УДК 622.235

Р.А.ВОЗГРИН, *студент, romik_fe@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
Л.В.СУРОВИЦКИЙ, *главный инженер, surovitsky@mail.ru*
ООО «ПетроГазСервис», Санкт-Петербург

R.A.VOSGRIN, *student, romik_fe@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg
L.V.SUROVITSKY, *chief engineer, surovitsky@mail.ru*
«PetroGazService» LLC, Saint Petersburg

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМОВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНШЕИ ВБЛИЗИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ГАЗОПРОВОДА

Приведены рекомендации для расчета безопасной массы заряда при проведении массового взрыва при сооружении траншеи параллельно действующему подземному трубопроводу. Представлена методика расчета максимальной допустимой скорости сейсмовзрывной волны при проведении массовых взрывов, для мониторинга – при ведении буровзрывных работ (БВР). Приведены зависимости показателей скорости сейсмовзрывной волны от параметров БВР.

***Ключевые слова*:** сейсмобезопасность, буровзрывные работы, параметры БВР, скорость сейсмической волны.

MEASUREMENT OF THE SEISMIC BLAST WAVE DURING THE CONSTRUCTION OF THE PIPELINE TRENCH NEAR THE EXISTING PIPELINE

In this article describes how to calculate the safety charge mass during mass explosion at a pipeline trench construction which parallel to the existing underground pipeline. A method of calculating the maximum allowable velocity seismic blast wave in the mass explosions, for monitor the production of blasting. Presented the dependences of speed seismic blast waves on the parameters of drilling and blasting.

***Key words*:** seismic safety, blasting, blasting parameters, the seismic waves velocity.

В опасную зону проведения буровзрывных работ (БВР) при сооружении траншеи под трубу строящегося газопровода Nord Stream «Северо-Европейский газопровод» (СЕГ) попадает труба действующего магистрального газопровода Ленинград – Выборг – Госграница-1,2. В этой ситуации необходимо определить безопасные параметры БВР в

отношении охраняемого объекта. В данном случае наиболее опасным фактором является сейсмическое воздействие от БВР на существующий газопровод.

В статье описаны методики по обеспечению безопасности охраняемого объекта (газопровода) при производстве БВР.

Определение массы единовременно взрываемого заряда на основании рекомендации Р442-81 «По технологии производства взрывных работ в мерзлых и скальных грунтах...», разработанной ВНИИСТ. Данная методика [4] разработана с целью определения массы сейсмически безопасного заряда Q при заданном расстоянии R от заряда до действующего газопровода, а также для расчета сейсмически безопасного расстояния R_c при заданной массе заряда (рис.1). Методика предусматривает два вида условий:

- рыхление скважинными зарядами включений скальных горных пород и мерзлого грунта;
- рыхление монолитных скальных горных пород.

Сейсмически безопасная масса заряда Q_c для данных геологических условий определяется по формуле

$$V = \alpha K_г K_з K_и K_н K_t \frac{R_c^3(\sigma_р - \sigma_{пр})}{35000},$$

где α – коэффициент, для зарядов нормального рыхления 1,0; для зарядов выброса 1,7 (для рассматриваемых условий $\alpha = 1$); $K_г$ – коэффициент, зависящий от группы разрыхляемых скальных горных пород; в условиях строительства газопровода скальная горная порода в основном представлена гранитами, учитывая наличие водопритока (см. таблицу), принимаем $K_г = 0,8$; $K_з$ – коэффициент, зависящий от видов защиты изоляционного покрытия действующего трубопровода, $K_з = 1$; $K_и$ – коэффициент, равный 0,9 для участков трубопровода, имеющих упругий изгиб с радиусом не менее 1000 D в горизонтальной или вертикальной плоскости, а также для участков, расположенных ближе 50 м от задвижек, крановых узлов и другой линейной арматуры; $K_н$ – коэффициент назначения трубопровода, $K_н = 1$; для газопроводов 1,0; для нефтепроводов 0,85; для водопроводов 0,9; K_t – коэффициент, принимаемый для горячих (при $t > 40$ °С) участков трубопровода, $K_t = 0,7$; для остальных участков $K_t = 1$.

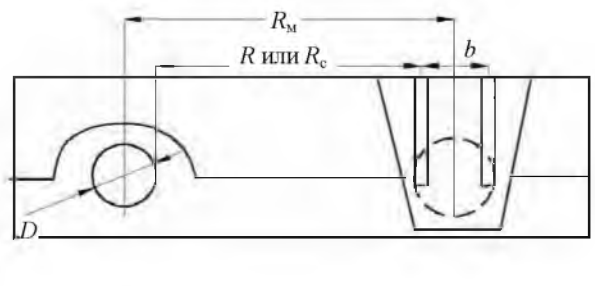


Рис.1. Схема расположения зарядов при строительстве траншеи под трубопровод (справа) вблизи действующего газопровода (слева)

Зависимость $K_г$ от группы разрыхляемых пород

Категория крепости по шкале ЕН и Р	Значения коэффициента $K_г$	
	при естественной влажности массива	при значительном повышении влажности массива
IV-VI	1,0	0,85(0,8)
VII-IX	0,9	0,85(0,7)
X-XI	0,85	0,8(0,7)

Примечание. Численные значения соответствуют водонасыщенным массивам трещиноватых горных пород.

Расчетное сопротивление стали

$$\sigma_р = 0,61\sigma_{вр},$$

где $\sigma_{вр}$ – временное сопротивление стали разрыву (предел прочности на растяжение), МПа. В соответствии с ТУ 1381-012-05757848-2005 принимаем $\sigma_{вр} = 520$ МПа.

Тогда

$$\sigma_р = 0,61 \cdot 5200 = 317,2 \text{ МПа}$$

Приведенные напряжения в стенке трубопровода

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_0^2 - 0,8\sigma_0\sigma_t + 0,64\sigma_t^2},$$

где σ_0 – кольцевое напряжение в стенке действующего трубопровода от внутреннего давления, МПа; σ_t – продольное напряжение в стенке действующего трубопровода от тепловой деформации, МПа, для газопроводов без охлаждения $\sigma_t = 1000$ МПа.

Кольцевое напряжение

$$\sigma_р = \frac{P(D-2\delta)}{2\delta},$$

где P – максимальное рабочее давление в трубопроводе на планируемый период производства БВР, МПа, $P = 5{,}5$ МПа (ТУ на данный вид труб предусматривает их использование при внутреннем давлении в трубопроводе до 98 МПа); D – наружный диаметр действующего трубопровода, $D = 142$ см; δ – минимальная толщина стенки трубопровода, $\delta = 1{,}7$ см.

Следовательно,

$$\sigma_р = \frac{55(142-2\cdot1{,}7)}{2\cdot1{,}7} = 217 \text{ МПа}.$$

Отсюда

$$\sigma_{пр} = \sqrt{2170^2 - 0{,}8\cdot2170\cdot1000 + 0{,}64\cdot1000^2} = 190 \text{ МПа}.$$

Таким образом, сейсмически безопасная масса заряда для рассматриваемых условий при $R_c = 10$ м

$$Q_с = 1\cdot0{,}8\cdot1\cdot0{,}9\cdot1\cdot1\times \times\frac{10^3(3172-1900)}{35000} = 24{,}76 \text{ кг}.$$

Учитывая повышенные требования к безопасности работ, примем минимальное значение массы заряда. С учетом КЗВ

$$Q_{с\,груп} = 0{,}65\cdot Q_с = 0{,}65\cdot24{,}76 = 16 \text{ кг}.$$



Рис.2. Зависимость сейсмически безопасной массы скважинного заряда для рыхления скальных пород от расстояния до газопровода при применении КЗВ

Для других расстояний массы зарядов представлены на рис.2.

Определение максимальной скорости смещения грунта на основании ранее выполненных исследований (при строительстве предыдущей очереди Северо-Европейского газопровода). При проектировании БВР в процессе строительства предыдущей очереди Северо-Европейского газопровода сотрудниками Горного университета [3] выполнено исследование, в результате которого был определен коэффициент затухания сейсмовзрывных волн с расстоянием от места взрыва и коэффициент сейсмичности, зависящий от свойств грунта. Это позволило зависимость, предложенную М.А.Садовским [5], переписать в виде

$$\sigma_р = 560\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{2.3},$$

где 560 – коэффициент сейсмичности; Q – масса единовременно взрываемых зарядов ВВ, $Q = 16$ кг; R – расстояние от очага взрыва до места регистрации, в данном случае $R = 10$ м; 2,3 – показатель степени затухания колебаний, зависящий от свойств пород для данных условий.

Для рыхления монолитных скальных горных пород максимальная скорость смещения

$$V = 560\left(\frac{\sqrt[3]{16}}{10}\right) = 24{,}1 \text{ см/с}.$$

Методика инструментальных исследований уровня воздействия СВВ для условий строительства и периодического контроля (мониторинга) рекомендованных параметров СВВ при изменяющихся условиях производства работ. Основной целью проведения мониторинга является измерение максимальной скорости смещения частиц грунта в месте расположения действующего газопровода при проведении БВР. Причинами превышения рекомендованного значения максимальной скорости смещения в СВВ могут являться:

• несоблюдение параметров БВР, рекомендованных проектом (превышена масса

зарядов в группе, уменьшены интервалы замедлений и т.д.);

• некачественное срабатывание замедлений между группами взрываемых зарядов;

• изменяющиеся горно-геологические условия (повышенная обводненность, изменение физико-механических свойств грунтов и скальных горных пород).

В связи с этим необходим мониторинг при производстве БВР на каждом новом участке строительства, где присутствует изменение горно-геологических условий и рельефа.

Перед производством мониторинга определяется поправочный коэффициент, учитывающий тот факт, что измерения проводятся на поверхности грунта или скалы, а значение рекомендованной скорости сформулировано для глубины залегания действующего газопровода.

Методически данный коэффициент определяется как отношение значения скорости смещения, измеренной датчиком, установленной в траншее на уровне прохождения газопровода, к значению скорости смещения, измеренной на поверхности (над газопроводом). Впоследствии данный коэффициент учитывается для определения истинной скорости смещения на подходе к трубе газопровода по значению скорости, полученной на поверхности.

Порядок проведения измерений. Для получения полного вектора скорости распространения СВВ в точке измерения проводится установка трех однокомпонентных или одного трехкомпонентного сейсмоприемников, регистрирующих все составляющие вектора скорости [1]: вертикальную (V_h), тангенциальную (V_τ) и радиальную (V_r).

Значение полного вектора скорости определяется суммированием трех составляющих вектора скорости в единицу времени с учетом чувствительности датчика [2]:

$$V = k\sqrt{V_h^2 + V_\tau^2 + V_r^2}\,.$$

Результаты измерений представлены на рис.3.

Таким образом, используя линейную аппроксимацию максимальных значений скорости сейсмовзрывной волны по составляющим и результирующий вектор суммы как функцию количества зарядов (рис.3, *а*), получим слабую обратную зависимость для тангенциальной составляющей и отсутствие зависимости для других составляющих и вектора суммы. Так как тангенциальная составляющая при данном виде сейсмического воздействия имеет меньшую величину по сравнению с другими составляющими, можно предположить, что с увеличением числа ступ-

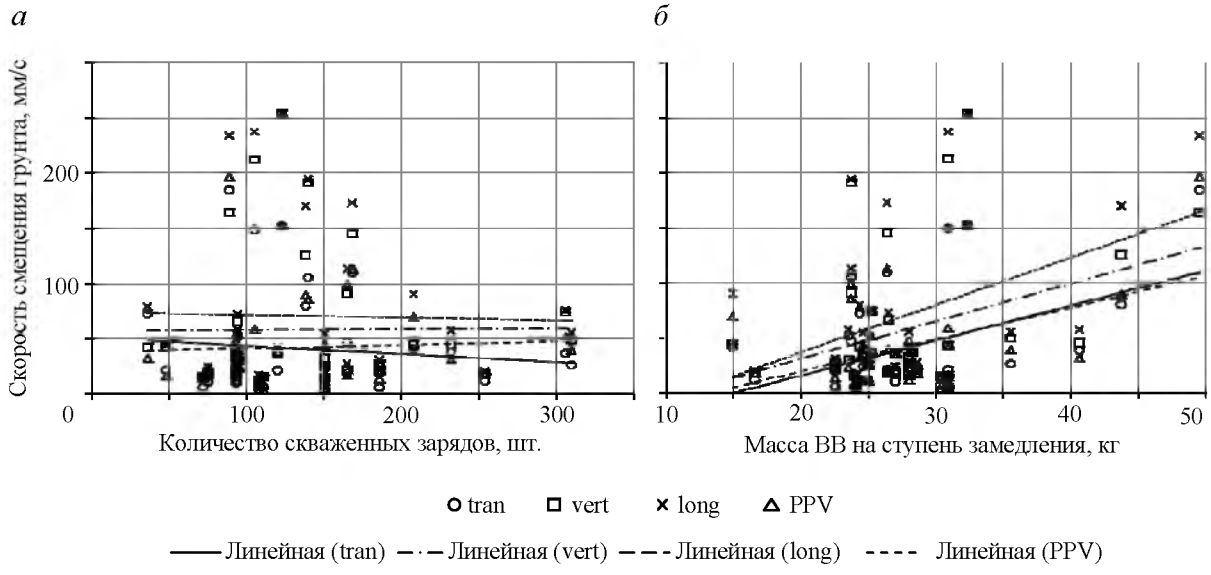


Рис.3. Зависимость скорости смещения грунта в сейсмовзрывной волне от количества шпуровых зарядов во взрываемом блоке (*а*) и от массы ВВ на ступень замедления (*б*)

tran – тангенциальная составляющая скорости; vert – вертикальная составляющая скорости; long – радиальная составляющая скорости; PVS – пиковый вектор суммы

пеней воздействие тангенциальной составляющей сейсмовзрывной волны уменьшается за счет интерференции волн, так как тангенциальная составляющая совпадает по ориентации с продольной осью взрываемого блока.

Если рассмотреть изменение скоростей смещения грунта в сейсмовзрывной волне с увеличением массы ВВ на ступень замедления, то можно наблюдать прямую зависимость (рис.3, *б*), что вполне предсказуемо и логично. Графики ускорения по этому же набору данных повторяют зависимость скоростей.

Графики ускорения по этому же набору данных показывают, что зависимости повторяются, так как ускорение является производной от скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артёмов В.А.* Исследование сейсмобезопасных условий производства буровзрывных работ вблизи действующего газопровода / В.А.Артёмов, Ю.И.Виноградов, С.В.Густов // Взрывное дело. № 103/60. 2010.

2. *Медведев С.В.* Инженерная сейсмология. М., 1962.

3. *Медведев С.В.* Сейсмика горных взрывов. М., 1964.

4. Рекомендации Р 442-81 по технологии производства взрывных работ в мерзлых и скальных грунтах при сооружении магистральных трубопроводов параллельно действующим стальным подземным трубопроводам. ВНИИСТ. М., 1982.

5. *Садовский М.А.* Опытные исследования механического действия ударной волны взрыва // Труды сейсмологического ин-та АН СССР. М. – Л., 1945. № 116

REFERENCES

1. *Artyomov V.A.* Research seismic safety conditions of production drilling and blasting operations near the existing pipeline // V.A. Artyomov, Yu.I.Vinogradov, S.V.Gustov // Explosion science. N 103/60. 2010.

2. *Medvedev S.V.* Engineering seismology. Moscow, 1962.

3. *Medvedev S.V.* Seismic mining explosions. Moscow, 1964.

4. Recommendation P 442-81 on the production technology of blasting in frozen soil and rock in the construction of pipelines parallel to existing underground steel pipelines. VNIIST. Moscow, 1982.

5. *Sadovskiy M.A.* Experimental research of the mechanical action of the explosion shock wave. Proceedings of Seismological Institute of the USSR Academy of Sciences. Moscow-Leningrad, 1945. N 116.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент *Ю.И.Виноградов*