

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН НА ОХРАНЯЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА КАРЬЕРАХ

В.Н. Тюпин

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Россия, e-mail: tyupinvn@mail.ru

Аннотация: Анализ фактической длительности сейсмического импульса при массовых взрывах (2.10 с), по сравнению с расчетной (1.16 с), указывает на необходимость рассмотрения процесса формирования и распространения сейсмиковзрывных волн. Поскольку время действия силовых нагрузок влияет на интенсивность разрушения горных или строительных объектов, целью настоящей статьи является определение длительности сейсмического импульса на основе механизма формирования сейсмиковзрывных волн при массовых взрывах. Предложен механизм действия короткозамедленного взрывания групп зарядов ВВ в трещиноватом горном массиве, где предполагается, что сейсмиковзрывные волны образуются за счет высокоскоростного соударения отдельных частей в очаге горного массива. Сейсмический очаг наибольшего размера образуется у последней группы зарядов ВВ, что и создает существенное увеличение длительности сейсмического сигнала. Получены расчетные формулы для определения времени действия сейсмиковзрывных волн на охраняемый объект. Численные расчеты по формуле для определения длительности сейсмического импульса и сравнение их с фактическими данными говорят о правомерности формулы. Исследования для определения длительности сейсмического импульса позволят определять геометрические параметры сейсмического очага, создаваемого массовым взрывом, а также использовать их для разработки правил ведения взрывных работ с целью минимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на охраняемые объекты.

Ключевые слова: длительность сейсмического импульса, механизм действия короткозамедленного взрывания, трещиноватый массив, высокоскоростное соударение отдельных частей, сейсмический очаг, расчетные формулы.

Для цитирования: Тюпин В.Н. Длительность воздействия сейсмиковзрывных волн на охраняемые объекты при массовых взрывах на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 124–133. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_124.

Action time of explosion-produced seismic waves on guarded objects during large-scale blasting at open pit mines

V.N. Tyupin

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, e-mail: tyupinvn@mail.ru

Abstract: The analysis of actual duration of a seismic impulse in large-scale blasting (2.10 s) as against the estimated duration (1.16 s) necessitates investigation of explosion-generated

© В.Н. Тюпин. 2021.

seismic wave formation and propagation. The action time of power loads governs the rate of damage of mining and construction objects. In this respect, this study aims to determine duration of seismic impulse based on the mechanism of seismic wave generation in large-scale blasting. The proposed mechanism of action of short-delayed blasthole groups in jointed rock mass assumes that seismic waves are generated during explosions owing to high-velocity collision of separate particles in the blast source area. The largest seismic source area is formed at the last blasthole group, which induces an essential increase in the seismic impulse duration. The formulas for calculating action times of explosion-generated seismic waves on guarded objects are obtained. The numerical calculation from the formula of seismic impulse duration and the comparison of the calculated and actual data prove validity of the formula. The seismic impulse duration studies make it possible to determine geometry of a seismic source area of a large-scale blast. The results can be used to develop blasting regulations toward minimization of seismic load generated by large-scale blasts on guarded objects.

Key words: seismic impulse duration, short-delay blasting mechanism, jointed rock mass, high-velocity collision of particles, calculation formulas.

For citation: Tyupin V. N. Action time of explosion-produced seismic waves on guarded objects during large-scale blasting at open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(4):124-133. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_124.

Введение

Исследованию сейсмического действия взрыва на горные и строительные объекты при открытой и подземной геотехнологиях посвящено большое количество теоретических и экспериментальных исследований российских и зарубежных ученых [1–12].

Самым распространенным параметром, который фиксируется экспериментально и определяется теоретически, является скорость колебаний (смещений) в массиве в районе охраняемого объекта. Однако известно, что длительность воздействия различных силовых нагрузок на горные или строительные объекты существенно влияет на их предельные прочностные характеристики, а также степень деформирования и разрушения [13, 14]. Это характерно и при действии сейсмозрывных волн [9–12]. Воздействию сейсмозрывных волн при ведении взрывных работ на карьерах подвергаются открытые поверхности рабочих и нерабочих уступов, бортов карьеров, промышленные и жилые зда-

ния и сооружения, находящиеся вблизи карьеров, на поверхности и в глубине массива. В [3] расчетную длительность сейсмического импульса при массовых взрывах определяют как произведение числа ступеней замедления на интервал замедления. Сопоставление расчетных данных в [3] с приведенными там же сейсмограммами указывает на то, что фактическая длительность импульса по сейсмограммам превышает расчетную в среднем в 1,8 раза (см. таблицу).

Анализ сейсмограмм показывает, что вслед за цугом сейсмозрывных волн, создаваемых последовательно взрывающимися группами зарядов ВВ (обладают наибольшей амплитудой), появляется цуг волн с меньшей амплитудой. Характерная сейсмограмма приведена на рис. 1.

Поскольку общая фактическая длительность сейсмического импульса влияет на процесс деформирования и степень разрушения объектов [10–14], то необходимо прогнозировать данный параметр. Кроме строительных объектов, находящихся вблизи карьеров, большое

Сопоставление расчетной и фактической длительности сейсмического импульса по данным [3] на карьере «Восточный» ЗАО «Полюс»
Comparison of theoretical and actual durations of seismic impulses by data from Vostochny Open Pit Mine, POLYUS [3]

№ п/п	Дата взрыва	Средний коэффициент крепости, f	Масса ВВ, кг	Расстояние до сейсмоматчиков, м	Число ступеней замедления, N	Интервал замедления, τ , с	Длительность сейсмического импульса, с	
					Число скважин в группе, n		расчетная, T_k	фактическая, T
1	02.09.03	10,5	23 765	150–200	$\frac{32}{2-4}$	50	1,6	2,1
2	03.09.03	14	22 432	600	$\frac{12}{3-11}$	60	0,72	1,5
3	05.09.03	11,5	12 044	925	$\frac{15}{4-5}$	50	0,75	2,5
4	05.09.03	5	17 550	285	$\frac{35}{1-3}$	50	1,75	2,0
5	06.09.03	9	19 824	850	$\frac{21}{2-5}$	50	1,05	2,5
6	06.09.03	9	27 390	410	$\frac{27}{2-6}$	50	1,35	2,7
7	07.09.03	14	18 048	400	$\frac{13}{3-9}$	60	0,78	2,0
8	09.09.03	11,5	17 202	3200	$\frac{18}{3-5}$	60	1,08	2,5–3,5
9	10.09.03	11	21 814	300	$\frac{10}{2-5}$	67	0,73	1,5
10	10.09.03	9	12 707	400	$\frac{11}{2-7}$	50	0,55	1,0
11	11.09.03	9	39 548	3500	$\frac{31}{4-6}$	50	1,55	2,5
12	13.09.03	11,5	21 528	250	$\frac{11}{2}$	60	1,0	1,7
13	13.09.03	9	20 706	500	$\frac{23}{2-7}$	50	1,15	2,2
14	16.09.03	11	73 414	170	$\frac{31}{2}$	67	2,2	2,4
15	17.09.03	14	21 560	1000	$\frac{19}{4-8}$	60	1,14	2,1
16	19.09.03	11	29 400	200	$\frac{41}{2}$	67	–	1,9
Среднее		10,3	23 722	470	$\frac{22}{2,5-5,4}$	52,6	1,16	2,10

значение имеет сохранение устойчивости уступов и бортов карьеров в массивах трещиноватых горных пород [15, 16].

Целью настоящей статьи является аналитическое определение длительности сейсмического импульса на основе механизма формирования сейсмозврыв-

ных волн при массовых взрывах в трещиноватых массивах горных пород. Исследования позволят определять геометрические параметры сейсмического очага, создаваемого массовым взрывом, а также использовать их для разработки правил ведения взрывных работ для ми-

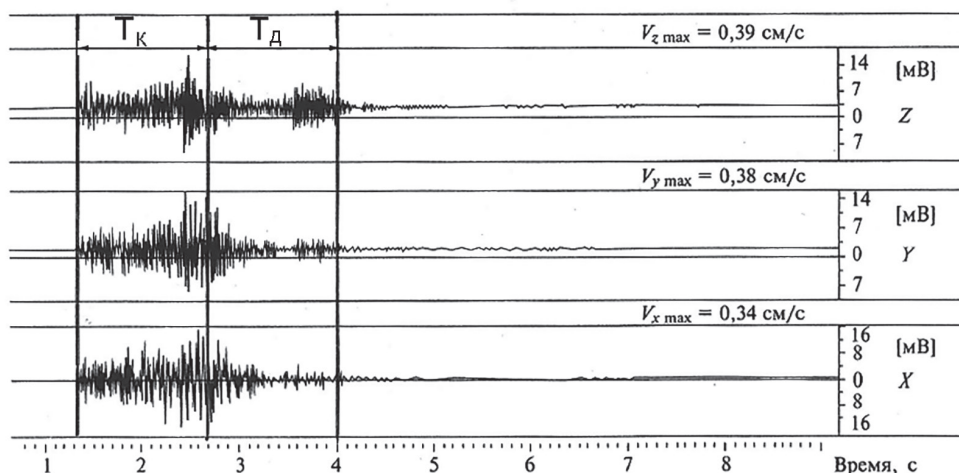


Рис. 1. Типичная сейсмограмма массового взрыва (06.06.03 г. [3]). $N = 27$; $\tau = 50$ мс; расчетная длительность $T_k = 1,35$ с; фактическая длительность $T = 2,70$ с

Fig. 1. Typical seismogram of large-scale blast (June 6, 2003 [3]). $N = 27$; $\tau = 50$ ms; theoretical duration $T_k = 1.35$ s; actual duration $T = 2.70$ s

нимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на охраняемые объекты.

Результаты исследований

Механизм формирования сейсмозрывных волн в трещиноватых горных массивах

Для численного определения длительности сейсмического импульса необходимо разработать физический процесс формирования и распространения сейсмозрывных волн в трещиноватых горных массивах.

М.А. Садовский считает, что горная порода — это сложная блочно-иерархическая система, в которой некоторые из составляющих ее блоков в силу ряда причин (землетрясение, взрыв) находятся в состоянии энергообмена с окружающим массивом горных пород. Совокупность этих блоков названа им «сейсмический очаг» [3]. В работе [1] указано на то, что при подземном взрыве формируется котловая полость и зона разрушения, то есть зоны неупругого деформирования горного массива,

которые и являются источником сейсмозрывных волн.

В работах [17, 18] разработан механизм деформирования и разрушения трещиноватого массива горных пород взрывом, согласно которому волна напряжений дробит отдельности, пронизанные зарядом ВВ, а квазистатическое давление продуктов детонации приводит к радиальному смещению раздробленных и нераздробленных отдельностей. В результате образуются зоны дробления, трещинно-блочных и трещинных деформаций. При этом в [17] высказано предположение, что сейсмическое действие взрыва вызвано высокоскоростным соударением отдельностей в зоне дробления и трещинно-блочных деформаций.

На основе анализа приведенных источников механизм формирования сейсмозрывных волн в трещиноватом горном массиве можно представить следующим образом.

При взрыве группы зарядов ВВ в результате резкого удара продуктов детонации (ПД) о стенки скважин в отдельностях, пронизанных зарядами ВВ,

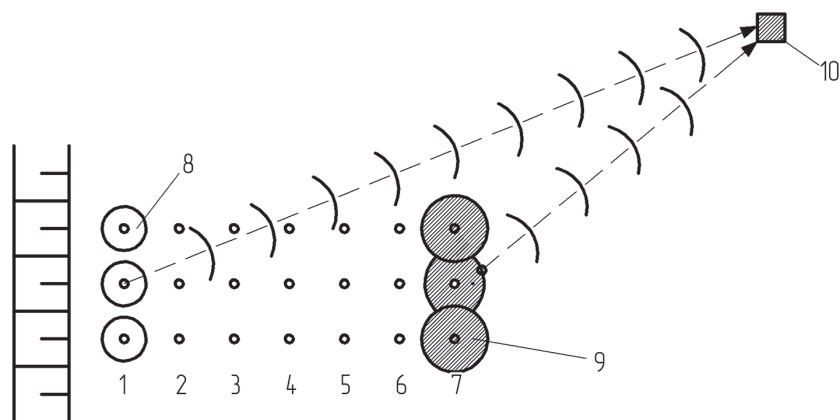


Рис. 2. Схема к расчету длительности сейсмического импульса при массовом взрыве: 1–7 — последовательность взрывания групп зарядов ВВ; 8 — зоны преобразования волн напряжений в сейсмозрывные упругие волны; 9 — очаг зоны соударения отдельных (сейсмический очаг) от взрыва последней группы зарядов ВВ; 10 — охраняемый объект

Fig. 2. Pattern of calculation of seismic impulse duration under large-scale blast: 1–7 — sequence of blasting of blasthole groups; 8 — zones of transformation of stress waves to explosion-generated seismic elastic waves; 9 — zone of collision of particles (seismic source area) under explosion of blasthole groups; 10 — guarded object

создается волна напряжений, которая дробит пронизанные отдельные и преобразуется в сейсмозрывную упругую волну. Далее под действием давления ПД раздробленные волной напряжения отдельные движутся в радиальном направлении от зарядов ВВ и соударяются с более удаленными отдельностями. Процесс последовательного соударения отдельностей иначе называется волной деформаций [18]. Во время движения волны деформаций и соударения отдельностей происходит излучение сейсмозрывных упругих волн. Скорость распространения волн деформаций составляет в среднем 5–100 м/с. Волны деформаций являются затухающими с максимальным распространением от крайних скважин до 150 диаметров заряда ВВ [18].

Длительность сейсмического импульса

Определим интервалы времени, в течение которых сейсмозрывные волны воздействуют на охраняемый объект (рис. 2).

После взрыва первой группы зарядов в результате резкого удара ПД о стенки скважин формируются упругие сейсмозрывные волны, которые достигают охраняемый объект 10. Далее производят короткозамедленное взрывание второй и последующих групп зарядов, что отражается на сейсмограмме отрезком времени T_k в виде цуга волн (рис. 1).

При взрыве последней группы зарядов ВВ волна деформаций за время T_d достигает дальней границы очага 9. За время T_c в очаге 9 происходит соударение отдельностей и излучение сейсмозрывных волн. И наконец от дальней границы очага 9 излучается последняя наиболее медленная сейсмозрывная поверхностная волна Релея, которая достигает охраняемый объект за время T_c .

Следовательно, длительность сейсмического импульса при массовом взрыве можно определить по формуле

$$T = T_k + T_d + T_c, \quad (1)$$

где T_k — длительность короткозамедленного взрывания групп зарядов ВВ; T_d — время распространения волны деформаций от последней группы взрывааемых

скважин до границы очага 9; T_c — время распространения сейсмозрывной поверхностной волны Релея от границы очага 9 до охраняемого объекта.

Длительность короткозамедленного взрывания групп зарядов ВВ равна

$$T_{\kappa} = (N - 1) \tau, \quad (2)$$

где N — число групп зарядов ВВ; τ — интервал замедления.

Длительность распространения волн деформаций от взрывааемых скважин до дальней границы очага при взрыве последней группы зарядов ВВ можно определить по формуле [18]

$$T_{\delta} = \frac{8R_0^2 \rho \Phi^{0.5}}{\sqrt{\pi} D \rho_8 d_3 \left(1 - \frac{\mu v}{1 - v}\right) \ln\left(\frac{2R_0}{d_3}\right) K_1 K_2 K_3 K_4} \quad (3)$$

где R_0 — радиус очага; ρ — объемная масса горного массива; Φ — показатель трещиноватости; D , ρ_8 , d_3 — скорость детонации, плотность заряжения, диаметр заряда ВВ; μ — коэффициент трения между отдельностями; v — коэффициент Пуассона; K_1 — показатель усиления действия взрыва перпендикулярно одновременно взрывааемой группе зарядов ВВ; K_2 — показатель усиления действия взрыва перпендикулярно плоскостям рядов скважин за контуром отбойки при их КЗВ; K_3 — коэффициент отдачи, указывающий, какая часть энергии передается в окружающий место взрыва массив; K_4 — показатель усиления действия взрыва в зависимости от длины заряда ВВ.

$$K_1 = \ln 2,7 [n - \mu(n - 1)];$$

$$K_2 = \ln(1,7N + 1)$$

$$K_3 = \left(1 - \sum_{i=1}^z \frac{a_i (n_i^* - 1)}{2\pi W_i}\right)^{0,5}$$

$$K_4 = \ln 2,7 \left[\frac{l_3}{d_e} - 2\mu \left(\frac{l_3}{d_e} - 1 \right) \right] \quad (4)$$

где n — число зарядов ВВ в одновременно взрывааемой группе; a_i — расстояние между скважинами в ряду; n_i^* — число скважин, взаимодействующих при их одновременном взрыве; W_i — ЛНС; z — число открытых поверхностей вблизи взрывааемой группы зарядов ВВ; l_3 — длина заряда ВВ в скважине; d_e — размер отдельности во взрывааемом массиве.

Время распространения наиболее медленной поверхностной волны Релея от границы очага 9 до охраняемого объекта равно

$$T_c = \frac{r}{c_r}, \quad (5)$$

где r — расстояние от границы очага 9 до охраняемого объекта; c_r — скорость волны Релея в массиве.

Следует отметить, что длительность сейсмического сигнала из очага зависит от радиуса очага $T_{\delta} \sim R_0^2$. Известно, что при взрывании на карьерах имеется несколько зон действия взрыва: зона раздавливания с расстоянием от зарядов ВВ до $5d_3$; зона трещинообразования с расстоянием $(5 - 15)d_3$; зона заколов — $(15 - 50)d_3$ и зона взрывных остаточных напряжений с расстоянием от крайних зарядов ВВ $(50 - 150)d_3$ [18]. Все эти зоны будут излучать сейсмозрывные волны, так как в них происходит соударение отдельностей. В зоне раздавливания скорость соударения отдельностей будет максимальной, значит, амплитуда сейсмозрывных волн тоже будет максимальной. Скорость соударения в зоне взрывных остаточных напряжений будет меньше, поэтому и амплитуда сейсмических колебаний будет меньше. Это характерно для всех сейсмограмм [3]: в хвостовой части сейсмограмм скорость колебаний постепенно снижается, а суммарная длительность существенно превышает расчетную длительность от короткозамедленного взрывания групп зарядов ВВ.

Определим численные значения параметров, входящих в формулу (1). Численные значения в формулах (2) – (4): $\rho = 2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\Phi = 8$; $D = 3,6 \cdot 10^3 \text{ м/с}$; $\rho_b = 0,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $d_3 = 0,25 \text{ м}$; $\mu = 0,45$; $\nu = 0,25$; $K_1 = 1,97$ ($n = 4$); $K_2 = 3,65$ ($N = 22$); $K_3 = 0,45$; $K_4 = 1,9$; $\tau = 50 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; $R_0 = 25 \text{ м}$ (принят равным $100d_3$); $r = 500 \text{ м}$; $c_r = 2,0 \cdot 10^3 \text{ м/с}$.

Численные расчеты дают: $T = 1,05 \text{ с}$, $T_d = 0,97 \text{ с}$, $T_c = 0,24 \text{ с}$, тогда $T^k = 2,26 \text{ с}$.

Сопоставление расчетных данных параметров длительности сейсмического импульса с фактическими, приведенными в таблице, говорит о правомерности формулы (1).

Выводы и направления дальнейших исследований

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Анализ фактической длительности сейсмических волн (2,10 с) по сравнению с расчетной (1,16 с) указывает на необходимость рассмотрения процесса формирования и распространения сейсмических волн.

Предложен механизм действия короткозамедленного взрывания групп зарядов

ВВ в трещиноватом горном массиве, где указано на то, что сейсмические волны образуются за счет высокоскоростного соударения отдельностей в очаге деформируемого горного массива. Сейсмический очаг наибольшего размера образуется у последней группы зарядов ВВ, что и создает существенное увеличение длительности сейсмического сигнала.

Получены расчетные формулы для определения времени воздействия сейсмических упругих волн при массовом взрыве на охраняемый объект.

Численные расчеты по формуле для определения длительности сейсмического импульса и сравнение их с фактическими данными говорят о правомерности формулы.

Результаты исследований по определению длительности сейсмического импульса позволят определять геометрические параметры сейсмического очага, создаваемого массовым взрывом, кроме того, их можно использовать для разработки правил ведения взрывных работ с целью минимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на охраняемые объекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В. В., Спивак А. А. Подземные взрывы. — М.: Наука, 2007. — 579 с.
2. Кутузов Б. Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности. — М.: Изд-во «Горная книга», Изд-во МГГУ, 2009. — 670 с.
3. Совмен В. К., Кутузов Б. Н., Марьясов А. Л., Эквист Б. В., Токаренко А. В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. — М.: Изд-во «Горная книга», 2002. — 228 с.
4. Цейтлин Я. И., Смолий Н. И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. — М.: Недра, 1981. — 192 с.
5. Segarra P., Sanchidrián J. A., Castedo R., López L. M., Del Castillo I. Performance of some coupling methods for blast vibration monitoring // Journal of Applied Geophysics. 2015. Vol. 112. Pp. 129–135.
6. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Vol. 8. No 3. Pp. 341–349. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.009.
7. Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C., Tao M. Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions // Interna-

tional Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 101. Pp. 63–68. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2017.11.016.

8. Li J. C., Li N. N., Chai S. B., Li H. B. Analytical study of ground motion caused by seismic wave propagation across faulted rock masses // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2017. Vol. 42. No 1. Pp. 95–109. DOI: 10.1002/nag.2716.

9. Адушкин В. В., Анисимов В. Н. Геомеханическая и геоэкологическая безопасность и пути ее реализации в регионе КМА / Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных территориях: Материалы VII международной научной конференции (памяти проф. А.Н. Петина) 24–26 октября 2017 г. – Белгород: Изд-во «Политерра», 2017. – С. 13–20.

10. Кочарян Г. Г., Кишкина С. Б. Новые подходы обеспечения сейсмической безопасности горных работ / Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных территориях: Материалы VII международной научной конференции (памяти проф. А.Н. Петина) 24–26 октября 2017 г. – Белгород: Изд-во «Политерра», 2017. – С. 342–348.

11. Белин В. А., Холодилов А. Н., Господариков А. П. Методические основы прогнозирования сейсмического действия массовых взрывов // Горный журнал. – 2017. – № 2. – С. 66–68.

12. Холодилов А. Н., Господариков А. П. Модель расчета сейсмических колебаний, возникающих при массовых взрывах на подземных рудниках // ФТПРПИ. – 2020. – № 1. – С. 33–40.

13. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.

14. Каркашадзе Г. Г. Механическое разрушение горных пород. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 222 с.

15. Игнатенко И. М., Яницкий Е. Б., Дунаев В. А., Кабелко С. Г. Трещиноватость породного массива в карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» // Горный журнал. – 2019. – № 10. – С. 11–15. DOI: 10.17580/gzh.2019.10.01.

16. Игнатенко И. М., Годовников Н. А., Дунаев В. А. Методика построения прогнозно-деформационной модели прибортовой зоны карьера в массивах скальных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № S1. – С. 72–78.

17. Кутузов Б. Н., Тюпин В. Н. Определение размеров зон деформирования трещиноватого массива взрывом заряда ВВ // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. – № 4. – С. 53–58.

18. Тюпин В. Н. Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2017. – 192 с. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Adushkin V.V., Spivak A.A. *Podzemnye vzryvy* [Underground explosions], Moscow, Nauka, 2007, 579 p.

2. Kutuzov B.N. *Bezopasnost' vzryvnykh rabot v gornom dele i promyshlennosti* [Safety of blasting operations in mining and industry], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», Izd-vo MGGU, 2009, 670 p.

3. Sovmen V.K., Kutuzov B.N., Mar'yasov A.L., Ekqvist B.V., Tokarenko A.V. *Seysmicheskaya bezopasnost' pri vzryvnykh rabotakh* [Seismic safety in blasting operations], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2002, 228 p.

4. Tseytlin Ya. I., Smoliiy N. I. *Seysmicheskie i udarnye vozduzhnye volny promyshlennykh vzryvov* [Seismicheskie i vzdushnye vozduzhnye volny industrial explosions], Moscow, Nedra, 1981, 192 p.

5. Segarra P., Sanchidrián J.A., Castedo R., López L. M., Del Castillo I. Performance of some coupling methods for blast vibration monitoring. *Journal of Applied Geophysics*. 2015. Vol. 112. Pp. 129 – 135.

6. Kumar R., Choudhury D., Bhargava K. Determination of blast-induced ground vibration equations for rocks using mechanical and geological properties. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016. Vol. 8. No 3. Pp. 341 – 349. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.10.009.

7. Gui Y. L., Zhao Z. Y., Jayasinghe L. B., Zhou H. Y., Goh A. T. C., Tao M. Blast wave induced spatial variation of ground vibration considering field geological conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 101. Pp. 63 – 68. DOI: 10.1016/j.ijrmm.2017.11.016.

8. Li J. C., Li N. N., Chai S. B., Li H. B. Analytical study of ground motion caused by seismic wave propagation across faulted rock masses. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2017. Vol. 42. No 1. Pp. 95 – 109. DOI: 10.1002/nag.2716.

9. Adushkin V. V., Anisimov V. N. Geomechanical and geoecological safety and ways of its implementation in the KMA region. *Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopredel'nykh territoriyakh: Materialy VII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (pamyati prof. A.N. Petina) 24 – 26 oktyabrya 2017 g.* [Nature management problems and the ecological situation in European Russia and adjacent territories: Materials of the VII international scientific conference (in memory of Prof. Petin A. N.) October 24 – 26, 2017]. Belgorod: Izd-vo «Politerra», 2017, pp. 13 – 20. [In Russ].

10. Kocharyan G. G., Kishkina S. B. New approaches to ensuring the seismic safety of mining operations. *Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopredel'nykh territoriyakh: Materialy VII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (pamyati prof. A.N. Petina) 24 – 26 oktyabrya 2017 g.* [Nature management problems and the ecological situation in European Russia and adjacent territories: Materials of the VII international scientific conference (in memory of Prof. Petin A. N.) October 24 – 26, 2017]. Belgorod: Izd-vo «Politerra», 2017, pp. 342 – 348. [In Russ].

11. Belin V. A., Kholodilov A. N., Gospodarikov A. P. Methodical bases of forecasting the seismic action of mass explosions. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no 2, pp. 66 – 68. [In Russ].

12. Kholodilov A. N., Gospodarikov A. P. Model of calculation of seismic vibrations arising during mass explosions at underground mines. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2020, no 1, pp. 33 – 40. [In Russ].

13. Rzhnevskiy V. V., Novik G. Ya. *Osnovy fiziki gornykh porod* [Fundamentals of the physics of rocks], Moscow, Nedra, 1978, 390 p.

14. Karkashadze G. G. *Mekhanicheskoe razrushenie gornykh porod* [Mechanical destruction of rocks], Moscow, Izd-vo MGGU, 2004, 222 p.

15. Ignatenko I. M., Yanitskiy E. B., Dunaev V. A., Kabelko S. G. Fracturing of the rock mass in the open pit of the Zhelezny mine of JSC Kovdorsky GOK. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no 10, pp. 11 – 15. DOI: 10.17580/gzh.2019.10.01.

16. Ignatenko I. M., Godovnikov N. A., Dunaev V. A. Methodology for constructing a predictive-deformation model of the near-pit zone of a quarry in rock massifs. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*. 2018, no S1, pp. 72 – 78.

17. Kutuzov B. N., Tyupin V. N. Determination of the size of deformation zones of a fractured mass by explosive charge explosion. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 1983, no 4, pp. 53 – 58.

18. Tyupin V. N. *Vzryvnye i geomekhanicheskie protsessy v treshchinovatykh napryazhennykh gornykh massivakh* [Explosive and geomechanical processes in fractured stressed mountain massifs], Belgorod: ID «Belgorod» NIU «BelGU», 2017, 192 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Тюпин Владимир Николаевич — д-р техн. наук, профессор, e-mail: tyupinvn@mail.ru, Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

V.N. Tyupin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: tyupinvn@mail.ru, Belgorod State National Research University, 308015, Belgorod, Russia.

Получена редакцией 15.08.2020; получена после рецензии 02.09.2020; принята к печати 10.03.2021.
Received by the editors 15.08.2020; received after the review 02.09.2020; accepted for printing 10.03.2021.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ПРИ ФОРМОВАНИИ В СОСТАВНОМ МУНДШТУКЕ ШНЕКОВОГО ПРЕССА

(2020, № 12, СБ 44, 16 с.)

Федоров Александр Сергеевич¹ — аспирант, e-mail: 413x4ndr_fd5@mail.ru,
Михайлов Александр Викторович¹ — докт. техн. наук, профессор, e-mail: epc68@mail.ru,
Гарифуллин Дамир Раилевич¹ — аспирант, e-mail: damir.garifullin.94@bk.ru,
¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Проведен анализ степени механической переработки торфяного сырья при производстве окускованной торфяной продукции в форме трубы, при технологии разработки торфяных месторождений карьерным способом с использованием стилочных машин. В рамках улучшения качества кускового торфа с созданием прочного, быстросохнущего торфяного куска проведено исследование оценки перерабатывающей способности шнековых машин. Рассмотрена структура составного мундштука мобильного шнекового пресса для получения окускованной торфяной продукции, формируемой в виде толстостенной трубы с целью интенсификации процесса сушки. Определены конструктивные и кинематические параметры составного мундштука мобильного шнекового пресса. Установлено влияние степени механической переработки торфяного сырья от отношения шага витков к радиусу шнека при постоянной угловой скорости. На основе анализа структуры составного мундштука мобильного шнекового пресса выполнена оценка степени механической переработки торфяного сырья в составном мундштуке при формировании трубчатых кусков.

Ключевые слова: торфяное сырье, стилочная машина, мундштук шнекового пресса, формирование, торфяной кусок.

MECHANICAL PROCESSING OF PEAT RAW MATERIALS IN A COMPOSITE SREW PRESS MOUTHPIECE

A.S. Fedorov¹, Graduate Student, e-mail: 413x4ndr_fd5@mail.ru,
A.V. Mikhailov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: epc68@mail.ru, D.R. Garifullin¹, Graduate Student,
¹ Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The purpose of this work was to analyze the degree of mechanical processing of peat raw materials in the production of agglomerated peat products in the form of a pipe, in the technology of development of peat deposits in a quarry way using sod peat machines. In the framework of improving the quality of sod peat with the creation of a durable, quick-drying peat lump, a study was carried out to assess the processing capacity of screw machines. The structure of the composite mouthpiece of a mobile screw press for obtaining agglomerated peat products molded in the form of a thick-walled pipe in order to intensify the drying process is considered. Based on the analysis of the structure of the composite mouthpiece of a mobile screw press the degree of mechanical processing of peat raw materials in the mouthpiece during the molding of tubular pieces was assessed. The constructive and kinematic parameters of the compound mouthpiece of the mobile screw press have been determined. The influence of the degree of mechanical processing of peat raw materials on the ratio of the pitch of the turns to the radius of the screw at a constant angular velocity is established.

Key words: mouthpiece, sod peat, drying, sod peat machine, peat raw materials, screw press.