,00	4590	2614	0,10	8,00	0,80	1,04	0,23
	2,70	95,60	9,56	0,26	42,00	5750	3275	0,10	9,56	0,96	1,24	0,21

объект (газопровод высокого давления) и принять соответствующие технические решения по ведению горных работ.

На практике [3] методика исследований включает натурные измерения величин сейсмических волн при проведении взрывных работ на карьерах и рудниках, статистическую обработку экспериментальных данных, контроль влияния взрывных работ на охраняемые объекты и расчеты допустимых величин зарядов ВВ в различных условиях.

Рис. 2. Точки 1-К и 2-К на границе карьера ОАО «Сухоложскцемент», а также 1-Г и 2-Г на охраняемом объекте

Fig. 2. Points 1-K and 2-K at the border of SLK Cement open pit and 1-G и 2-G at the secure facility

После замеров полученные величины (векторное значение максимальной результирующей скорости колебаний грунта) сравнивают с расчетными допустимыми значениями скорости сейсмических колебаний. В целом, такой подход может быть осуществлен согласно схеме рис. 1.

Таким образом, сравнение расчетных и экспериментальных данных позволяет вести наблюдения за сейсмоустойчивостью горного массива при ведении взрывных работ вблизи охраняемого комплекса. В данной работе специальные экспериментальные исследования не были предусмотрены. Применена лишь расчетная часть схемы исследований.

Расчет сейсмоустойчивости грунтов при технологических взрывах. Необходимые исходные данные для расчета сейсмоустойчивости в имеющихся геологических материалах представлены не в полном объеме. Поэтому часть данных для расчета принята из справочной литературы [4–10].

Исходные данные и расчетные значения сейсмоустойчивости грунтов представлены в табл. 1.

На основании исходных данных выполнен расчет и произведено сравнение допустимой скорости колебаний, которая для сейсмической активности

6–7 баллов составляет $v_d = 0,06$ м/с согласно [10], с расчетной. Расчетные допустимые скорости по условию сейсмоустойчивости (отмечено в табл. 1 серым цветом, с полужирным очертанием текста) превышают указанное значение в большинстве случаев, что свидетельствует о значительном запасе сейсмоустойчивости суглинка и скального грунта. Насыпной же грунт может потерять сейсмоустойчивость при колебаниях 0,03 м/с. С учетом схемы прокладки газопровода в указанных грунтах для дальнейших расчетов опасной массы ВВ в ступени замедления, провоцирующей сейсмическую активность выше 7 баллов у газопровода, значение допустимой скорости принято $v_d = 0,06$ м/с.

Таблица 2. Расчетные значения опасной массы ВВ на ступень замедления
Table 2. Rated values of hazardous mass of explosive at the timing stage

Объект	Номер точки		Кратчайшее расстояние от границы карьера до охраняемого объекта L , м	Допустимая скорость колебаний незастроенного грунта v_d , м/с	Средний коэффициент грунтовых условий K	Опасная масса ВВ на ступень замедления для откосных и грунтовых сооружений Q , кг
	объекта	карьера				
Газопровод высокого давления II категории диаметром 225 мм	1-Г	1-К	930	0,06	300	321 742,80
					450	142 996,80
	2-Г	2-К	625		600	80 435,70
					300	97 656,25
					450	43 402,78
					600	24 414,06

Кратчайшее расстояние от карьера до газопровода характеризуется следующими точками. На границе карьера ОАО «Сухоложскцемент» выбраны точки 1-К и 2-К, на охраняемом объекте 1-Г и 2-Г (рис. 2).

Согласно выбранным точкам и допустимой скорости колебаний грунта $v_d = 0,06$ м/с при коэффициентах грунтовых условий: 300 (скальные, полускальные грунты); 450 (песчаноглинистые); 600 (рыхлые, обводненные и насыпные грунты) произведены расчеты, представленные в табл. 2.

Определение безопасных расстояний для газопровода высокого давления. Для определения допустимых расстояний до охраняемого объекта путем преобразования формулы (3) выразили L_0 , м, и получили выражение следующего вида:

$$L_0 = \sqrt[3]{\frac{QK^2}{v_d^2}}. \quad (4)$$

По полученной формуле был произведен многовариантный расчет допустимых расстояний от взрыва до охраняемого объекта для пяти инженерно-геологических элементов в зависимости от массы ВВ в ступени, коэффициента грунтовых условий и допустимой скорости сейсмических колебаний. С учетом глубины взрыва в карьере и соответствующих геологических условий, путем изменения массы в ступени замедления можно полностью исключить негативное влияние взрыва на район укладки газопровода.

Для определения безопасных расстояний до газопровода высокого давления в зависимости от угла борта карьера ОАО «Сухоложскцемент» и глубины проведения взрывных работ в карьере предлагается следующее выражение

$$L_{H(x)} = L_0 + \sqrt{\left(H_{\text{взр}(x)} / \sin \alpha\right)^2 - H_{\text{взр}(x)}^2}, \quad (5)$$

где $L_{H(x)}$ – безопасное расстояние до охраняемого объекта при глубине $H_{\text{взр}(x)}$, м; L_0 – допустимое расстояние от границы карьера до газопровода высокого давления, м; $H_{\text{взр}(x)}$ – глубина проведения взрывных работ в карьере, м; α – угол борта карьера.

Рис. 3. Схема для определения безопасного расстояния от места проведения взрывных работ в карьере до охраняемого объекта

Fig 3. Scheme for the determination of secure distance from the blasting site at the open pit to the secure facility

В качестве примера рассмотрен вариант со следующими параметрами: масса ВВ $Q = 260$ кг; допустимое расстояние $L_0 = 86$ м (согласно выражению (4)); глубина проведения взрывных работ в карьере $H_{\text{взр}(x)} = 50$ м; угол борта карьера $\alpha = 40^\circ$. Подставив исходные данные в формулу (5), получим значение безопасного расстояния до охраняемого объекта: $L_H = 86 + \sqrt{(50 / \sin(40^\circ))^2 - 50^2} = 145,6$ м.

На рис. 3 представлена схема для определения безопасного расстояния до газопровода высокого давления.

Согласно имеющимся сведениям, в карьере взрываются блоки по 100 скважин. Общая масса зарядов в таких блоках может достигать 26–30 т. При большом количестве скважин возможно случайное совпадение одновременного срабатывания разных ступеней замедления [11, 12], что фактически может увеличить общую массу в ступени и вызвать увеличенные колебания. Поэтому рекомендуется для предстоящих взрывов проектировать схему инициирования зарядов с массой в ступени замедления менее 1 т. При замедлении в каждой скважине с массой заряда $Q = 260$ кг при расстоянии L более 230 м от места взрыва до газопровода потеря сейсмоустойчивости грунта маловероятна. При этом следует отметить, что существенное количество скважин ввиду погрешностей срабатывания

средств инициирования может привести к тому, что в ступени замедления срабатывает больше зарядов, чем предполагается схемой инициирования.

Для решения задачи по определению безопасных расстояний от места проведения взрывных работ в карьере до газопровода высокого давления предложена расчетная схема, в основе которой лежат выражения (4) и (5), позволяющие определять безопасные расстояния до газопровода в любой точке по глубине карьера.

Выводы. Выполнен динамический расчетный анализ силового воздействия от взрывных работ на грунты и газопровод высокого давления. Расчет выполнен в вариантах, рекомендуется установить ограничения по массе ВВ на уровне минимальных опасных значений.

Опасная масса ВВ, взорванная в карьере одновременно, для откосных сооружений карьера и газопровода высокого давления, в зависимости от принятого коэффициента грунтовых условий, допустимой скорости колебаний незастроенного грунта (0,06 м/с) и кратчайшего расстояния от границ карьера до охраняемого объекта ($L = 625$ м), составляет: 97,0 т при $K = 300$; 43,0 т при $K = 450$; 24,0 т при $K = 600$.

Для исключения межблочных подвижек в массиве горных пород не рекомендуется увеличивать количество скважин во взрываемом блоке более чем в два раза (относительно 100 скв.).

Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0005 (2019–2021 гг.), при дополнительном привлечении хоздоговорных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко И. Ф., Жариков С. Н., Зырянов И. В., Шеменев В. Г. Буровзрывные работы на kimберлитовых карьерах Якутии. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. 172 с.
2. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Изучение сейсмического действия взрыва в карьере для внедрения специальной технологии заоткосных работ // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: матер. Всерос. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2017. С. 179–183.
3. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Результаты экспериментальных исследований динамического действия взрыва на предельном контуре карьера Джетыгаринского месторождения // Проблемы недропользования. 2019. № 2(21). С. 20–26.
4. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород / М. М. Протодьяконов [и др.]. М.: Недра, 1981. 192 с.
5. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / под ред. Н. В. Мельникова [и др.]. М.: Недра, 1975. 279 с.
6. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. 359 с.
7. Ржевский В. В. Физико-технические параметры горных пород. М.: Наука, 1975. 212 с.
8. Минералы. Справочник. В IV т. / глав. ред. Ф. В. Чухров. М.: АН СССР, 1992.
9. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / под. ред. Н. Б. Дортман. М.: Недра, 1984. 455 с.
10. Друкованый М. Ф. Методы управления взрывом на карьерах. М.: Недра, 1973. 415 с.
11. Меньшиков П. В., Сеницын В. А. Сравнительный анализ фактических и номинальных интервалов замедления неэлектрических систем инициирования // ГИАБ. 2011. № 2. С. 277–282.
12. Меньшиков П. В., Сеницын В. А., Шеменев В. Г. Методика определения фактических интервалов замедлений для рациональных параметров сетки скважин с использованием системы электронного взрывания «Daveytronic» // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 183–189.

Поступила в редакцию 14 августа 2019 года

Сведения об авторах:

Кутуев Вячеслав Александрович – научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: slavik1988@mail.ru

Жариков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН. E-mail: 333vista@mail.ru

The effect of blasting on a high-pressure gas pipeline located within the borders of a mine take

Viacheslav A. Kutuev¹, Sergei N. Zharikov¹

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. This article shows the results of investigating the allowable dynamic load on the II category high-pressure gas pipeline installation site located within the borders of a mine take, which is connected with blasting at SLK Cement open pit.

Research aim. The research is aimed at increasing the level of secure operation of a gas pipeline and establishing restrictions in the seismic impact of mining (blasting) towards the gas pipeline installation site.

Methodology. The methods of IM UB RAS has been applied concerning the determination of allowable distances from a blast in the open pit to the secure facility (gas pipeline) depending on the mass of the explosive at the timing stage, soil condition coefficient, and the allowable speed of seismic vibrations.

Results. It has been determined that taking into account the depth of blast in the open pit and corresponding geological conditions, by means of changing mass at the timing stage, it is possible to totally eliminate the negative impact of a blast on a gas pipeline installation site. A design scheme has been proposed to determine secure distances to the high-pressure gas pipeline depending on the angle of open pit slope and the depth of blasting in the open pit.

Summary. A dynamic design analysis has been carried out of blasting force action on soil and high-pressure gas pipeline. It has been recommended to establish some restrictions in explosive mass at the level of minimum hazardous values. And for the future blasts it is also recommended to design a charge initiation scheme with explosive mass of less than one ton at the timing stage.

Key words: seismic action of a blast; seismic resistance; blasting; rock breaking; physical and mechanical properties of rock; high-pressure gas pipeline; secure distances.

Acknowledgements. Research has been carried out under the government contract no. 075-00581-19-00, theme no. 0405-2019-0005 (2019–2021), and under complementary funds based on an economic contract.

REFERENCES

1. Bondarenko I. F., Zharikov S. N., Zyrianov I. V., Shemenov V. G. *Drilling and blasting at the kimberlite pipes of Yakutia*. Ekaterinburg: IM UB RAS Publishing; 2017. (In Russ.)
2. Zharikov S. N., Kutuev V. A. Studying the seismic effect of a blast in the open pit to introduce special technology of bank slope work. In: *Deep structure, geodynamics, and thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields: proceeding of All-Russian Conference with international participation*. Ekaterinburg: Institute of Geophysics UB RAS Publishing; 2017. p. 179–183. (In Russ.)
3. Zharikov S. N., Kutuev V. A. Results of experimental studies of dynamic explosion action on limiting open-pit contour of Dzhetysayinskoe deposit. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2019; 2(21): 20–26. (In Russ.)
4. Protodiakonov M. M. et al. *Distribution and correlation of rock physical properties indicators*. Moscow: Nedra Publishing; 1981. (In Russ.)
5. Melnikov N. V. et al. (ed.) *Reference manual (cadaster) of physical properties of rock*. Moscow: Nedra Publishing; 1975. (In Russ.)
6. Rzhetskii V. V., Novik G. Ia. *The fundamentals of rock physics*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)
7. Rzhetskii V. V. *Physical and technical parameters of rock*. Moscow: Nauka Publishing; 1975. (In Russ.)
8. Chukhrov F. V. (ed.) *Minerals. Reference book. In 4 vol.* Moscow: AS USSR Publishing; 1992. (In Russ.)
9. Dortman N. B. (ed.) *Physical properties of rock and minerals (petrophysics). A reference book for geophysicists*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)
10. Drukovanyi M. F. *Methods of blast control at open pits*. Moscow: Nedra Publishing; 1973. (In Russ.)
11. Menshikov P. V., Sinitsyn V. A. Comparative analysis of actual and nominal delay intervals in nonelectrical initiation systems. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; 2: 277–282. (In Russ.)
12. Menshikov P. V., Sinitsyn V. A., Shemenov V. G. Method for determining actual range of delay intervals for rational parameters of blast holes grid with the use of electronic blasting "Daveytronic". *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia = Advances in Current Natural Sciences*. 2016; 3: 183–189. (In Russ.)

Information about authors:

Viacheslav A. Kutuev – researcher, Institute of Mining UB RAS. E-mail: slavik1988@mail.ru

Sergei N. Zharikov – PhD (Engineering), Head of the Laboratory of Rock Breaking, Institute of Mining UB RAS. E-mail: 333vista@mail.ru

Для цитирования: Кутуев В. А., Жариков С. Н. Влияние взрывных работ на газопровод высокого давления, расположенный в границах горного отвода // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 3. С. 50–60. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-50-60

For citation: Kutuev V. A., Zharikov S. N. The effect of blasting on a high-pressure gas pipeline located within the borders of a mine take. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 3: 50–60 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-50-60