

УДК 622.235.535

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ В РАЗЛИЧНОЕ ВРЕМЯ ГОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЕСКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА

*В. Д. Воробьев, докт. техн. наук, А. И. Крючков, канд. техн. наук,  
А. М. Пасечник, асп. (НТУУ «КПИ»), Р. М. Сидор, инж. (ОАО «Николаевцемент»)*

*Наведено результати досліджень впливу гірсько-геологічних особливостей Пісковського родовища гіпсу і сезонності при проведенні вибухових робіт на характер поширення сейсмічних хвиль. Дано оцінку сейсмоефекту вибуху розрахунковим методом і за результатами експериментів у лабораторних і промислових умовах.*

*Приведены результаты исследований влияния горно-геологических особенностей Песковского месторождения гипса и сезонности при производстве взрывных работ на характер распространения сейсмических волн. Дана оценка сейсмoeffекта взрыва расчетным методом и по результатам экспериментов в лабораторных и промышленных условиях.*

*Investigation results on influence of mining geological peculiarities of Peskovsk gypsum field and seasonality at the blasting operations on the character of seismic wave propagation are given. The seismic effect of explosion by means of calculation method and by the results of experiments in laboratory and industrial conditions is evaluated.*

**Введение.** Повышение эффективности и безопасности массовых взрывов на горнодобывающих предприятиях, а также планирование мероприятий по охране объектов различного назначения и окружающей среды во многом зависит от своевременного прогноза сейсмической опасности взрывных работ.

Несмотря на достигнутые успехи в решении основных задач промышленной сейсмологии [1–6], на ряде горнодобывающих предприятий возникают вопросы, требующие разработки методов прогнозирования и управления сейсмическим действием массовых взрывов. Необходимость в решении этих вопросов обусловлена в основном изменчивостью грунтовых условий (как скальных, так и мягких покрывающих пород) на пути распространения сейсмических волн, сезонностью, приближением фронта горных работ к охраняемым объектам, параметрами технологии взрывных работ и т.д. Поэтому снижение негативных последствий при производстве массовых взрывов, особенно при разработке сложноструктурных месторождений в густонаселенных районах сельскохозяйственного строительства с сохранением окружающей среды и объектов жизнедеятельности населения, является основной целью сейсмического мониторинга [7]. Суть мониторинга, имеющего трехступенчатую структуру [8], заключается в разработке системы регламентированных периодических наблю-

дений с помощью современных сейсмических методов, включающих комплекс научно-исследовательских работ, обобщение и анализ полученных результатов и выработку практических рекомендаций по снижению техногенного влияния взрывных работ на охраняемые объекты и окружающую среду.

Песковское месторождение гипса приурочено к Щирецкому гипсоносному району (г. Николаев Львовской обл.) и разрабатывается Щирецким карьером. Мощность залегания гипса до 30 м, гипсы сильно трещиноватые и закарстованные на 20...25 %, коэффициент крепости по шкале М. М. Протодьяконова находится в пределах 2...3. Покрывающие мягкие грунты (четвертичные отложения) мощностью 0,2...5,5 м представлены песками, глинами и суглинками с коэффициентом крепости 0,6...1,0. На расстоянии 1 км от карьера расположено с. Пески, в котором находятся жилые дома усадебного типа с надворными постройками для личного подсобного хозяйства, производственные здания сельскохозяйственного назначения и др. В 160 м от с. Пески в направлении карьера находится озеро.

Допустимая скорость колебаний грунта – основной критерий оценки сейсмoeffекта взрыва – в основаниях этих объектов принята равной 0,5 м/с [9].

При производстве массовых взрывов на карьере по типовому проекту предприятия с учетом разработанных ранее рекомендаций на основе результатов экспериментальных исследований Днепропетровского горного института и Национального НИИ промышленной безопасности и охраны труда (г. Киев) скорость смещения не превышает указанной предельной величины для сельских жилых домов. Однако в связи с жалобами населения на повреждения жилых домов [9, 10] необходимо более детальное изучение факторов, оказывающих влияние на сохранность этих объектов.

Следует отметить, что неизученность закарстованности (размеров и мест расположения карстов) горного массива, на котором расположено с. Пески, а также производство взрывных работ на гипсовом карьере не исключают возможности отрицательного влияния на состояние зданий и сооружений данного района. В настоящей статье рассмотрены, в качестве дополнительных исследований к проведенным ранее [9], вопросы влияния на массовую скорость грунтов их влажности как показателя, зависящего от сезонности [11]. Изменение скорости колебаний подтверждено данными о распространении скорости звука в образцах грунта различной влажности. Ввиду большой сложности волнового поля, обусловленной закарстованностью гипсового массива и разнородностью залегаемых пород, в статье приведено решение задачи о расчетном способе определения скорости колебаний при взаимодействии упругих волн с экраном (преградой) простой формы.

**Постановка цели и задач исследования.** Проведение теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию эффективных методов снижения сейсмического действия массовых взрывов применительно к условиям разработки Песковского месторождения гипса является весьма сложной задачей по причине отсутствия конкретных данных о параметрах и местах расположения карстовых включений. Выполненные ранее исследования для этих условий [9–11] носят общий характер и не освещают скрытого

влияния карстов на сейсмозффект взрыва, поэтому результаты их не позволяют с достаточной надежностью количественно оценить влияние карстов с изменением расстояния, ориентировки фронта горных работ, климатических условий и др. Работам других авторов [4, 5, 12–15] также присущи указанные недостатки.

Особенностью района, в котором находится с. Пески, является возможное расположение жилых домов над карстами. В этом случае устойчивость домов определяется в первую очередь их массой и мощностью слоя пород, находящегося между «потолочиной» карста и основанием здания. Воздействие на них сейсмозврывных волн дополнительно способствует снижению устойчивости. Степень воздействия сейсмических волн изменяется в зависимости от сезонности производства взрывных работ, основным показателем которой является влажность слоя грунта, подстилающего основание здания. Поэтому для снижения сейсмической опасности взрывов необходимо формирование волнового пакета с минимальными энергетическими параметрами на частотах, совпадающих с частотой собственных колебаний как «потолочины» грунта над карстом, так и охраняемого сооружения, расположенного над «потолочиной». Если же энергонасыщенность этой части спектра сейсмической волны значительно больше, то в этом случае возбуждаются резонансные колебания, которые приводят к серьезным повреждениям и даже разрушению объектов [16].

Цель статьи – исследование сейсмического действия массовых взрывов в различное время года при разработке Песковского месторождения гипса при наличии карстов.

Задачи исследования сводятся к следующему:

определить расчетным методом скорость распространения сейсмической волны в твердой среде с преградой;

провести экспериментальные измерения в лабораторных и промышленных условиях для установления влияния влажности грунтов на скорость распространения звука (на образцах) и сейсмической волны (в горном массиве);

разработать рекомендации по снижению сейсмического действия взрывов в Щирецком гипсовом карьере на жилые дома и сооружения с. Пески.

При решении указанных задач использованы современные методы исследований: аналитический при изучении взаимодействия волнового поля, возбуждаемого взрывом, с преградой в горном массиве; экспериментальный в лабораторных и натуральных условиях; графоаналитический и анализ полученных результатов.

**Методика исследования.** *Определение скорости сейсмозврывных волн в горном массиве с преградой (расчетный метод).* В основу решения данной задачи положено определение коэффициента преломления  $K_n$  акустической волны при прохождении через преграду (раскрытую трещину) шириной  $d$  [17]. Преграда заполнена воздухом, имеет достаточную протяженность с углом наклона, равным  $\varphi$ . Свойства сред перед преградой и за ней приняты одинаковыми.

При обосновании формулы для  $K_{\Pi}$  были выполнены промежуточные преобразования, связанные с определением коэффициентов отражения волны на границе раздела двух сред, круговой частоты, модуля  $K_{\Pi}$  и периода колебания поверхностей сейсмической волны [18].

По полученному значению  $K_{\Pi}$  определялась скорость сейсмической волны  $V_{\Pi}$ , прошедшей через преграду, путем его подстановки в известную формулу М. А. Садовского

$$V_{\Pi} = K_{\Pi} V,$$

где  $V$  – скорость волны, м/с;  $V = K \left( \sqrt[3]{Q}/R \right)^{\mu}$ , где  $Q$  – масса заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг;  $R$  – расстояние от места взрыва до наблюдаемой точки, м;  $K$  и  $\mu$  – коэффициент пропорциональности сейсмичности и показатель степени затухания, зависящие от свойств среды.

Величина  $V$ , вычисляемая этим методом, носит прогнозный характер, и ее достоверность зависит от точности определения расчетных параметров и показателей.

*Измерение скорости звука и влажности по образцам грунта.* Измерения выполнены с целью установления влияния сезонности на изменение значений  $V$  при взрывах на карьере [11]. Образцы грунта отбирались в точках установки сейсмодатчиков по профилю измерений в различное время года. В каждой точке измерения на глубине 0,8...0,9 м было взято по 3...4 образца грунта. По известным методикам [19] определялись скорость звука  $C$  и влажность грунта  $W$ . Значение  $W$  рассчитывали по формуле:  $W = [(p_1 - p_2)/p_1] \cdot 100$  %, где  $p_1$  и  $p_2$  – масса образца во влажном и сухом состояниях. В дальнейшем с использованием полученных данных устанавливались функциональные зависимости  $C = f(W)$  и  $V = f(W)$ .

*Регистрация сейсмоколебаний грунта при взрывах в карьере.* Измерение сейсмоколебаний грунта проводилось по стандартной методике. В 4-х точках по профилю измерений устанавливалось по 2 сейсмодатчика для регистрации вертикальной  $Z$  и горизонтальной  $X$  составляющих. Методика измерений изложена в работах [9, 10]. Оценка сейсмического воздействия на жилые дома с. Пески выполнена для трех массовых взрывов [10, 11]. По результатам обработки экспериментальных данных определялись зависимости изменения  $\bar{V}$  от  $\bar{W}$  и приведенного расстояния  $\bar{r}$  ( $\bar{r} = R/\sqrt[3]{Q}$ , м/кг<sup>1/3</sup>). По результатам экспериментов определялась сейсмобезопасная масса ВВ в зависимости от расстояния и времени года.

**Результаты исследования и их обсуждение.** *Прогнозирование скорости сейсмоколебаний на основе волновой теории\**. В аналогичной постановке решена задача при взаимодействии нестационарной волны с прослойкой заданной ширины и скоростью распространения в ней волны [1, 20]. Задача

---

\* Решение задачи выполнено совместно с канд. техн. наук И. И. Денисюком.

сведена к установлению зависимости коэффициента экранирования от соотношения  $\lambda_b/d_n$  (где  $\lambda_b$  – длина волны;  $d_n$  – ширина преграды). Используя предложенную теоретическую модель, можно регулировать степень сейсмического воздействия взрывов на охраняемые объекты.

При распространении акустической волны в твердой среде с преградой приняты акустические жесткости:  $z_1$  – среды перед преградой,  $z_2$  – преграды,  $z_3$  – за преградой. Тогда, согласно [17], коэффициенты отражения волны  $K_0$  на границе раздела двух сред  $K_{01,2}$  и  $K_{02,3}$  соответственно равны:

$$K_{01,2} = (z_1 - z_2)/(z_1 + z_2); \quad K_{02,3} = (z_2 - z_3)/(z_2 + z_3).$$

В нашем случае принимаем  $z_1 = z_3$ , поскольку свойства среды перед преградой и за ней можно считать одинаковыми. Исходя из этого допущения,

$$K_n = 4z_1z_2/(z_1 + z_2)^2 \cdot 1/(e^{-i\alpha_2d} + me^{i\alpha_2d}),$$

где  $i = \sqrt{-1}$  – мнимая единица;  $\alpha_2$  – волновое число,  $m^{-1}$ ;  $\alpha_2 = \omega/C_2 = 2\pi f/C_2 = 2\pi/T C_2$ ,  $T$  – период колебания волны, с;  $C_2$  – скорость волны в преграде, м/с;  $m = (z_1 - z_2)^2/(z_1 + z_2)^2$ .

После промежуточных преобразований, связанных с определением модуля  $K_n$  и возведением его в квадрат с подстановкой коэффициента  $m$ , получим

$$|K_n|^2 = 1/[1 + 0,25(z_1/z_2 - z_2/z_1)^2 \sin^2 \alpha_2d].$$

На рис. 1 в качестве характерного примера [18] приведены графические зависимости изменения  $K_n$  от ширины преграды и угла падения волны на нее. Расчетами установлено, что с увеличением  $d$  значения  $K_n$  уменьшаются. Наибольшие значения этого коэффициента наблюдаются при падении волны на преграду под углом  $0 \dots 20^\circ$ , наименьшие – под углом  $50 \dots 70^\circ$ .

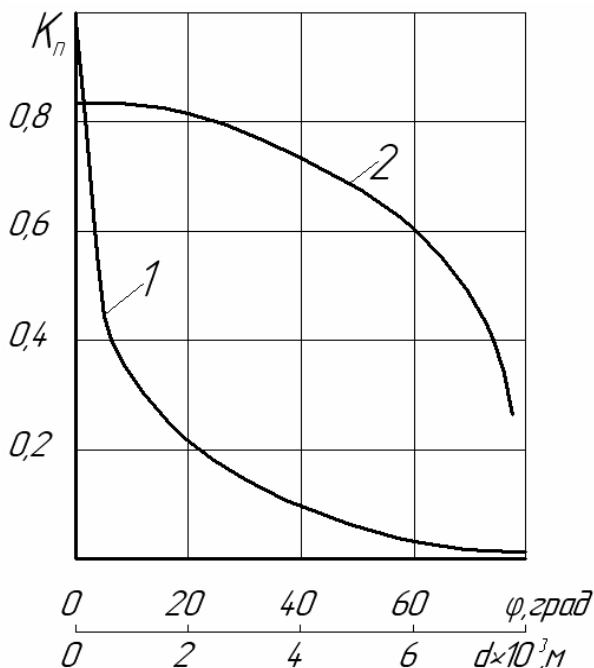


Рис. 1. Зависимость  $K_n$  от ширины  $d$  преграды при падении на нее волны под углом  $\varphi = 10^\circ$  (1) и угла падения на преграду при  $d = 0,005$  м (2)

Для прогнозирования скорости сейсмоколебаний при взрывных работах необходимо рассчитанное значение  $K_{\Pi}$  ввести в формулу М. А. Садовского, приведенную в методике исследования.

Снижение сейсмического действия взрыва на близко расположенные охраняемые объекты достигается созданием защитных экранов на пути распространения сейсмозрывных волн. Однако такая защита эффективна при глубине экрана (щели) в горном массиве, равной или большей расстояния от взрыва до охраняемого объекта. Поскольку в практике размеры создаваемых экранов меньше длины сейсмической волны, то в зоне тени величина сейсмозрывной волны зависит от наличия преграды и огибания ее волной (дифракция) [1, 14]. Поэтому расположение экранов является эффективным в ближней зоне взрыва. Максимальный эффект экранирования сейсмозрывных волн достигается при расстояниях  $R_3$  взрыва до экрана [21]

$$R_3 \leq (18 \cdot 10^6 / \rho V_p)^4 \cdot \sqrt[5]{Q},$$

где  $V_p$  – скорость продольной волны, м/с.

Методы экранирования сейсмических волн при взрывных работах достаточно полно освещены в работах [1, 14, 21]. Сейсмозащитные экраны могут быть созданы с помощью дренажных выработок [22] или в процессе взрыва (предварительное щелеобразование) [23].

*Влияние влажности грунта на распространение скорости звука.\** Влажность грунта, покрывающего скальное основание, является одной из основных характеристик, влияющих на скорость распространения сейсмических волн при взрывах в различное время года. Определению значений  $\bar{W}$  предшествовали измерения величины  $\bar{C}$  методом прозвучивания образцов грунта для сравнения этой характеристики со скоростью распространения  $V$  сейсмозрывных волн. Установлено, что среднее значение  $\bar{W}$  для рассматриваемых условий находится в пределах 15...30 % (летом – 15...20 %; осенью, зимой – 21...25 % и весной 26...30 %). С увеличением  $\bar{W}$  значения  $\bar{C}$  (м/с) возрастают и изменяются по линейной зависимости (рис. 2):

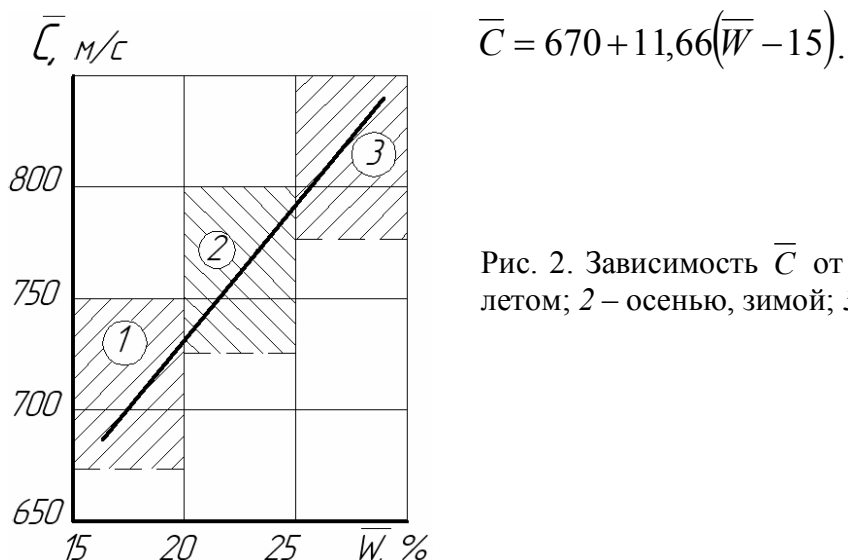


Рис. 2. Зависимость  $\bar{C}$  от  $\bar{W}$  в разное время года: 1 – летом; 2 – осенью, зимой; 3 – весной

\* Эксперименты и обработка по ним результатов при определении  $\bar{W}$ ,  $\bar{C}$  и  $V$  выполнены совместно с канд. техн. наук Л. И. Демещуком, инженерами В. Н. Кобасовым и Н. М. Минайлюком.

Анализ рис. 2 показывает, что значения  $\bar{C} = f(\bar{W})$  летом изменяются от 670 до 750 м/с; осенью и зимой – от 725 до 800 и весной – от 775 до 827 м/с.

В общем случае наименьшая скорость звука наблюдается летом, а наибольшая – весной. В среднем величина  $\bar{C}$  осенью и зимой в 1,10 раза больше, чем летом, и в 1,13 больше, чем весной. Весной величина  $\bar{C}$  по сравнению с осенне-зимним периодом больше в 1,10 раза.

По результатам измерения  $C$  на образцах грунта в лабораторных условиях можно прогнозировать качественный характер изменения  $V = f(W)$ .

*Определение скорости сейсмических колебаний при взрывах в карьере.* Скорость сейсмоколебаний  $V$  при взрывах в карьере определялась, согласно методике исследований, по результатам обработки сейсмограмм, как показано в работе [9]. Установлены зависимости  $\bar{V} = f(\bar{r})$  и  $\bar{V} = f(\bar{W})$  (рис. 3). Эти зависимости соответственно аппроксимированы формулами следующего вида:

$$\bar{V} = 0,24 - 0,0053(\bar{r} - 70);$$

$$\bar{V} = 0,09 \exp[W - 15/20]^2.$$

Зависимость  $\bar{V} = f(\bar{r})$  подчиняется линейному закону и с увеличением расстояния  $\bar{r}$  от 73,5 до 98,1 м/кг<sup>1/3</sup> уменьшается от 0,226 до 0,09 см/с (см. рис. 3, линейная зависимость). Изменение  $\bar{V} = f(\bar{W})$  происходит по криволинейной зависимости и с увеличением  $\bar{W}$  от 15 до 30 % возрастает от 0,08 до 0,23 см/с.

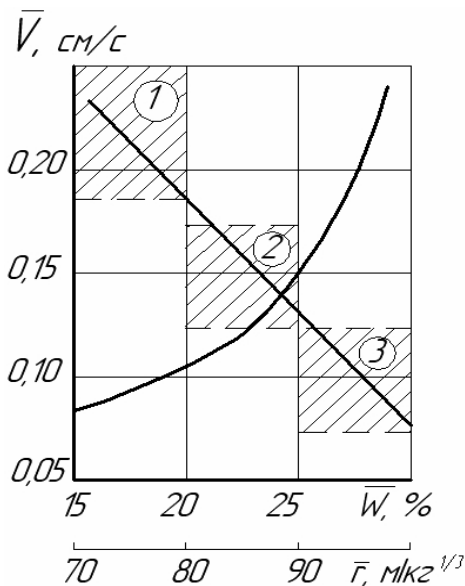


Рис. 3. Зависимость  $\bar{V}$  от  $\bar{W}$  (криволинейная) и от  $\bar{r}$  (линейная) в различное время года: 1 – весной; 2 – в осенне-зимний период; 3 – летом

Следует отметить, что зависимость  $\bar{V} = f(\bar{W})$  по сравнению с  $\bar{C} = f(\bar{W})$  имеет криволинейный характер. Это различие обусловлено, очевидно, влиянием изменчивости свойств и строения горных пород между точками по профилю измерения на общем исследуемом расстоянии  $R$ .

На рис. 4 приведена графическая зависимость  $\bar{V} = f(\bar{W})$  для каждой точки измерения (1...4) в зависимости от времени года. Зависимости 1...4 имеют

криволинейный характер и с увеличением  $\bar{W}$  значение  $\bar{V}$  также увеличивается. В ближней точке от взрыва (возле озера), где наблюдается максимальная влажность, величина  $\bar{V}$  изменяется от 0,16 см/с летом до 0,23 см/с весной (см. рис. 4, зависимость 1). В дальней точке от взрыва (зависимость 4), возле основания жилого дома, величина  $\bar{V}$  минимальна и увеличивается от 0,05 летом до 0,09 см/с весной. Зависимости, приведенные на рис. 4, аппроксимируются следующим уравнением общего вида:

$$\bar{V} = V_0 \exp \left[ \left( \frac{\bar{W} - 15}{W_0} \right)^2 \right],$$

где  $V_0$  – минимальное значение скорости колебаний при минимальной влажности, %, для соответствующей зависимости 1...4, м/с;  $W_0$  – задаваемое значение влажности, при которой определяется  $\bar{V}$ , %.

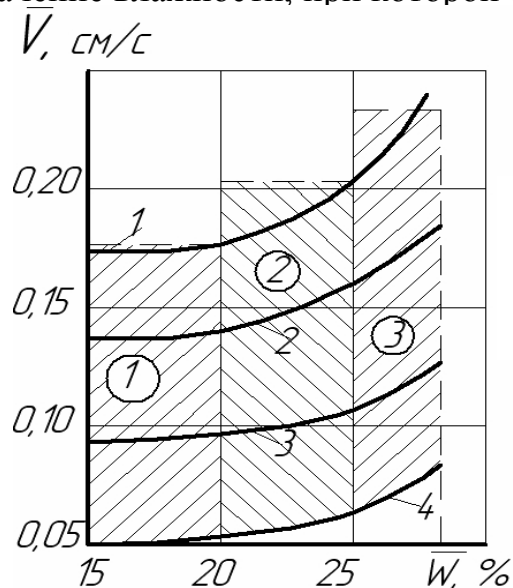


Рис. 4. Зависимость  $\bar{V}$  от  $\bar{W}$  по профилю измерений соответственно в точках 1...4 (1...3 в кружках – то же, что и на рис. 2)

По результатам выполненных исследований разработаны и переданы предприятию рекомендации по сейсмобезопасной массе ВВ (кг) в зависимости от расстояния и времени года, приведенные в таблице [11].

Рекомендуемая сейсмобезопасная масса зарядов ВВ при взрывах на Щирецком гипсовом карьере

Время года	Расстояние, м	200*	300*	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Весна	$Q_{\max}$	450	550	950	1330	1700	1880	2150	2330	2700	2950	3400	3800	4300
	$Q_{\max \text{ гр.}}$	75	90	120	170	210	260	290	325	360	380	400	420	440
Лето	$Q_{\max}$	500	800	1200	1600	2000	2200	2500	2800	3000	3500	4000	4500	5000
	$Q_{\max \text{ гр.}}$	100	125	150	200	250	300	350	380	400	420	450	480	500
Осень, зима	$Q_{\max}$	400	600	1000	1400	1800	1980	2250	2500	2850	3100	3600	4000	4500
	$Q_{\max \text{ гр.}}$	80	100	130	180	220	270	310	340	360	380	400	430	450

\* На расстояниях  $\leq 300$  м взрывные работы следует проводить с учетом предварительных сейсмоизмерений с возможной последующей корректировкой сейсмобезопасных параметров.



## Выводы

1. Показана возможность прогнозирования скорости сейсмоколебаний при воздействии взрыва на твердую среду с преградой с помощью коэффициента экранирования, определяемого закономерностью распространения акустической волны в неоднородной (трещиноватой) среде.
2. Установлены зависимости изменения скорости звука (по образцам грунта) и сейсмоколебаний (в натуральных условиях) от времени года.
3. Разработаны рекомендации по сейсмобезопасным параметрам массовых взрывов на Щирецком гипсовом карьере в зависимости от сезонности.
4. Обоснованные эмпирические зависимости  $\bar{V} = f(\bar{W}, \bar{r})$  могут быть использованы в проектах на производство буровзрывных работ удлиненными зарядами ВВ при определении сейсмобезопасной массы ВВ с учетом сезонности в аналогичных горно-технологических условиях.
5. Корректировка сейсмобезопасных параметров взрывных работ при отработке Песковского месторождения гипса должна выполняться по результатам мониторинга или после проведения специальных исследований по обнаружению на территории участка, прилегающего к с. Пески, мест расположения карстов и их размеров.

1. *Seismik Effects of Blasting in Rock* / A. A. Kuzmenko, V. D. Vorobev, I. I. Denicyuk, A. A. Dauetas. – New Delhi, Bombay, Calcutta: Oxford and IBN Publishing Co. PVT. LTD, 1993. – 169 p.

2. *Кравець В. Г., Воробйов В. Д., Кузьменко А. О. Підривні роботи на кар'єрах* / Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 376 с.

3. *Уайт Дж. Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн* / Пер. с англ. О. В. Павловой и С. В. Гольдина. – М.: Недра, 1986. – 261 с.

4. *Бочков А. Н., Тихоновский В. И. Применение направленного короткозамедленного взрывания для снижения сейсмического эффекта при разработке котлована Днепрогес-2* // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1980. – № 82/39. – С. 272–278.

5. *Мосинец В. Н., Григорьянц Э. А., Тетерин А. И. Особенности сейсмического действия взрывов на карьере с мягкими покрывающими породами* // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1983. – № 85/42. – С. 137–150.

6. *Бойко В. В., Кузьменко А. А., Лемешко В. А. О некоторых особенностях сейсмoeffекта при взрывных работах* // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2007. – Вип. 15. – С. 36–41.

7. *Савельев Ю. А., Дудченко А. Х. Научные и практические результаты мониторинга сейсмического действия взрыва при отработке урановых месторождений подземным способом (сейсмический мониторинг)* // Разраб. рудн. месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2004. – Вып. 85. – С. 161–164.

8. *Горная энциклопедия.* – М.: Советская энциклопедия, 1986. – Т. 3. – С. 391.

9. *Исследования сейсмостойкости охраняемых объектов при взрывах на карьерах* / В. Д. Воробьев, Л. И. Демещук, В. Н. Кобасов и др. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2007. – Вип. 15. – С. 30–36.

10. *Дослідження впливу підривних робіт на прилеглі до кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент» будівлі та споруди населених пунктів та розробка рекомендацій щодо їх сейсмобезпечного проведення: Звіт про НДР (заключ.) / ННДІОП; № ДР 0106U007694; Інв. № 0207U006084. – К.: 2006. – 85 с.*

11. *Проведення замірів сейсмоколивань при вибухових роботах на кар'єрах ВАТ «Миколаївцемент» для визначення безпечної маси заряду зі зміною відстані до будівель сіл Добряни і Піски з урахуванням кліматичних умов: Звіт про НДР (заключ.) / ННДІОП; № ДР 0107U004968; Інв. № 0308U001523. – К.: 2007. – 23 с.*

12. *Цейтлин Я. И., Гильманов Р. А. Об энергетическом критерии опасности действия взрывных волн промышленных взрывов // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1983. – № 85/42. – С. 61–73.*

13. *Богацкий В. Ф. Прогноз и ограничение сейсмической опасности промышленных взрывов // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1983. – № 85/42. – С. 201–213.*

14. *Цейтлин Я. И., Смолий Н. И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. – М.: Недра, 1981. – 192 с.*

15. *Эткин М. Б., Азаркович А. Е. Системный подход к обеспечению безопасности взрывных работ при их проектировании // Горн. журнал. – 2002. – № 9. – С. 65–72.*

16. *Кудинов В. В., Руда О. И. Спектральный анализ комплексного воздействия сейсмических и ударных волн на сооружения // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1983. – № 85/42. – С. 107–114.*

17. *Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 343 с.*

18. *Исследование и разработка рациональных методов взрывных работ для обеспечения проектных параметров развала горной массы с сохранением качества дробления и сейсмобезопасности промышленных и гражданских объектов: Отчет о НИР (заключ.) / Отдел. геодин. взрыва ИГФ АН УССР; № ГР 01.8.80 051824; Инв. № 02.8.90 061773. – К, 1989. – 191 с.*

19. *Барон Л. И., Логунцов Б. М., Позин Е. З. Определение свойств горных пород. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 332 с.*

20. *Кравец В. Г., Денисюк И. И., Кузьменко А. А. Методы расчета и строительства преград с использованием энергии взрыва // Взрывные работы в грунтах. – К.: Наук. думка. – 1979. – С. 168–172.*

21. *Мосинец В. Н., Богацкий В. Ф. Основные научно-технические проблемы сеймики ближней зоны // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1983. – № 85/42. – С. 89–101.*

22. *Анисимов В. Н., Эквист Б. В. Оценка сейсмического воздействия массовых взрывов в карьере Стойленского ГОКа на инженерные сооружения // Горн. журнал. – 2007. – № 11. – С. 74–76.*

23. *Влияние способов производства буровзрывных работ на разрушение законтурного массива и устойчивость скальных уступов / О. Г. Шекун, Б. И. Захарчук, А. А. Яловой, О. В. Дымченко // Разраб. рудн. месторождений. – К.: Техника. – 1976. – № 21. – С. 103–109.*