

О КОЭФФИЦИЕНТАХ РАЗРЫХЛЕНИЯ И НАБУХАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Аннотация. Как известно, при разрушении горных пород или дополнительном разрыхлении рыхлых пород происходит увеличение их объема. Это приводит к изменению показателей абсолютного большинства их физических свойств. Показано, что изменение объема пород зависит от характера разрушения, их генезиса, влажности и льдистости, исходного гранулометрического состава, а также времени их нахождения в рыхлом состоянии и других факторов. Для получения более точных данных об изменении объема пород в соответствующих процессах необходимо учитывать коэффициенты разрыхления сухих K_p и влажных $K_p^в$ пород и коэффициенты набухания неразрыхленных $K_{наб}$ и рыхлых пород в режиме реального времени. Установлено, что в породах, независимо от их состояния имеет место равенство $K_p K_{наб}^в = K_p^в K_{наб}$. Это равенство положено в основу предложенного интегрального коэффициента разрыхления — набухания K_p , позволяющего на основании экспериментальных данных оценивать объемы пород в разрыхленном состоянии.

Ключевые слова: порода, грунт, разрыхление, влага, набухание, усадка.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-206-213

В горном деле внешняя пустотность рыхлых (разрыхленных, разрушенных) пород оценивается коэффициентом их разрыхления K_p , определяемый как отношение объема рыхлой (разрыхленной) сухой или влажной породы $V_{сух,рых.п}$ или $V_{вл,рых.п}$ к объему этих пород в неразрыхленном состоянии, то есть в целике соответственно $V_{сух.п}$ или $V_{вл.п}$.

Коэффициент K_p численно оценивает разрыхляемость горных пород (разрыхляемость — свойство пород занимать больший объем в рыхлом состоянии по сравнению с их объемом в массиве или в целике).

Величины K_p пород зависят от многих факторов: гранулометрического состава и объемного веса пород, природного нарушения их сплошности (поры, трещины, каверны), влажности, времени нахождения в разрыхленном состоянии, формы сосудов наполняемых рыхлой (разрыхленной) породой, соотношения

крупности кусков породы и линейных размеров этих сосудов и т.д. Так влияние соотношения размеров упомянутых сосудов и гранулометрического состава рыхлых пород на величину K_p при экскаваторных работах наглядно видно из данных работы [1], представленных в табл. 1. Влияние на величину K_p объемного веса породы в сосудах разных размеров наглядно видно из данных работы [2], представленных в табл. 2.

Зависимость K_p пород от многих факторов привело к тому, что его величины определяются сугубо экспериментально для каждого рассматриваемого случая. В зависимости от вида пород, их состояния, вида разрушения (разрыхления) и так далее они могут достигать довольно больших величин. Анализ данных, приведенных в разных литературных источниках показывает, что в песках и супесях K_p достигает величин 1,1...1,2; в растительных грунтах, глинах, суглин-

Таблица 1

Влияние гранулометрического состава горных пород на коэффициент их разрыхления в процессах экскавации, транспортирования
Effect of grains size composition on loosening coefficient of rocks in excavation and haulage

Содержание (%) фракций, см							Коэффициент разрыхления	
0...25	25...50	50...75	75...100	100...125	125...150	150...180	в ковше экскаватора	в транспортном сосуде
65	17	10	6	2	0	0	1,27...1,38	1,25...1,27
60	14	6	14	1	2	3	1,28...1,44	1,25...1,28
50	14	5	8	8	2	8	1,33...1,49	1,28...1,30
60	5	11	4	4	6	10	1,42...1,53	1,33...1,40
38	15	3	8	16	6	16	1,48...1,63	1,33...1,41
40	10	11	5	19	2	13	1,52...1,66	1,35...1,44
35	11	6	12	9	12	15	1,54...1,71	1,35...1,46
30	9	11	8	12	9	21	1,59...1,79	1,35...1,45
19	11	11	6	17	11	25	1,72...1,93	1,42...1,50
14	7	4	15	14	17	29	1,76...1,98	1,50...1,60

ках, гравии — 1,2...1,3; в полускальных породах — 1,3...1,4; в скальных породах средней прочности — 1,4...1,6; в скальных породах прочных — 1,6...1,8; в скальных породах очень прочных — 1,8...2,0. Эти данные показывают, что при прочих равных условиях наименьшие величины K_p имеют место в песчаных и глинистых породах, а наибольшие — в крепких скальных породах. Последнее наглядно подтверждается данными, представленными в табл. 1 и 2.

Установлено также [2], что разрыхленные породы с течением времени уплот-

няются даже при отсутствии внешнего механического воздействия, то есть самоуплотняются. Уменьшение объема пород в результате различных физических воздействий, например, в ходе высыхания пород, называется усадкой. Численно усадка оценивается коэффициентом усадки K_{yc} , который определяется как относительное уменьшение объема горных пород под влиянием соответствующих физических процессов.

Поэтому процесс усадки необходимо учитывать в расчетах соответствующих технологических процессов, например

Таблица 2

Влияние объемного веса горных пород на коэффициент их разрыхления в процессах экскавации, транспортирования и отвалообразования
Effect of bulk density on loosening coefficient of rocks in excavation, haulage and dumping

Объемный вес породы в нетронутном массиве, кН/м^3	Коэффициент разрыхления		
	в ковше экскаватора	в транспортном сосуде	в отвале (насыпи)
15...17	1,2	1,15	1,10
17...19	1,5	1,30	1,15
19...28	1,9	1,50	1,25

Таблица 3

Коэффициенты разрыхления ряда пород в отвалах
Loosening coefficients of some rocks in dumps

Породы	Коэффициент разрыхления	
	начальный	остаточный
Песок и гравий	1,1...1,15	1,01...1,015
Суглинки	1,20...1,25	1,02...1,04
Мергель	1,25...1,30	1,04...1,05
Твердая глина	1,30...1,35	1,06...1,07
Скальные	1,35...1,40	1,08...1,15

при оценке емкости отвалов вскрышных пород с течением времени. Для этого рассматривают коэффициенты начального разрыхления и коэффициенты остаточного разрыхления пород. Ориентировочные величины этих коэффициентов для нескольких типов пород приведены ниже в табл. 3 [2].

Анализ этих данных показывает, что при долгом хранении (условно принято минимум 4 месяца) объем отвала (насыпи), сложенного песком и гравием за счет самоуплотнения уменьшается примерно на 10%, а сложенного скальными породами — на 25%.

Особенностью изменения состояния пород в результате их увлажнения (разрабатываемые породы практически всегда влажные) и последующего образования льда при отрицательных температурах является то, что вода при увлажнении пород располагается в порах, трещинах и других пустотах, изменяя объем пород не напрямую за счет прибавления своего объема, а косвенно, влияя на их набухаемость и, как отмечено на практике, разрыхляемость. То же самое имеет место и при замерзании воды. При этом надо иметь в виду, что во влажных и мерзлых горных породах, особенно в связных и рыхлых, коэффициенты разрыхления K_p и набухания $K_{наб}$ зависят, в том числе и от величины их влажности, а в мерзлых породах еще и от их температуры. Эти зависимости в ряде пород иногда

могут иметь довольно сложный вид. Например, такая мелкозернистая порода как песок до определенной величины влажности может уменьшать свой объем (появление водно-коллоидных связей способствует слипанию мелких песчинок в более крупные агрегаты), а при превышении этой величины — наоборот объем песка будет увеличиваться. Еще по более сложным зависимостям изменяются коэффициенты разрыхления и набухания при замерзании воды, особенно в связных породах, в которых процесс образования льда заканчивается при температурах значительно ниже 0 °С.

Набухание горных пород, как показывают данные табл. 4 [2] наиболее сильно проявляется в связных (глинистых) породах.

По данным табл. 4, при полном насыщении водой глинистых пород объем у них может увеличиться в 1,5..2,0 раза. Песчаники, алевролиты, аргиллиты и переслаивания этих пород набухают очень мало. Величина коэффициента набухания их, как правило, не превышает 0,8—1,0 об.%. Глинистые и другие слабосвязанные породы, залегающие главным образом вблизи земной поверхности подразделяют по величине свободного (без нагрузки) набухания на следующие классы: ненабухающие — менее 4 об.%, слабонабухающие — 4...10 об.%, средненабухающие — 10...15 об.%, сильнонабухающие — более 15 об.%.

Таблица 4

Коэффициенты набухания песчаноглинистых пород
Swelling coefficients of sand-and-clay rocks

Породы	Коэффициент набухания
Глины тяжелые вязкие	2,0–1,5
Глины обычные пластичные	1,5
Суглинки тяжелые	1,5–1,45
Суглинки средние	1,45–1,20
Суглинки легкие	1,20
Супеси средние	1,5
Супеси	1,15–1,05
Пески пылеватые	1,10
Пески глинистые	1,10–1,05
Пески	1,0

Практически не набухают при увлажнении при положительных температурах скальные породы. Однако при отрицательных температурах набухание этих пород в принципе возможно, так как в процессе замерзания воды суммарный объем влаги (незамерзшей воды и льда) увеличивается (удельный объем воды $v_v \approx 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$, а льда — $v_\lambda \approx 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$).

Следует отметить, что в горном деле и геологии с изучением процесса набухания пород, в настоящий момент сложилась довольно парадоксальная ситуация. Несмотря на важность этого процесса при оценке состояния разрабатываемых и складированных пород данных о влиянии величины их влажности на развитие процесса набухания практически нет. В качестве показателя, численно оценивающего способность пород к набуханию при увлажнении, причем только в области положительных температур, используется только коэффициент набухания (см. табл. 4), который определяется как относительное увеличение объема горной породы при ее полном увлажнении [3].

Как отмечено выше, изменение объемных характеристик горных пород в результате их разрушения, дополнительно го рыхления изначально рыхлых пород,

изменения влажности пород как в области положительных, так и отрицательных температур, времени нахождения в рыхлом состоянии может достигать довольно значительных величин. Соответственно это учитывается во многих процессах горного производства [1–14].

Так как в общем случае коэффициенты разрыхления могут зависеть не только от влажности пород и их температуры, а и от времени нахождения пород в разрыхленном состоянии, то для получения исходных данных, позволяющих более точно оценивать изменение объемных характеристик пород в соответствующем процессе, в идеале надо рассматривать коэффициенты разрыхления сухих K_p^s и влажных K_p^B горных пород в режиме реального времени для конкретных рассматриваемых условий:

$$K_p = \frac{V_{\text{сух.рых.п}}}{V_{\text{сух.п}}}; \quad K_p^B = \frac{V_{\text{вл.рых.п}}}{V_{\text{вл.п}}} \quad (1)$$

где $[K_p, K_p^B] = \text{дол. ед.}$

Кроме того, надо также рассматривать и коэффициенты набухания неразрыхленных $K_{\text{наб}}$ и рыхлых пород $K_{\text{наб}}^p$. Объем неразрыхленной влажной породы $V_{\text{вл.п}}$ связан с объемом сухой неразрыхленной породы $V_{\text{сух.п}}$ соответственно как:

$$V_{\text{вл.п}} = K_{\text{наб}} V_{\text{сух.п}} \quad (2)$$

где $K_{\text{наб}}$ — коэффициент набухания влажной неразрыхленной породы, дол. ед.

Взаимосвязь между $V_{\text{вл.рых.п}}$ и $V_{\text{сух.рых.п}}$ имеет аналогичный вид, но соответственно с другим коэффициентом пропорциональности:

$$V_{\text{вл.рых.п}} = K_{\text{наб}}^p V_{\text{сух.рых.п}} \quad (3)$$

где $K_{\text{наб}}^p$ — коэффициент набухания влажной рыхлой (разрыхленной) породы, дол. ед.

Величины коэффициентов K_p , K_p^b , $K_{\text{наб}}$ и $K_{\text{наб}}^p$ указываются обычно в долях единицы или в объемных процентах. Однако во влажных и мерзлых (в определенной степени тоже влажных) породах они имеют вполне конкретные полные размерности:

$$[K_p] = \text{м}^3 \text{сух.рых.п.} / \text{м}^3 \text{сух.п.};$$

$$[K_p^b] = \text{м}^3 \text{вл.рых.п.} / \text{м}^3 \text{вл.п.}$$

$$\text{и } \text{м}^3 \text{мер.рых.п.} / \text{м}^3 \text{мер.п.};$$

$$[K_{\text{наб}}] = \text{м}^3 \text{вл.п.} / \text{м}^3 \text{сух.п.}$$

$$\text{и } \text{м}^3 \text{мер.п.} / \text{м}^3 \text{сух.п.};$$

$$[K_{\text{наб}}^p] = \text{м}^3 \text{вл.рых.п.} / \text{м}^3 \text{сух.рых.п.}$$

$$\text{и } \text{м}^3 \text{вл.рых.п.} / \text{м}^3 \text{сух.рых.п.}$$

Учет этих полных размерностей в ряде случаев при использовании теории размерностей позволяет избежать возможных ошибок при получении некоторых взаимосвязей между соответствующими параметрами сухих и влажных неразрыхленных и рыхлых пород.

Изменение объема сухих пород соответственно происходит только за счет их разрыхления (разрушения), при этом коэффициент разрыхления этих пород K_p при положительных и отрицательных температурах одинаков (сухие породы при отрицательных температурах называются морозными породами). Влажные породы, находящиеся в неразрыхленном (неразрушенном) состоянии ($K_p = K_p^b = 1,0$) изменяют свой объем только в процессе своего увлажнения и последующего замерзания воды. Поэтому у этих пород учитывается только $K_{\text{наб}}$. У влаж-

ных рыхлых пород к процессу набухания присоединяется процесс разрыхления пород за счет их увлажнения и замерзания воды. Поэтому у этих пород учитываются K_p^b и $K_{\text{наб}}^p$.

Соответственно при $K_p = 1,0$ и $K_{\text{наб}} = 1,0$ порода является сухой неразрыхленной, при $K_p^b = 1,0$ и $K_{\text{наб}} > 1,0$ — влажной неразрыхленной, при $K_p > 1,0$ и $K_{\text{наб}} = 1,0$ сухой рыхлой, а при $K_p^b > 1,0$ и $K_{\text{наб}}^p > 1,0$ — влажной рыхлой.

Из (1), (2) и (3), вытекают взаимосвязи между объемами влажной рыхлой (разрыхленной) породы и сухой неразрыхленной:

$$V_{\text{вл.рых.п}} = K_{\text{наб}}^p V_{\text{сух.рых.п}} = K_{\text{наб}}^p K_p V_{\text{сух.п}} \quad (4)$$

$$V_{\text{вл.рых.п}} = K_p^b V_{\text{вл.п}} = K_p^b K_{\text{наб}} V_{\text{сух.п}} \quad (5)$$

Анализ (4) и (5) показывает, что

$$K_p K_{\text{наб}}^p = K_p^b K_{\text{наб}}$$

Данное равенство позволяет использовать для оценки изменения объема рыхлых горных пород в результате изменения их разрыхляемости, увлажнения и замерзания воды некий интегральный показатель

$$K_v = K_p K_{\text{наб}}^p = K_p^b K_{\text{наб}}$$

который в принципе можно назвать коэффициентом разрыхления-набухания. На практике очень трудно выделить по отдельности влияние K_p , K_p^b , $K_{\text{наб}}$ и $K_{\text{наб}}^p$ на величину K_v . Поэтому у влажных и мерзлых пород обычно экспериментально определяют непосредственно величину K_v . При этом о вкладе коэффициентов разрыхления и набухания в формирование величины K_v в основном приходится только предполагать. Полная размерность K_v в мерзлых и влажных породах соответственно будет:

$$[K_v] = [K_p^b K_{\text{наб}}] = \frac{\text{м}^3 \text{вл.рых.п.}}{\text{м}^3 \text{вл.п.}} \cdot \frac{\text{м}^3 \text{вл.п.}}{\text{м}^3 \text{сух.п.}} = \frac{\text{м}^3 \text{вл.рых.п.}}{\text{м}^3 \text{сух.п.}};$$

$$\begin{aligned}
 [K_V] &= [K_p K_{наб}^p] = \\
 &= \frac{\cancel{M^3 \text{сух.рых.п.}}}{M^3 \text{сух.п.}} \cdot \frac{M^3 \text{мер.рых.п.}}{\cancel{M^3 \text{сух.рых.п.}}} = \\
 &= \frac{M^3 \text{мер.рых.п.}}{M^3 \text{сух.п.}}.
 \end{aligned}$$

Таким образом, разница в полных размерностях рассмотренных выше коэффициентов K_p , $K_p^в$, $K_{наб}$, $K_{наб}^p$ и K_V заключается в изменении влажного (вл.) состояния пород на мерзлое (мер.), которое в определенной степени тоже влажное, так как не надо забывать, что влага во влажных породах — это вода, а в мерзлых — это лед и незамерзшая вода.

При наличии K_p или $K_p^в$ объем внешней пустотности $V_{вн.пуст}$ определяется довольно легко. Так в сухих породах имеем:

$$\begin{aligned}
 K_p &= \frac{V_{\text{сух.рых.п.}}}{V_{\text{сух.п.}}} = \frac{V_{\text{сух.п.}} + V_{\text{вн.пуст}}}{V_{\text{сух.п.}}}, \rightarrow \\
 \rightarrow K_p V_{\text{сух.п.}} &= V_{\text{сух.п.}} + V_{\text{вн.пуст}}, \rightarrow \\
 \rightarrow V_{\text{вн.пуст}} &= V_{\text{сух.п.}} (K_p - 1)
 \end{aligned} \quad (6)$$

Зная начальный K_V и остаточный $K_{V,ост}$ коэффициенты разрыхление-набухания можно довольно легко определить величину усадки рыхлых горных пород.

В ходе уплотнения рыхлых горных пород может уменьшаться не только объ-

ем внешней пустотности, а и объем кусков, слагающих эти породы, например, в результате их высыхания. Поэтому коэффициент усадки изначально влажных пород $K_{ус}$ необходимо определять следующим образом:

$$K_{ус} = \frac{V_{\text{нач.вл.рых.п.}} - V_{\text{ост.вл.рых.п.}}}{V_{\text{нач.вл.рых.п.}}} \quad (7)$$

где $V_{\text{нач.вл.рых.п.}}$, $V_{\text{ост.вл.рых.п.}}$ — объем влажной породы начального и остаточного разрыхления, то есть после уплотнения.

Величины $V_{\text{нач.вл.рых.п.}}$ и $V_{\text{ост.вл.рых.п.}}$ при известных K_V и $K_{V,ост}$ определяются довольно просто:

$$V_{\text{нач.вл.рых.п.}} = K_V V_{\text{сух.п.}}$$

$$\text{и } V_{\text{нач.вл.рых.п.}} \text{ и } V_{\text{ост.вл.рых.п.}} = K_{V,ост} V_{\text{сух.п.}}$$

Подставляя величины $V_{\text{нач.вл.рых.п.}}$ и $V_{\text{ост.вл.рых.п.}}$ в (7), получаем:

$$K_{ус} = \frac{K_V V_{\text{сух.п.}} - K_{V,ост} V_{\text{сух.п.}}}{K_V V_{\text{сух.п.}}} = 1 - \frac{K_{V,ост}}{K_V} \quad (8)$$

Соответственно величина $V_{\text{ост.вл.рых.п.}}$ будет:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{ост.вл.рых.п.}} &= \left(1 - 1 + \frac{K_{V,ост}}{K_V} \right) V_{\text{нач.вл.рых.п.}} = \\
 &= \frac{K_{V,ост}}{K_V} V_{\text{нач.вл.рых.п.}} \quad (9)
 \end{aligned}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раздел 2. Горнотехнические факторы. 21. Характеристики горных пород: http://www.voa89.ru/index.php%3Foption%3Dcom_content%26view%3Darticle%26id%3D1403 (дата обращения 16.01.2018).
2. Корнев С. А., Гадаев Н. Р., Плужник Г. Н. Сборник вспомогательных материалов для разработки пособия по рекультивации земель, нарушаемых в процессе разработки карьеров и строительства автомобильных дорог. — М.: Союздорпроект, 2000. — 122 с.
3. ГОСТ Р 50544-93. Породы горные. Термины и определения. Введен впервые; Введ. 31.03.93. Изд.-во стандартов, 1993. — 47 с.
4. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород: учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984. — 359 с.
5. Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1990. — 328 с.
6. Гальперин А. М., Зайцев В. С., Норватов Ю. А. Гидрогеология и инженерная геология: учебник для вузов. — М.: Недра, 1989. — 383 с.
7. Ржевский В. В. Процессы открытых горных работ: учебник для вузов. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Недра, 1974. — 520 с.

8. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ: учебник для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1985. — 471 с.

9. Горная энциклопедия. / Гл. ред. Е. А. Козловский; Ред. кол.: М.И. Агошков Н. К. Байбаков А. С. Болдырев и др. Т. 4. Ортин — Социосфера. — М.: Сов. энциклопедия, 1989. — 623 с.

10. Коваленко В. В., Рязанцев А. П. Обоснование параметров способа борьбы с пучением пород почвы в условиях угольных шахт: монография. — Днепропетровск: Национальный горный университет, 2013. — 119 с.

11. Franklin J. A. (Coordinator) Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 1979, Vol. 16, No.2, pp. 141–156.

12. Madsen F. T., Müller-Vonmoss M. The swelling behaviour of clay. Applied Clay Science 4, 1989, pp. 143–156.

13. Franklin J. A. A ring swell test for measuring swelling and shrinkage characteristics of rock // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 1984, Vol. 21, No.3, pp. 113–121.

14. Einstein H. Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 1989, Vol. 26, No.5, pp. 415–426. **МИС**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Янченко Геннадий Алексеевич — доктор технических наук, профессор, МГИ НИТУ «МИСиС».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2019. No. 2, pp. 206–213.

Coefficients of loosening and swelling of rocks

Yanchenko G.A., Doctor of Technical Sciences, Professor,

Mining Institute, National University of Science and Technology «MISS», 119049, Moscow, Russia.

Abstract. It is known that weak rocks feature bulking under disintegration or extra loosening. As a result, the majority of the physical properties of rocks change their values. The article shows that bulking of rocks depends on the nature of rock failure, genesis, moisture and ice contents, initial grain size compositions, as well as time of being in loose state, and other factors. In order to have more accurate data on the change in the volume of rocks, it is necessary to take into account the coefficient of loosening in dry and wet rocks, K_1 and K_1^w , and coefficient of swelling in unripped and ripped rocks, K_{sw} and K_{sw}^r , respectively, in real time. It is found that rocks, despite their condition, obey the equality $K_1 K_{sw}^r = K_1^w K_{sw}$. This equality is used as the basis for the integrated loosening–swelling factor proposed for the assessment of loose rock volume using experimental data.

Key words: rock, soil, loosening, moisture, swelling, shrinkage.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-206-213

REFERENCES

1. Razdel 2. Gornotekhnicheskie faktory. 21. Kharakteristiki gornykh porod [Section 2. Mining factors. 21. Characteristics of rocks], available at: http://www.voa89.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=3D1403 (accessed 16.01.2018).

2. Kornev S. A., Gadaev N. R., Pluzhnik G. N. *Sbornik vspomogatel'nykh materialov dlya razrabotki posobiya po rekul'tivatsii zemel', narushaemykh v protsesse razrabotki kar'erov i stroitel'stva avtomobil'nykh dorog* [Collection of supporting materials for the development of manuals on land reclamation, disturbed in the process of quarrying and road construction], Moscow, Soyuzdorproekt, 2000, 122 p.

3. *Porody gornye. Terminy i opredeleniya. GOST R 50544-93. Vveden vpervye; Vved. 31.03.93* [Rocks mountain. Terms and definitions. Introduced for the first time; 31.03.93], Moscow, Izd-vo standartov, 1993, 47 p.

4. Rzhveskiy V. V., Novik G. Ya. *Osnovy fiziki gornykh porod: uchebnik dlya vuzov, 4-e izd.* [Fundamentals of rock physics: Textbook for high schools, 4th edition], Moscow, Nedra, 1984, 359 p.

5. Lomtadze V. D. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva gornykh porod. Metody laboratornykh issledovaniy: Uchebnoe posobie dlya vuzov. 2-e izd.* [Physical and mechanical properties of rocks. Methods of laboratory research: Higher educational aid. 2nd edition], Leningrad, Nedra, 1990, 328 p.

6. Gal'perin A. M., Zaytsev V. S., Norvatov Yu. A. *Gidrogeologiya i inzhenernaya geologiya: uchebnik dlya vuzov* [Norvatov Hydrogeology and engineering geology: Textbook for high schools], Moscow, Nedra, 1989, 383 p.

7. Rzhevskiy V. V. *Protsessy otkrytykh gornyykh rabot: uchebnyk dlya vuzov*. 2-e izd. [Open-pit mining Processes: Textbook for high schools. 2nd edition], Moscow, Nedra, 1974, 520 p.

8. Nurok G. A. *Protsessy i tekhnologiya gidromekhanizatsii otkrytykh gornyykh rabot: uchebnyk dlya vuzov*, 3-e izd. [Processes and technology of dredging of surface mining: Textbook for high schools, 3rd edition], Moscow, Nedra, 1985, 471 p.

9. *Gornaya entsiklopediya*. Gl. red. Kozlovskiy, T. 4. Ortin — Sotsiosfera [Mountain encyclopedia. Kozlovskiy E.A. (Ed.), vol. 4. Ortin — Sociosphere], Moscow, Sov. entsiklopediya, 1989, 623 p.

10. Kovalenko V. V., Ryazantsev A. P. *Obosnovanie parametrov sposoba bor'by s pucheniem porod pochvy v usloviyakh ugol'nykh shakht*: monografiya [Substantiation of the parameters of the method of struggle rocks of soil in the conditions of coal mines: monograph], Днепропетровск, Dnepropetrovsk, Natsional'nyy gornyy universitet, 2013, 119 p.

11. Franklin J. A. (Coordinator) Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 1979, Vol. 16, No.2, pp. 141–156.

12. Madsen F.T., Müller-Vonmoss M. The swelling behaviour of clay. *Applied Clay Science* 4, 1989, pp. 143–156.

13. Franklin J. A. A ring swell test for measuring swelling and shrinkage characteristics of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 1984, Vol. 21, No.3, pp. 113–121.

14. Einstein H. Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 1989, Vol. 26, No.5, pp. 415–426.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗРЕЗОВ С АУТСОРСЕРАМИ ПРИ ВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ (2018, № 12, СБ 58, 20 с.)

Курбатов Дмитрий Сергеевич — аспирант, e-mail: s.popov@inbox.ru,

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

Установлена возрастающая роль предприятий открытой угледобычи, а также значимость аутсорсинга для проведения буровзрывных работ. Выявлены наиболее значимые признаки характеризующими организацию взаимодействия субъектов участвующих в проведении буровых работ на угольных разрезах. Установлено шесть типовых вариантов организации взаимодействия участников буровзрывных работ на угледобывающих разрезах. Разработан алгоритм пошаговой процедуры повышения эффективности организации взаимодействия угледобывающих разрезов и аутсорсеров при проведении буровзрывных работ. Обоснован критерий оценки эффективности организации взаимодействия разрезов и аутсорсеров сформированный на основе соотношения суммы затрат на проведение буровзрывных работ с потенциальным ущербом от нарушения плановых графиков выполнения работ для оцениваемого и базового вариантов работ. Разработана экономико-математическая модель для оценки вариантов организации взаимодействия разрезов и аутсорсеров при выполнении буровзрывных работ на угледобывающих разрезах.

TOOLS FOR ASSESSMENT AND SELECTION OF EFFECTIVE OPTIONS FOR ORGANIZATION OF INTERACTION OF SECTIONS WITH OUTSOURCERS IN CONDUCT OF DRILLING AND BLASTING

Kurbatov D.S., Graduate Student, Russian State Geological Prospecting University

named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia, e-mail: s.popov@inbox.ru.

The increasing role of open-pit coal mining enterprises is established, as well as the importance of outsourcing for drilling and blasting operations. The most significant features characterizing the organization of interaction of subjects participating in drilling operations on coal mines are revealed. Six standard variants of the organization of interaction of participants of drilling and blasting operations on coal-mining sections are established. The algorithm of step-by-step procedure of increase of efficiency of the organization of interaction of coal-mining sections and outsourcers during drilling and blasting is developed. The criterion of estimation of efficiency of the organization of interaction of sections and outsourcers formed on the basis of the ratio of the amount of costs for drilling and blasting operations with potential damage from violation of the planned schedules of work for the estimated and basic variants of work is proved. The economic-mathematical model of estimation of variants of the organization of interaction of cuts and outsourcers at performance of drilling and blasting works on coal-mining sections is developed.