

УДК 622.235

Воробьев Виктор Данилович

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной экологии, *orcid.org/0000-0003-1285-8111*
Институт энергосбережения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт», Киев

Твердая Оксана Ярославовна

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной экологии,
orcid.org/0000-0003-3163-0972

Институт энергосбережения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт», Киев

Азнаурян Ирина Александровна

Доцент кафедры физики, *orcid.org/0000-0002-7085-7291*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**ЦЕЛЕВАЯ ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ И БЛОЧНОСТИ
ГОРНОГО МАССИВА СКАЛЬНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРАХ**

Аннотация. Одним из основных этапов в совершенствовании технологий взрывных работ является районирование карьерных полей по взрываемости на основе изучения геологического строения массива горных пород и его физико-механических свойств. Использование полученных данных при составлении классификаций по взрываемости должно способствовать повышению качества горной массы и выпускаемого из нее щебня. Установлено, что известные методики определения характеристик горного массива по средним размерам практически одного параметра (расстояния между трещинами) исключают дифференциацию массива по сложности строения, кроме того, в указанных классификациях границы между категориями пород определены по неявному принципу. С целью повышения эффективности работы предприятий разработан метод целевой оценки блочности и трещиноватости с учетом однородности структуры массива в широком диапазоне изменения параметров природных характеристик, в равной степени определяющих результаты взрывного разрушения горных пород. Показано, что использование такого метода позволяет более объективно устанавливать связь определяющих и регулируемых параметров при взрывном дроблении пород с показателями оценки результатов взрыва, а также оценивать эффективность способов взрывания.

Ключевые слова: блочность; взрывные работы; горная масса; горный массив; районирование; трещиноватость

Введение

Прогресс в области управления энергией взрыва при разработке месторождений полезных ископаемых, представленных скальными породами с различными физико-механическими свойствами и структурными особенностями, связан с целенаправленным достижением требуемого качества выпускаемой продукции. Положительное решение данной задачи неразрывно связано с исследованиями свойств и строения горного массива с последующим учетом полученных результатов при проектировании параметров взрывных работ. При этом целевой подход к совершенствованию управления параметрами взрывных работ должен предусматривать главную цель в работе каждого предприятия (карьера, разреза) – достижение стабильных показателей по

всем технологическим операциям и предприятию в целом согласно установленным планам.

Одним из основных и первоначальных этапов в совершенствовании технологий взрывных работ является районирование карьерных полей по взрываемости на основе изучения геологического строения разрабатываемого массива горных пород и его физико-механических свойств. Использование полученных данных при составлении классификаций по взрываемости и в процессе проектирования параметров взрывных работ должно способствовать повышению качества горной массы в карьере и выпускаемого из нее щебня на каменедробильном заводе. Очевидный путь улучшения показателей качества продукции – это производство массовых взрывов по каждой установленной зоне добычного горизонта в карьере с характеризующими ее значениями параметров

в соответствии со строением и свойствами пород. Известные методики [1-3] определения характеристик горного массива по средним размерам практически одного параметра (расстояния между трещинами) исключают дифференциацию массива по сложности строения, которую с позиции воздействия взрыва на массив можно характеризовать несколькими показателями. Кроме того, в указанных классификациях границы между категориями пород определены по неявному принципу – возможному размеру естественных отдельностей, ориентированному на обобщенную цепочку механизмов технологической схемы карьера. Такой подход к оценке свойств и строения горного массива усложняет расчеты при проектировании параметров массовых взрывов.

Цель работы

Совершенствование оценки горного массива скальных пород по блочности и трещиноватости при целенаправленном использовании при проектировании параметров технологий взрывных работ.

Материал и результаты исследований

Эффективность оптимизации параметров взрывных работ на стадии их проектирования в значительной степени зависит от достоверности оценки свойств и строения горного массива. Известные методики [1 – 8] не содержат рекомендаций по учету ряда характеристик блочности и трещиноватости как физически самостоятельных факторов. В этой связи представляется возможным блочность массива горных пород дополнительно характеризовать размером, формой и ориентировкой блоков (табл. 1). Ориентируясь на универсальность значений, используемых в расчетах параметров, классы блоков устанавливаются по размеру, исходя из конкретных условий производства: размеры кондиционных классов и отходов, ограничивающие размеры рабочих органов машин и механизмов в технологической цепочке по переработке горной массы. Тогда минимальное число классов блоков по крупности составит четыре: мелкий (d_m), кондиционный (d_k), крупный (d_{kp}) и негабаритный (d_n).

Оценивая выход взорванной горной массы такими же классами крупности кусков, можно определить требуемую и фактическую степень дробления и эффективность того или иного способа взрывных работ.

Форму естественных отдельностей можно классифицировать по соотношению взаимно перпендикулярных линейных размеров между противоположными гранями. В этом случае выделено три класса:

- симметричный, при разнице в размерах не более чем в 1,5 раза;
- с односторонней симметрией – один размер отличается от остальных более чем в 1,5 раза;
- асимметричный – все размеры разнятся более чем в 1,5 раза.

Ориентировка отдельностей относительно направления распространения взрывной волны влияет на характер ее разрушения по причине различной ее сопротивляемости динамической нагрузке. Для этого случая выделены три класса: отдельность по отношению к фронту взрывной волны ориентирована плоскостью, ребром или вершиной. Для асимметричных блоков в качестве ориентирующих следует принимать плоскость или ребро с большими размерами. Ориентировка отдельности плоскостью принимается при соотношении ее с фронтом взрывной волны не более чем на 30° . При соотношении более 30° фронт волны попадает на грань или вершину отдельности.

Такая классификация позволяет отнести отдельность (блок) к одной из 36 категорий ($4 \times 3 \times 3$). Массив горных пород характеризуется наличием отдельностей нескольких категорий. Содержание в нем отдельностей большего числа категорий и, тем более, при его однородной структуре, маловероятно.

Указанная оценка горного массива по блочности связана с выделением по структуре однородных зон. Различать зоны можно по значению следующих оценивающих показателей:

- количеством категорий отдельностей, слагающих массив;
- вариацией значений параметров отдельностей;
- средним значением параметров отдельностей и т.д.

Для символической записи категорий естественных отдельностей классы параметров нумеруются по крупности (i): 1 – мелкий, 2 – кондиционный, 3 – крупный, 4 – негабаритный; по форме (j): 1 – симметричный, 2 – односторонне симметричный, 3 – асимметричный; по ориентации (α): 1 – плоскостью, 2 – ребром, 3 – вершиной. Тогда запись категории в соответствии с правилами кодирования будет иметь вид $B_{ij\alpha}$. Например, $B_{1,2,3}$ – блок мелкого класса, односторонне асимметричный, ориентирован вершиной (табл. 1). Такое кодирование облегчает определение категории по записи визуально и позволяет использовать ее в случае автоматизированных расчетов.

Трещиноватость горного массива характеризуется степенью раскрытия трещин, расстояниями между ними по каждой системе, ориентировкой по простиранию и углом падения плоскости трещины (табл. 2).

Таблиця 1 – Класифікація і схема визначення категорії блоків (естественних окремих) в масиві горних порід

Параметри	Класи і схема визначення категорії			
Размер	Мелкий $0 < d_m < d_k^H$	Кондиционный $d_k^H \leq d \leq d_k^B$	Крупный $d_k^B < d_{кр} \leq d_{кр}^B$	Негабаритный $d_{кр}^B < d_n$
Коды	1	2	3	4

Форма	Симметричная $d_I \cong d_{II} \cong d_{III}$ (разность в пределах 50%)	Односторонне асимметричная $d_I \cong d_{II} \neq d_{III}$ (разность более 50%)	Асимметричная $d_I \neq d_{II} \neq d_{III}$ (разность более 50%)
Коды	1	2	3

Ориентировка	Плоскостью $\alpha_1 \leq 30^\circ$	Ребром $\alpha_{1,2} \leq 30^\circ$	Вершиной $\alpha_{1,2,3} \leq 30^\circ$
Коды	1	2	3

$B_{3,1,2}$

Обозначения: $d_m, d_k, d_{кр}, d_n$ – размер блока соответствующего класса по крупности; d_k^H, d_k^B – нижний и верхний пределы размеров кондиционных классов; d_I, d_{II}, d_{III} – размеры блоков между противоположными гранями в разных (I, II, III) измерениях; $\alpha_1, \alpha_{1,2}, \alpha_{1,2,3}$ – угол между фронтом ударной волны и одной-, двумя- и тремя гранями, тяготеющими к нему, блока.

Таблиця 2 – Класифікація і схема визначення категорії трещин в масиві горних порід

Параметры	Класы (значения параметра) и схема определения категории		
Степень раскрытия	Жесткий контакт	Нежесткий контакт	Отсутствие контакта
Коды	1	2	3

Трещиноватость	Весьма трещиноватые $v_v > \frac{1}{d_k^H}$	Трещиноватые $\frac{1}{d_k^H} \geq v_n > \frac{1}{d_k^B}$	Средне трещиноватые $\frac{1}{d_k^B} > v_{cp} \geq d_{кр}^B$	Слабо трещиноватые $v_c < d_{кр}^B$
Коды	1	2	3	4

Ориентация по простиранию	$\alpha_T = 0^\circ - 180^\circ$
---------------------------	----------------------------------

Угол падения плоскости трещин	$\beta_T = 90^\circ - 0^\circ$
-------------------------------	--------------------------------

$T_{2,2,120^\circ,85^\circ}$

Обозначения: v_v, v_n, v_{cp}, v_c – показатель трещиноватости соответствующего класса; $d_k^H, d_k^B, d_{кр}^B$ – расстояние между трещинами, соответствующие, по величине размерам, принятым для оценки блочности; α_T – угол простирания; β_T – угол падения плоскости трещины.

Выделено три класса: трещины с жестким контактом их плоскостей, трещины с нежестким контактом отдельных и отсутствие контакта. Данные о расстояниях между трещинами необходимы для определения их количества.

Массив горных пород оценивается показателем трещиноватости (ϑ) по каждой системе. Классифицируются эти показатели в соответствии с классом отдельных по крупности:

- **весьма трещиноватые** $v_b = 1/d_k^H$;
- **трещиноватые** $1/d_k^H \geq v_n \geq 1/d_k^B$;
- **среднетрещиноватые** $1/d_k^B > v_{cp} \geq d_{кр}^B$;
- **слаботрещиноватые** $v_c < 1/d_{кр}^B$,

где d_k^H – нижний предел размера отдельностей кондиционного класса, м; d_k^B – верхний предел размера отдельностей кондиционного класса, м; $d_{кр}^B$ – верхний предел размера отдельностей крупного класса, м.

Простираение трещин обуславливает выбор оптимального направления отбойки (по величине азимута простираения трещин). Угол падения плоскости трещин предопределяет конструкцию заряда, угол наклона скважин и тип взрывчатого вещества (ВВ).

Таким образом, трещиноватость горного массива можно характеризовать одним из 12 (3x4) классов и значениями углов простираения (α_T) и падения (β_T).

Предлагаемый принцип классификации универсален и приемлем для различных горно-технологических условий разработки месторождений полезных ископаемых. Он позволяет оценить горный массив по строению, требования к результатам взрывного дробления пород, эффективность способов взрывания с помощью шкалы параметров, определяемой значениями технико-экономических показателей предприятия.

На рисунке в качестве примера целевой оценки приведена условная схема взрываемого блока пород на уступе карьера, которая характеризуется тремя различными зонами по строению горного массива.

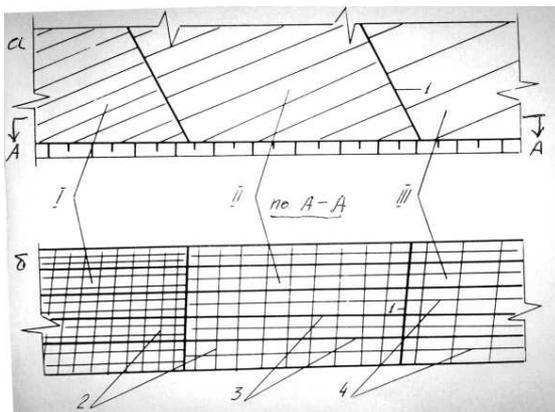


Рисунок – Схема взрываемого блока горного массива в плане (а) и в разрезе по фронту уступа (б): I, II, III – зоны различной структуры; 1 – вертикальные трещины нежесткого контакта; 2 – то же, жесткого контакта; 3 – горизонтальные трещины нежесткого контакта; 4 – то же, жесткого контакта

В I зоне преобладает одна категория естественных отдельностей крупного класса, симметричной формы, вертикально ориентированных под углом 15° к линии забоя. Наличие других категорий с преобладанием крупной несимметричной и кондиционной формы незначительно. Во II зоне примерно поровну распределены две категории: крупного и негабаритного классов той же ориентации, что и в I зоне. В III зоне преобладает аналогичная категория негабаритного класса. Внутри зон естественные отдельности разделены трещинами жесткого контакта с простираением примерно 105° к линии забоя.

Характерные оценки блочности и трещиноватости применительно к данному случаю приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3 – Оценка блочности горного массива (на примере гранитного карьера)

Наименование параметров оценки	Зоны		
	I	II	III
Количество категорий отдельностей	1	2	3
Форма отдельностей	Симметричная плоскостью		
Ориентировка к линии забоя	Симметричная плоскостью		
Размер (класс)	Крупный	Крупный, негабаритный	Крупный негабаритный
Вариация значений размера, м	0,4-0	0,4-0,7 0,9-2,5	1,2-3 0,7-0,9
Среднее значение размера, м	0,6	0;2	2; 0,8
Содержание основных классов, о.е.	0,9	0,5; 0,45	0,8; 0,15
Категория блоков	B_{311}	$B_{311}; B_{411}$	$B_{411}; B_{311}$

Таблица 4 – Оценка трещиноватости горного массива (на примере гранитного карьера)

Наименование параметров оценки	Системы трещин			
	1	2	3	4
Характер контакта отдельностей	нежесткий	жесткий	жесткий	нежесткий
Простираение, град.	105	105	15	горизонт
Падение, град.	90	90	90	0
Интенсивность, шт/м:	0,05	1,66	1,66	0,55
По зоне I				
По зоне II	0,05	0,5; 1,66	0,5; 1,66	0,5
По зоне III	0,05	0,5; 1,25	0,5; 1,25	0,4

Таким образом, применение целевого метода оценки содержания естественных отдельностей в массиве и его трещиноватости является дополнительным элементом в общей методологии районирования карьеров по взрываемости [9; 10]. Он позволяет:

- дифференцировать горный массив по однородности характеристик его строения;
- ориентировать разработчиков на составление методик по расчету параметров взрывных работ с учетом целевого метода оценки характеристик горного массива;
- использовать принцип классификаций, заложенный в основу целевого метода, в увязке с ограничительными параметрами горного оборудования, исходя из конкретных задач производства.

Кроме того, такой метод позволит не только повысить технико-экономические показатели горного предприятия, но и существенно уменьшить расходы на первом этапе жилищного строительства [11], а также может стать частью программ социально-экономического развития регионов [12].

Выводы

1. Разработан метод целевой оценки блочности и трещиноватости с учетом однородности структуры массива в широком аспекте изменчивости параметров по данным природным характеристикам, в равной степени определяющих результаты взрывного разрушения горных пород.

2. Показана целесообразность использования целевого метода оценки по блочности и трещиноватости при разработке классификаций и карт по взрываемости пород в процессе районирования карьеров.

Использование целевого метода оценки блочности и трещиноватости горных массивов позволяет более объективно устанавливать связь определяющих и регулируемых параметров при взрывном дроблении пород различными способами с показателями оценки результатов взрыва, а также оценивать эффективность этих способов и выбирать из них наиболее рациональный.

Список литературы

1. Методика расчета параметров буровзрывных работ на получение кусков заданной крупности. – М.: ЦНИГРИ, 1968. – 26 с.
2. Временная классификация горных пород по степени трещиноватости в массиве. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. Инф. вып. В – 199, 1968. – 21 с.
3. Бирюков А.В. Об оценке кусковатости взорванной породы при циклично-поточной технологии / А.В. Бирюков, А.С. Ташинов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1981. – №3. – С. 53 – 56.
4. Кутузов Б.Н. Классификация горных пород по взрываемости для карьеров / Б.Н. Кутузов, Н.И. Лемеш, В.Ф. Плужников // Горный журнал. – 1979. – №2. – С. 41 – 43.
5. Грачев Ф.Г. Классификация горных пород апатитового карьера «Центральный» по взрываемости / Ф.Г. Грачев, В.П. Павлов, Г.В. Качайник // Пути повышения эффективности открытых горных работ. – 1970. – С. 76 – 82.
6. Клочков В.Ф. Разработка классификации горных пород по взрываемости на основе критерия, учитывающего прочностные и вязкие свойства / В.Ф. Клочков // Взрыв. дело. – 1977. – №78/35. – С. 97 – 102.
7. Дунаев В.А. Геологические факторы, влияющие на взрываемость горных пород при открытой разработке полезных ископаемых / В.А. Дунаев, В.А. Ермолов // Горн. инф.-анал. бюл. Моск. гос. ун-та. – 1999. – №1. – С. 11 – 16.
8. Хакулов В.В. Совершенствование проектирования буровзрывных работ для карьеров на основе саморазвивающихся моделей районирования массивов горных пород / В.В. Хакулов // Горн. инф.-анал. бюл. Моск. гос. ун-та. – 2010. – №7. – С. 2 – 31.
9. Твердая О.Я. Повышение качества дробления трещиноватых скальных пород за счет оптимального направления отбойки скважинными зарядами / О.Я. Твердая, В.Д. Воробьев // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Наук.-виробн. журнал. – 2014. – Вип. 2/2014(14). – С. 13 – 24.
10. Воробійов В.Д. Удосконалення технології районування гранітних кар'єрів / В.Д. Воробійов, О.Я. Тверда // Вісник ЖДТУ. – 2014. – №4(71). – С. 139 – 146.
11. Гайна Г.А. Теоретичний аналіз складових житлового будівництва / Г.А. Гайна, А.В. Єрукаєв // Управління розвитком складних систем. – 2014. – №20. – С. 116 – 119.
12. Рыбак А.И. Методологические основы управления программами развития регионов Украины / А.И. Рыбак, Г.С. Панафидин // Управління розвитком складних систем. – 2014. – №19. – С. 71 – 77.

Статья поступила в редколлегию 15.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Глыва, Национальный авиационный университет, Киев.

Воробйов Віктор Данилович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології, orcid.org/0000-0003-1285-8111

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут», Київ

Тверда Оксана Ярославівна

Кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інженерної екології, orcid.org/0000-0003-3163-0972

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут», Київ

Азнаурян Ірина Олександрівна

Доцент кафедри фізики, orcid.org/0000-0002-7085-7291

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЦІЛЬОВА ОЦІНКА ТРІЩИНУВАТОСТІ І БЛОЧНОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ СКЕЛЬНИХ ПОРІД ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ПІДРИВНИХ РОБІТ У КАР'ЄРАХ

Анотація. Одним із основних етапів в удосконаленні технологій підривних робіт є районування кар'єрних полів за вибуховістю на основі вивчення геологічної будови масиву гірських порід і його фізико-механічних властивостей. Використання отриманих даних при складанні класифікацій за вибуховістю має сприяти підвищенню якості гірської маси і щебеню, який виготовляється з неї. Відомі методики визначення характеристик гірського масиву за середніми розмірами практично одного параметра (відстані між тріщинами) виключають диференціацію масиву за складністю будови, окрім того, у зазначених класифікаціях межі між категоріями порід визначені за неявним принципом. З метою підвищення ефективності роботи підприємств розроблено метод цільової оцінки блочності і тріщинуватості з урахуванням однорідності структури масиву в широкому діапазоні мінливості параметрів за даними природними характеристиками, які в рівній мірі визначають результати вибухового руйнування гірських порід. Використання такого методу дозволяє більш об'єктивно встановлювати зв'язок визначальних і регульованих параметрів при вибуховому дробленні порід з показниками оцінки результатів вибуху, а також оцінювати ефективність способів підривання.

Ключові слова: блочність; підривні роботи; гірська маса; гірський масив; районування; тріщинуватість

Vorobiov Viktor

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Environmental Engineering Department, orcid.org/0003-1285-8111

Institute for Energy Saving and Energy Management, National Technical University "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

Tverda Oksana

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Environmental Engineering Department, orcid.org/0000-0003-3163-0972

Institute for Energy Saving and Energy Management, National Technical University "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

Aznavurian Irina

Associate professor of the physics department, orcid.org/0000-0002-7085-7291

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

TARGET EVALUATION OF ROCK MASSIF FRACTURING AND BLOCKING DURING BLASTING IN QUARRY

Abstract. One of the main steps in the improvement of blasting technology is a regionalization of quarry fields for explosive based on the study of the geological structure of the rock mass and its physical and mechanical properties. Using the obtained data in the preparation of explosive classifications should contribute to improving the quality of rocks and gravel produced from it. Known methods of determining the characteristics of the rock mass by an average size substantially one parameter – the distance between fractures – exclude differentiation of array in complexity of the structure, moreover, in these classifications, the boundaries between the categories of rocks are defined by the implicit principle. With the aim of improve the efficiency of enterprises method of target evaluation of blocking and fracturing taking into account the homogeneity of the massifs structure in a wide aspect of variability of parameters according to the natural characteristics, which equally determine the result of the explosive destruction of rocks, is developed. Using this method allows you more objectively establish communication between defining and adjustable parameters of explosive rock breaking and indicators of evaluation of the explosion, as well as evaluate the effectiveness of blasting methods.

Keywords: blockiness; blasting; rock mass; massif; zoning; fracturing

References

1. *The methodology for calculating the parameters of drilling and blasting to pieces of a given size, 26.*
2. *Temporary classification of rocks based on the degree of fracture in the array. (1968). Information issue of Institute of Mining, the A.A. Skochinskiy, 21.*
3. *Biriukov, A.V. (1981). An estimate of the blasted rock lumpiness during cyclic-flow technology / A.V. Biriukov, A.S. Tashkinov // Proceedings of the universities. Mining Journal: 3, 53-56.*
4. *Kutuzov, B.N. (1979). Classification of rocks by explosion for quarries / B.N. Kutuzov, N.I. Lemesh, V.F. Pluzhnikov // Mining Journal: 2, 41-43.*
5. *Grachev, F.G. (1970). Classification of apatite rock quarry "Central" by explosion / F.G. Grachev, G.V. Pavlov, G.V. Kachaynik // Ways to improve the efficiency of open pit mining, 76-82.*
6. *Klochkov, V.F. (1977). Development of classification of rocks by explosion based on the criteria taking into account the strength and viscous properties. Explosive deal, 78/35, 97-102.*
7. *Dunaev, V.A. (1999). Geological factors affecting the explosive rocks in open-pit mining / V.A. Dunaev, V.A. Ermolov // Mining informational and analytical bulletin of the Moscow State University, 1, 11-16.*
8. *Hakulov, V.V. (2010). Improving the design of blasting for quarries based on the self-developing models of rock massifs regionalization. Mining informational and analytical bulletin of the Moscow State University, 7, 28-31.*
9. *Tverdaya, O.Y. (2014). Improving the quality of fractured rock crushing through the optimal direction of breaking by hole charges / O.Y. Tverdaya, V.D. Vorobiov // Modern resource-saving technologies of mining. Scientific and production journal, 2(14), 13-24.*
10. *Vorobiov, V.D. (2014). Improving the technology of granite quarries zoning. / V.D. Vorobiov, / O.Y. Tverdaya // Journal of Zhytomyr State Technological University, 4(71), 139-146.*
11. *Haina, H.A. (2014). Theoretical analysis of housing components / H.A. Haina, A.V. Yerukaiev // Management of Development of Complex Systems, 20, 116-119.*
12. *Rybak, A.I. (2014). Methodological bases of management of development programs for Ukrainian regions / H.A. Haina, H.S. Panafidin // Management of Development of Complex Systems, 19, 71-77.*

Ссылка на публикацию

- APA Vorobiov, V., Tverda, O., & Aznaurian, I. (2015). Target evaluation of rock massif fracturing and blocking during blasting in quarry. *Management of Development of Complex Systems*, 24, 142 – 153.
- ГОСТ Воробьев В.Д. Целевая оценка трещиноватости и блочности горного массива скальных пород при производстве взрывных работ в карьерах [Текст] / В.Д. Воробьев, О.Я Твердая, И.А. Азнаурян // *Управление развитием сложных систем.* – 2015. – № 24. – С. 142 – 153.