

© А.П. Стрилец, Г.Д. Пчелкин

<sup>1</sup> Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепр, Украина

## ОБОСНОВАНИЕ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОЙ МАССЫ ГРУПП ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО

© O. Strilets, G. Pchelkin

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## SUBSTANTIATION OF THE SEISMICALLY SAFE MASS OF THE GROUP OF DRILL CHARGES DURING EXPLOSIVE WORKS ON THE CONSTRUCTION OF METRO TUNNELS

**Целью работы** является разработка сейсмобезопасных условий проведения буровзрывных работ при проходке горных выработок в туннелях и стволах которые обеспечат максимальную скорость строительства метрополитена в г. Днепр.

**Методы исследования.** Для принятия решений были использованы методы анализа закономерностей распространения сейсмических волн в различных породах и их влияние на здания и сооружения. Натурные исследования с переносом результатов на существующие горные выработки. Обоснование сейсмобезопасной масса групп шпуровых зарядов при проведении взрывных работ на строительстве тоннелей метрополитена в г. Днепр разработана на основе действующих нормативных документов [1 ÷ 5] и содержит основные рекомендации по организации и технологии мониторинга сейсмических колебаний грунта у фундаментов зданий и сооружений в зоне влияния взрывных работ.

**Результаты.** Разработана методика определения коэффициента ( $K$ ) зависящего от условий проведения взрыва на основе экспериментальных взрывов при инструментальном измерении скорости сейсмических колебаний грунта у основания фундаментов зданий и сооружений для конкретных условий взрывания. Приведены теоретические расчеты максимально допустимой массы групп зарядов в зависимости от условий взрывания и расстояния до зданий и сооружений. Разработаны специальные сейсмобезопасные параметры буровзрывных работ которые обеспечат максимальную скорость проходки горных выработок.

**Научная новизна.** Моделирование прогнозируемой скорости сейсмических колебаний грунта позволяет оптимизировать параметры шпуровых зарядов, что позволит уменьшить сейсмическую нагрузку на здания и сооружения и улучшит качество взрывных работ. Методика определения коэффициента ( $K$ ) зависящего от условий проведения взрыва позволяет наиболее точно прогнозировать параметры сейсмоколебаний на расстоянии от места взрыва.

**Практическое значение.** Экспериментально доказано адекватность прогнозной оценки скорости сейсмических колебаний грунта в основании зданий и сооружений в зависимости от массы зарядов и условий их взрывания на эффективность буровзрывных работ, что позволит увеличить темпы проходки горных выработок при строительстве метрополитена в г. Днепр.

**Ключевые слова:** метро, тоннель, ствол, взрывные работы, шпур, сейсмические колебания.

**Общие положения.** Центр по проблемам взрывных работ НТУ «Днепровская политехника» проводил постоянный контроль выполнения буровзрывных

работ при строительстве метро в г. Днепр. Особое внимание уделяли при строительстве шахтных стволов №11, 12, 14 и около ствольных выработок. Специалистами Центра по проблемам взрывных работ в течение 2003 ÷ 2004 г.г. выполнялась научно-техническая работа «Выполнение необходимого инструментального контроля и разработка рекомендаций по уменьшению сейсмического воздействия на наземные объекты буровзрывных работ при проходке выработок Днепропетровского метрополитена в районе шахтных стволов №№11, 12, 14» по договору №070314 с ДФ «Днепромтропроект» на основании разрешения Госназдорхрантруда Украины №1084.01.30-74.20.1 от 20.12.2001 г..

При восстановлении работ в 2017 г. Центр по проблемам взрывных работ выполнял научно-техническую работу «Предоставить научно-техническую помощь в проведении мониторинга сейсмического воздействия экспериментальных взрывов и разработать рекомендации по сейсмобезопасности выполнения взрывных работ при строительстве I линии метрополитена в г. Днепр» по договору № 070382 с ТО-14 ОАО «Киевметрострой».

Центр по проблемам взрывных работ также проводит постоянный мониторинг сейсмического воздействия массовых взрывов в карьерах, которые имеют уменьшенную санитарно-защитную зону или объекты, подлежащие сохранению на территории Украины.

Исследование влияния сейсмических колебаний грунта на прилегающие здания и сооружения выполняются согласно ДСТУ 7116: 2009 [2] и ДСТУ 7117: 2009 [3]. Выводы предоставляются на основании ДСТУ4704: 2008 [1], ДБН В.1.1-12: 2014 [4], ДСП 173-96 [5]. Для регистрации сейсмоколебаний используется сертифицированное оборудование, которое отвечает действующему законодательству Украины.

Обоснование сейсмобезопасной масса групп шпуровых зарядов при проведении взрывных работ на строительстве тоннелей метрополитена в г. Днепр разработана на основе действующих нормативных документов и содержит основные рекомендации по организации и технологии мониторинга сейсмических колебаний грунта у фундаментов зданий и сооружений в зоне влияния взрывных работ при строительстве Днепровского метрополитена.

#### *Объект строительства.*

II пусковой участок первой очереди метрополитена вдоль проспекта Яворницкого г. Днепре от ст. «Вокзальная» до ст. «Исторический Музей». Он имеет эксплуатационную длину 4,014 км, строительную длину в двухпутном исполнении 4,178 км и состоит из двух участков, разных по уровню строительной готовности, включающих стволы, перегонные и наклонные тоннели, станции «Театральная», «Центральная», «Исторический музей» с оборотно-отстойными тупиками и пунктом технического обслуживания. Обделка перегонных тоннелей сооружается из монолитного железобетона подковообразного очертания, способ проходки перегонных тоннелей - Новоавстрийский метод.

#### *Объект мониторинга.*

Объектом мониторинга является дневная поверхность в зоне влияния строящегося метрополитена, которая определена на основе проектной документации

объекта и согласно требованиям строительных норм распространяется на полторы - две глубины от оси линии метрополитена. В состав объекта мониторинга входят здания, расположены по адресам: пр. Дмитрия Яворницкого №№ 1 (2 здания), 1а, 2, 3 (2 здания), 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 (3 здания), 12а, 12д, 13, 14, 14г, 15, 16, 17, 17а, 17в (2 здания), 18 19к1, 19к4, 20 (3 здания), 21, 21а, 22, 23, 24, 25, 25а, 26, 27, 27а, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34б, 34к1, 34к2, 35к4, 35к5, 36, 37 (2 здания), 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47 (2 здания), 49, 50, 51, 52, 53, 53а, 54, 54Д, 55 (3 здания), 56, 57, 58, 59а, 60, 60б, 60д, 61, 62 (2 здания), 63, 64 (2 здания), 64а, 65, 66, 66а, 67, 68, 70, 71, 72, 72а, 74, 76, 77, 78, 81, 82 (2 здания), 83, 87, 88 (3 здания), 89 (6 зданий), 90, 90а, 91, 92, 93, 94, 94а, 95, 96, 97, 97К, 98, 99, 99а, 101, 101а, 101Е, 101д, 103, 105 (2 здания), 107, 107а (2 здания), 109 (3 здания), 109а, 111 (2 здания), 111а, ул. Воскресенская №№ 13, 14, ул. Андрея Фабра № 2, ул. Столярова № 1, ул. Мостовая № 2, ул. Жуковского №№ 1, 1б, 2, ул. Сергея Ефремова №1, 2, ул. Короленко 1, 2, ул. Обручева № 2, ул. Владимира Мономаха №1, пр. Гагарина № 2, 3, 5, 7, ул. Героев Крут №№ 1, 8, 10, 12, 12а, вул. Баррикадная №№ 1,2, ул. Шевченко №№ 30, 32, 34, ул. Сечевых стрелцов № 1, 1а, 3 (2 здания), 3а, ул. Исполкомовская 6, Екатеринославский бульвар 2, ул. Гоголя 1, 2 (2 здания), ул. В. Вернадского №№ 2 / 4 (4 здания).

**Постановка проблемы.** Здания и сооружения перечисленные выше, которые являются объектом мониторинга расположенные на дневной поверхности в зоне влияния строящегося метрополитена имеют значительные деформации и повреждения. Для таких зданий и сооружений особенно в плотной городской застройке необходимо разработать специальные сейсмобезопасные параметры буровзрывных работ с обеспечением максимальной скорости проходки горных выработок.

Допустимые нормы скорости сейсмических колебаний для зданий и сооружений, которые наиболее приближены к месту проведения взрывных работ установлено по ДСТУ 4704:2008 «Проведение промышленных взрывов. Нормы сейсмической безопасности» [1]. Здания и сооружения, которые подлежат сохранению относятся к IV классу и 4 категории зданий и сооружений. Конструктивные особенности и состояние этих зданий соответствует требованиям - глинобитные, кирпичные и блочные здания жилого назначения (в том числе здания, которые имеют срок эксплуатации более 50 лет, но пригодные к эксплуатации) и имеют признаки деформаций в виде трещин в несущих стенах и фундаментах.

В соответствии со шкалой интенсивности сейсмических колебаний при взрывах (таблица 1 и пункта 6.2) ДСТУ 4704:2008 [1] допустимая скорость сейсмических колебаний грунта для таких зданий составляет 0,4 см/с при частоте ниже 20 Гц, что является верхней границей II баллов, или нижней границей III баллов по шкале MSK-64. Такие колебания чувствуют некоторые люди или те, кому известно о проведении взрыва и не представляют угрозы жилым зданиям, которые находятся в удовлетворительном состоянии.

В соответствии с пунктом 6.3 и 6.4 ДСТУ 4704:2008 [1] допустимая скорость сейсмических колебаний грунта для вышеупомянутых зданий при частоте выше 20 Гц может быть увеличена и составляет до 1,0 см/с, что будет

соответствовать IV баллам за шкале MSK-64. Высокочастотные колебания  $20 \div 100$  Гц при незначительной продолжительности пиковых значений скорости сейсмических колебаний не приведут к повреждениям, поскольку не совпадают с собственными колебаниями зданий и сооружений и не вызывают резонансного явления.

Недопустимыми в соответствии с пунктом 5 и 6 ДСТУ4704: 2008 [1] являются сейсмические колебания со скоростью более 1,5 см/с особенно при частоте менее 20 Гц, которые составляет более V баллов. Такие колебания уже чувствуют многие люди, вызывают дребезжание стекла, осыпание побелки и повреждения старых и ветхих зданий.

**Цель работы** разработать и обосновать сейсмобезопасную технологию производства буровзрывных работ при проходке горных выработок на строительстве метрополитена в г. Днепр.

**Изложение основного материала.** Установление сейсмобезопасной массы взрывчатых веществ в группе замедление.

*Скорость колебаний грунта* от взрыва одноразового сосредоточенного заряда взрывчатых веществ ( $V$ ), в сантиметрах в секунду, вычисляется по формуле:

$$V = K \left( \frac{Q^{1/3}}{r} \right)^{1.5} \quad (1)$$

где:  $K$  – коэффициент, зависящий от условий проведения взрыва и распространения сейсмических взрывных волн исчисляется в соответствии с пунктом 8,2 и 8,9 ДСТУ 4704:2008 [1] и должен учитывать: особенности горных пород, подлежащие взрыванию, особенности грунта под фундаментом здания, сезонность работ, ориентацию объекта относительно блока, подлежащего высадке, степень свободы массива, диаметр заряда, количество групп зарядов;  $Q$  – масса одноразового сосредоточенного заряда ВВ, кг;  $r$  – расстояние от заряда до пункта наблюдения, м; 1,5 – коэффициент затухания интенсивности сейсмических колебаний.

Учитывая сложность и достоверность теоретического определения коэффициента ( $K$ ) зависящего от условий проведения взрыва его определение производится на основе экспериментальных взрывов при инструментальном измерении скорости сейсмических колебаний грунта в основании фундаментов зданий и сооружений для конкретных условий взрывания по формуле (2).

$$K = V_{\phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5} \quad (2)$$

где:  $V_{\phi}$  – фактическая скорость колебаний грунта от взрыва одноразового сосредоточенного заряда ВВ, у фундамента охраняемого объекта.

Как показала практика проведенных сейсмоисследований в аналогичных условиях максимального значения коэффициент ( $K$ ) достигает при подрыве врубовых шпуров с одной свободной поверхностью в забое, для других зарядов этот коэффициент значительно меньше.

Определение прогнозируемого коэффициента ( $K$ ) для различных зарядов рассчитывают по формуле (2) на основании показателей предыдущих взрывов проведенных в аналогичных условиях.

Для начала работ и проведения опытных взрывов используем результаты исследований, которые выполнял Центр по проблемам взрывных работ НТУ «Днепропетровская политехника» в 2003 ÷ 2004 г.г. [7] и в 2017 г. [8].

Так при глубине размещения блока - 42 м, расстояния до точки проведения измерений в плане - 36 м, фактическое расстояние до точки измерений будет составлять:  $r = \sqrt{42^2 + 36^2} = 55,32$  м

для врубовых зарядов I группы при фактической массе группы  $Q = 2,4$  кг и фактической максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\phi} = 6,793$  см/с

$$K = V_{\phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5} = 6,793 \cdot \left( \frac{55,32}{2,4^{1/3}} \right)^{1.5} = 180;$$

для врубовых зарядов II по IV групп при фактической массе группы врубовых зарядов  $Q = 3,0$  кг и фактической максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\phi} = 6,294$  см/с

$$K = V_{\phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5} = 6,294 \cdot \left( \frac{55,32}{3,0^{1/3}} \right)^{1.5} = 150;$$

для вспомогательных зарядов с IV по VI группу при фактической массе группы  $Q = 8,0$  кг и фактической максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\phi} = 6,194$  см/с

$$K = V_{\phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5} = 6,194 \cdot \left( \frac{55,32}{8,0^{1/3}} \right)^{1.5} = 90;$$

для вспомогательных зарядов с VII по XIV группу при фактической массе группы  $Q = 8,0$  кг и фактической максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\phi} = 5,871$  см/с

$$K = V_{\phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5} = 5,871 \cdot \left( \frac{55,32}{8,0^{1/3}} \right)^{1.5} = 85;$$

для вспомогательных зарядов с XV по XX группу при фактической массе группы  $Q = 10,0$  кг и фактической максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\phi} = 5,871$  см/с

$$K = V_{\phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5} = 5,771 \cdot \left( \frac{55,32}{10,0^{1/3}} \right)^{1.5} = 75;$$

для контурных зарядов с XXI по XXIX группу при фактической массе группы  $Q = 10,0$  кг и фактической максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\phi} = 5,453$  см/с

$$K = V_{\phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5} = 5,453 \cdot \left( \frac{55,32}{10,0^{1/3}} \right)^{1.5} = 70;$$

Сейсмобезопасное расстояние от блока до объекта ( $r_c$ ) определяется по формуле:

$$r_c = \left( \frac{K}{V_{\text{доп}}} \right)^{2/3} \cdot Q^{1/3} \quad (3)$$

где:  $V_{\text{доп}}$  – допустимая скорость колебаний грунта от взрыва одноразового сосредоточенного заряда ВВ, у фундамента охраняемого объекта.

Сейсмобезопасное расстояние от блока до объекта составляет: ( $r_c$ )

для врубовых зарядов I группы при фактической массе группы  $Q = 2,4$  кг и допустимой максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\text{доп}} = 1,0$  см/с

$$r_c = \left( \frac{K}{V_{\text{доп}}} \right)^{2/3} \cdot Q^{1/3} = \left( \frac{180}{1,0} \right)^{2/3} \cdot 2,4^{1/3} = 42,7 \text{ м}$$

Расстояние до объекта в плане ( $r$ ), определяется по формуле:

$$L = \sqrt{r_c^2 - h^2} = \sqrt{42,7^2 - 18^2} = 38,7 \text{ м}$$

Сейсмобезопасная масса ( $Q_c$ ) сосредоточенного заряда ВВ в зависимости от удаления ( $r$ ) от объекта определяются по формуле:

$$Q_c = \left( \frac{V_{\text{доп}}}{K} \right)^2 \cdot r^3 \quad (4)$$

Сейсмобезопасная масса сосредоточенного заряда ВВ составляет:

для врубовых зарядов I группы при глубине размещения блока - 25 м, расстояния до точки проведения измерений в плане - 35 м, фактическое расстояние до точки измерений  $r = \sqrt{h^2 + L^2} = \sqrt{25^2 + 35^2} = 43$  м и допустимой максимальной скорости сейсмических колебаний грунта  $V_{\text{доп}} = 1,0$  см/с

$$Q_c = \left( \frac{V_{\text{доп}}}{K} \right)^2 \cdot r^3 = \left( \frac{1,0}{180} \right)^2 \cdot 42,7^3 = 2,4 \text{ кг}$$

Сейсмобезопасная масса для каждой группы зарядов рассчитывается в зависимости от условий взрывания зарядов и расстояния до охраняемого объекта. Величину сейсмобезопасной массы зарядов для каждой группы зарядов необходимо корректироваться для каждого последующего взрыва на основе результатов предыдущих взрывов, а именно мониторинга сейсмических колебаний грунта и рекомендаций сейсмологов.

Скорость колебаний грунта от взрыва одноразового сосредоточенного заряда взрывчатых веществ ( $V$ ) в сантиметрах в секунду на расстоянии ( $L$ ) в плане от центра ствола, вычисляется по формуле:

$$V = K \left( \frac{Q^{1/3}}{r} \right)^{1.5} = 180 \left( \frac{2,4^{1/3}}{43,9} \right)^{1.5} = 1,0 \text{ см/с}$$

где:  $r$  – фактическое расстояние до точки измерений  $r = \sqrt{h^2 + L^2} = \sqrt{18^2 + 40^2} = 43,9$  м

Величина скорости сейсмических колебаний грунта приводится для расчетной массы групп зарядов в зависимости от условий взрывания зарядов и расстояния до охраняемого объекта, и сводится в таблицу.

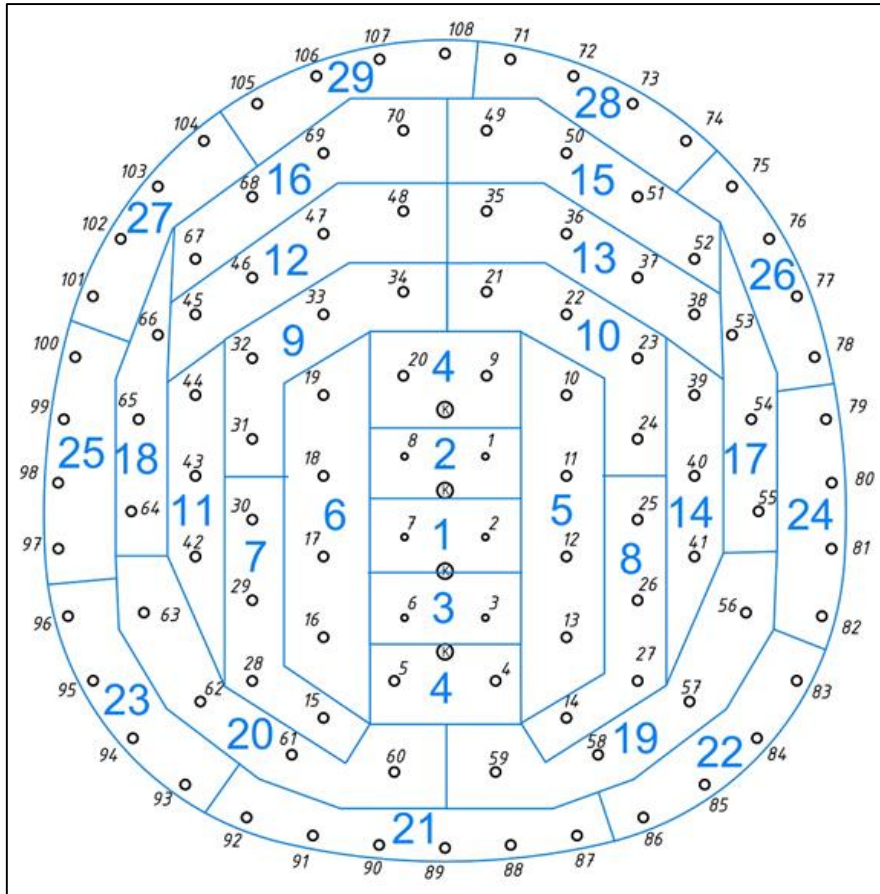


Рис. 1. Эскиз очередности взрывания групп замедлений шпуровых зарядов

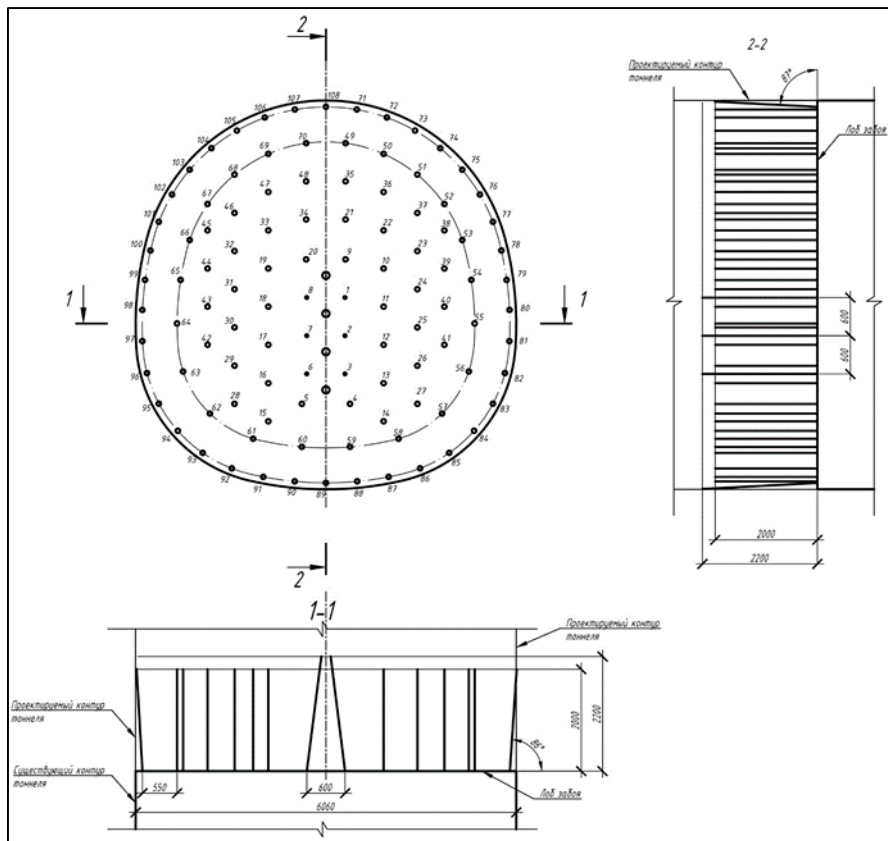


Рис. 2. Эскиз расположения шпуров в забое в 3-х проекциях с указанием номеров шпуров и углов наклона

Таблица 1

Наименование и очередности взрывания шпуровых зарядов

Серия замедления	Наименование (назначение) шпуров	К-во шпуров, шт.	Глуб. шпуров, м	Замедление, мс	№ шпуров в группе	Количество и тип ВВ	
						Украинит ПС-38	
1	Врубовые	2	2,2	20	2,7	1,5	3,0
2	Врубовые	2	2,2	40	1,8	1,5	3,0
3	Врубовые	2	2,2	60	3,6	1,5	3,0
4	Врубовые	4	2,0	80	4,5,9,20	1,5	6,0
5	Вспомогательные	4	2,0	100	10-13	1,5	6,0
6	Вспомогательные	4	2,0	125	16-19	1,5	6,0
7	Вспомогательные	4	2,0	150	15,28,29,30	1,2	4,8
8	Вспомогательные	4	2,0	175	14,27,26,25	1,2	4,8
9	Вспомогательные	4	2,0	200	31-34	1,2	4,8
10	Вспомогательные	4	2,0	250	21-24	1,2	4,8
11	Вспомогательные	3	2,0	300	42,43,44	1,2	3,6
12	Вспомогательные	4	2,0	350	45-48	1,2	4,8
13	Вспомогательные	4	2,0	400	35-38	1,2	4,8
14	Вспомогательные	3	2,0	450	39,40,41	1,2	3,6
15	Вспомогательные	4	2,0	500	49-52	1,2	4,8
16	Вспомогательные	4	2,0	600	67-70	1,2	4,8
17	Вспомогательные	3	2,0	700	53,54,55	1,2	3,6
18	Вспомогательные	3	2,0	800	64,65,66	1,2	3,6
19	Вспомогательные	4	2,0	900	56-59	1,2	4,8
20	Вспомогательные	4	2,0	1000	60-63	1,2	4,8
21	Оконтуривающие	6	2,2	2000	87-92	1,2	7,2
22	Оконтуривающие	4	2,2	3000	83-86	1,2	4,8
23	Оконтуривающие	4	2,2	4000	93-96	1,2	4,8
24	Оконтуривающие	4	2,0	5000	79-82	1,2	4,8
25	Оконтуривающие	4	2,0	6000	97-100	1,2	4,8
26	Оконтуривающие	4	2,0	7000	75-78	1,2	4,8
27	Оконтуривающие	4	2,0	8000	101-104	1,2	4,8
28	Оконтуривающие	4	2,0	9000	71-74	1,2	4,8
29	Оконтуривающие	4	2,0	10000	105-108	1,2	4,8
<b>ИТОГО:</b>		<b>108</b>				<b>135,0</b>	



Таблица 2

## Прогнозируемая скорость сейсмических колебаний грунта

	Наибольшая масса заряда, кг	Глубина заложения блока $h$ , м	Расстояние до объекта в плане в плане $L$ , м	Фактическое расстояние до объекта $r$ , м	Коэффициент, который зависит от условий проведения взрыва	Прогнозная скорость колебаний, см/с
	Украинит ПС-38			$r = \sqrt{h^2 + L^2}$	$K = V_{\Phi} \left( \frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{1.5}$	$V = K \left( \frac{Q^{1/3}}{r} \right)^{1.5}$
	в гр.					
<b>I</b>	3.0	47	35	58.6	<b>180</b>	<b>0.7</b>
з II по IV	6.0	47	35	58.6	<b>150</b>	<b>0.8</b>
з V по VI	6.0	47	35	58.6	<b>90</b>	<b>0.5</b>
з VII по XIV	4.8	47	35	58.6	<b>85</b>	<b>0.4</b>
з XV по XX	4.8	47	35	58.6	<b>75</b>	<b>0.4</b>
з XXI по XXIX	7.2	47	35	58.6	<b>70</b>	<b>0.4</b>
<b>I</b>	3.0	47	40	61.7	<b>180</b>	<b>0.6</b>
з II по IV	6.0	47	40	61.7	<b>150</b>	<b>0.8</b>
з V по VI	6.0	47	40	61.7	<b>90</b>	<b>0.5</b>
з VII по XIV	4.8	47	40	61.7	<b>85</b>	<b>0.4</b>
з XV по XX	4.8	47	40	61.7	<b>75</b>	<b>0.3</b>
з XXI по XXIX	7.2	47	40	61.7	<b>70</b>	<b>0.4</b>
<b>I</b>	3.0	47	45	65.1	<b>180</b>	<b>0.6</b>
з II по IV	6.0	47	45	65.1	<b>150</b>	<b>0.7</b>
з V по VI	6.0	47	45	65.1	<b>90</b>	<b>0.4</b>
з VII по XIV	4.8	47	45	65.1	<b>85</b>	<b>0.4</b>
з XV по XX	4.8	47	45	65.1	<b>75</b>	<b>0.3</b>
з XXI по XXIX	7.2	47	45	65.1	<b>70</b>	<b>0.4</b>
<b>I</b>	3.0	47	50	68.6	<b>180</b>	<b>0.5</b>
з II по IV	6.0	47	50	68.6	<b>150</b>	<b>0.6</b>
з V по VI	6.0	47	50	68.6	<b>90</b>	<b>0.4</b>
з VII по XIV	4.8	47	50	68.6	<b>85</b>	<b>0.3</b>
з XV по XX	4.8	47	50	68.6	<b>75</b>	<b>0.3</b>
з XXI по XXIX	7.2	47	50	68.6	<b>70</b>	<b>0.3</b>

**Выводы.** Приведенные расчеты показывают, что высокие сейсмические колебания почвы вызывают шпуровые заряды врубовой серии. Все остальные группы даже при большей массе взрывчатых веществ вызывают меньшие колебания. Таким образом ограничивающим фактором является масса заряда во врубовой группе зарядов. На ситуационный план местности необходимо нанести сейсмоизолинии максимальной составляющей скорости сейсмических колебаний с удалением от врубовой части блока. В зону где колебания больше допустимых для жилых зданий и сооружений  $V_{дон} = 1,0$  см/с необходимо провести корректировку параметров буровзрывных работ.

Поскольку коэффициент  $K$ , который зависит от условий проведения взрыва и распространения сейсмических взрывных волн в направлении объектов подлежащих сохранению может быть уточнен только экспериментальным путем поэтому рекомендации относительно величины максимально допустимой сейсмобезопасной массы шпуровых зарядов, подрыв которых обеспечат допустимую

норму сейсмических колебаний необходимо корректировать после мониторинга не менее трех измерений скорости сейсмических колебаний в одном направлении. Параметры буровзрывных работ необходимо корректировать на основании результатов экспериментальных взрывов.

Для соблюдения допустимых норм сейсмических колебаний грунта в основании зданий и сооружений необходимо проводить постоянный мониторинг величины скорости сейсмических колебаний грунта у фундаментов объектов, подлежащих сохранению с оперативным предоставлением заключений и рекомендаций по следующим взрывам.

Учитывая сложные горно-геологические условия и плотную городскую застройку вблизи строящегося метро проведения буровзрывных работ при строительстве Днепровского метрополитена мониторинг величины скорости сейсмических колебаний грунта и давления на фронте ударно-воздушной волны возле зданий и сооружений наиболее приближенных к месту проведения взрывных работ необходимо проводить постоянно и на основе результатов мониторинга разрабатывать рекомендации по производству каждого последующего взрыва. В рекомендациях необходимо отображать сейсмобезопасную массу групп шпуровых зарядов, очередность их взрывания и время замедления каждой группы. Точки установки сейсмоприемников определяют в зависимости от состояния зданий и сооружений и их близость к массовому взрыву.

Рекомендации необходимо разрабатывать для каждого последующего взрыва на основании результатов предыдущего взрыва проведенного в том же районе ведения взрывных работ.

При каждом изменении условий взрывания, особенно при:

- увеличении массы взрывчатого вещества в ступени замедления; ( $Q_c$ )
- изменении длины шпуров или, расположения в забое;
- изменении конструкции шпуровых зарядов или способа их инициирования;
- изменении очередности взрывания групп зарядов и номинала замедления между ступенями;
- применении другого взрывчатого вещества;
- использование зарядов другого диаметра.

Паспорт буровзрывных работ необходимо согласовывать и уточнять с сейсмологами на основе результатов контрольного измерения сейсмических колебаний в контрольных точках.

Учитывая плотную городскую застройку вблизи строящегося метро, близкое расположение зданий и сооружений к месту проведения взрывных работ, последние необходимо выполнять с постоянным мониторингом сейсмоколебаний грунта и строгим соблюдением требований и рекомендаций по их сейсмобезопасности.

#### **Перечень ссылок**

1. ДСТУ 4704:2008 «Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки». (2009.). Київ: Держспоживстандарт України.
2. ДСТУ 7116:2009 «Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмічної стійкості будинків і споруд». (2010). Київ: Держспоживстандарт України.

3. ДСТУ 7117:2009 «Вибухи промислові. Методи визначення тиску на фронті ударної повітряної хвилі та границі безпечної зони». (2010). Київ: Держспоживстандарт України.
4. ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України». (2014). Київ: Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України.
5. ДСП 173-96. «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів». (1996). Київ: Міністерство охорони здоров'я України, Наказ № 173 від 19.06.96 р.

### АНОТАЦІЯ

**Метою роботи** є розробка сейсмобезпечних умов проведення буропідричних робіт при проходці гірських виробок в тунелях і стволах, які забезпечать максимальну швидкість будівництва метрополітену в м Дніпро.

**Методи дослідження.** Для прийняття рішень були використані методи аналізу закономірностей поширення сейсмічних хвиль в різних породах і їх вплив на будівлі і споруди. Натурні дослідження з перенесенням результатів на існуючі гірничі виробки. Обґрунтування сейсмобезпечної маса груп шпурових зарядів при проведенні вибухових робіт на будівництві тунелів метрополітену в м Дніпро розроблена на основі діючих нормативних документів [1 ÷ 5] і містить основні рекомендації по організації і технології моніторингу сейсмічних коливань ґрунту біля фундаментів будівель і споруд в зоні впливу вибухових робіт.

**Результати** Розроблено методику визначення коефіцієнта ( $K$ ) який залежить від умов проведення вибуху на основі експериментальних вибухів при інструментальному вимірюванні швидкості сейсмічних коливань ґрунту біля фундаментів будівель і споруд для конкретних умов підривання. Наведено теоретичні розрахунки максимально допустимої маси груп зарядів в залежності від умов підривання і відстані до будівель і споруд. Розроблено спеціальні сейсмобезпечні параметри буровибухових робіт, які забезпечать максимальну швидкість проходки гірських виробок.

**Наукова новизна.** Моделювання прогнозованої швидкості сейсмічних коливань ґрунту дозволяє оптимізувати параметри шпурових зарядів, що дозволить зменшити сейсмічне навантаження на будівлі та споруди і поліпшить якість вибухових робіт. Методика визначення коефіцієнта ( $K$ ) залежить від умов проведення вибуху дозволяє найбільш точно прогнозувати параметри сейсмоколебаній на відстані від місця вибуху.

**Практичне значення.** Експериментально доведено адекватність прогновної оцінки швидкості сейсмічних коливань ґрунту в залежності від маси шпурових зарядів та умов їх підривання на ефективність буропідричних робіт, що дозволить збільшити темпи проходки гірничих виробок при будівництві метрополітену в м. Дніпро.

**Ключові слова:** метро, тунель, ствол, підричні роботи, шпур, сейсмічні коливання.

### ABSTRACT

**The purpose of the work** is the development of earthquake-safe conditions for drilling and blasting during tunneling in tunnels and shafts that will ensure the maximum speed of construction of the subway in the city of Dnipro.

**Research methods.** For decision-making, methods were used to analyze the patterns of seismic wave propagation in various rocks and their effect on buildings and structures. Field studies with the transfer of results to existing mine workings. The rationale for a seismic safe mass of groups of blast holes

during blasting operations in the construction of the subway tunnels in the city of Dnipro was developed on the basis of current regulatory documents [1 ÷ 5] and contains basic recommendations on the organization and technology of monitoring seismic vibrations of soil at the foundations of buildings and structures in the zone of influence of explosive works.

**The results.** A technique has been developed for determining the coefficient (K) depending on the conditions of the explosion based on experimental explosions for instrumental measurement of the speed of seismic vibrations of soil at the base of the foundations of buildings and structures for specific explosion conditions. Theoretical calculations are given of the maximum permissible mass of charge groups depending on the conditions of the explosion and the distance to buildings and structures. Special seismic-safe parameters of drilling and blasting operations have been developed that will ensure the maximum speed of excavation of mine workings.

**Scientific novelty.** Modeling the predicted speed of seismic vibrations of the soil allows you to optimize the parameters of the hole charges, which will reduce the seismic load on buildings and structures and improve the quality of blasting.

The methodology for determining the coefficient (K) depending on the conditions of the explosion allows you to most accurately predict the parameters of seismic oscillations at a distance from the place of the explosion.

**The practical significance.** The adequacy of the predictive estimate of the speed of seismic vibrations of the soil at the base of buildings and structures has been experimentally proved, depending on the mass of charges and the conditions of their blasting on the efficiency of drilling and blasting, which will increase the rate of excavation during the construction of the subway in the Dnieper.

**Key words:** *metro, tunnel, barrel, blasting, hole, seismic vibrations.*