

УДК 622.23.05:621.9.014.2

**В.Г. Красник**, д-р техн. наук  
(ГП «НТЦ «Углеинновация»)**ВЛИЯНИЕ УГЛОВОЙ ЗОНЫ ЗАБОЯ  
НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОРОДЫ ВНЕДРЕНИЮ  
ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА****В.Г. Краснік**, д-р техн. наук  
(ДП «НТЦ Вуглеінновація»)**ВПЛИВ ВУГЛОВОЇ ЗОНИ ВИБОЮ НА ОПІР ПОРОДИ ВКОРІНЕН-  
НЮ ПОРОДОРУЙНУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ****V.G. Krasnik**, D.Sc. (Tech.)  
(SP «STC «Ugleinnovacija»)**INFLUENCE ANGULAR ZONE OF BREAST FOR THE RESISTANCE OF  
ROCK TO INTRUSION OF ROCK-WRECKING INSTRUMENT**

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы разрушения горных пород породоразрушающим инструментом при наличии вертикальной поверхности обнажения. Аналитически установлен характер изменения податливости породы в зависимости от удаления от стенки скважины (контактная задача в плоской постановке для упругого основания скважины при воздействии на забой скважины системы из двух штампов, расположенных относительно оси симметрии скважины). Показано, что характерно увеличение внедрения системы штампов вблизи оси симметрии скважины (эффект взаимного влияния) и его резкое снижение вблизи стенок скважины. Эти эффекты проявляются тем сильнее, чем меньше отношение ширины штампа к размеру скважины. Полученные зависимости подтверждены результатами экспериментов по определению влияния угловой зоны забоя на сопротивление породы внедрению. Полученные теоретические зависимости качественно отражают реальный характер изменения сопротивления забоя при наличии вертикальной поверхности обнажения. Это позволяет учесть ее влияние на износ периферийных резцов в математических моделях износа породоразрушающего инструмента путем увеличения на коэффициент модуля упругости породы в зоне работы периферийного резца.

**Ключевые слова:** породоразрушающий инструмент, поверхность обнажения, долото с плоским торцом, сопротивление породы внедрению.

Известно [1-2], что при разрушении горных пород породоразрушающим инструментом при наличии вертикальной поверхности обнажения физико-механические свойства породы существенно изменяются по мере удаления от поверхности обнажения. Экспериментально установлено [1], что при движении двух прямоугольных пуансонов, расположенных с уступом, равным ширине пуансона, наблюдается двухкратное снижение удельного расхода энергии по сравнению со случаем, когда оба пуансона установлены в одной плоскости.

При бурении скважин ступенчатыми долотами сопротивление породы по мере удаления от поверхности обнажения возрастает по гиперболической зависимости. Это объясняется образованием в забое кольцевых уступов, порода в которых за счет появления дополнительной поверхности обнажения обладает пониженным сопротивлением разрушению.

Характер понижения сопротивления породы кольцевого уступа в этом случае может быть описан эмпирической зависимостью :

$$\Psi = 1 - \alpha/\beta + X,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - коэффициенты пропорциональности, изменяющиеся в зависимости от физико-механических свойств породы и геометрических размеров кольцевого уступа;  $X$  - расстояние рассматриваемой точки кольцевого уступа от его вертикальной поверхности.

В случае бурения долотами с плоским торцом сопротивление породы забоя разрушению по мере удаления от центра возрастает в соответствии с уравнением [6]

$$\sigma = \sigma_0 e^{\beta r},$$

где  $\sigma_0$  — сопротивление породы разрушению в центре забоя;  $\beta$  — параметр, зависящий от свойств породы, формы забоя и условий разрушения;  $r$  — отношение радиуса в точке приложения нагрузки к диаметру скважины.

Известные соотношения, определяющие изменение сопротивления породы разрушению и ее податливости в зависимости от удаления от центра забоя, носят эмпирический характер и для их применения требуется проведение предварительных экспериментов. В то же время характер изменения податливости породы в зависимости от удаленности от стенки скважины может быть установлен аналитическим путем.

Для оценки влияния стенки скважины на сопротивление породы внедрению резцов бурового инструмента рассмотрим контактную задачу в плоской постановке для упругого основания скважины, представленной на рис. 1.

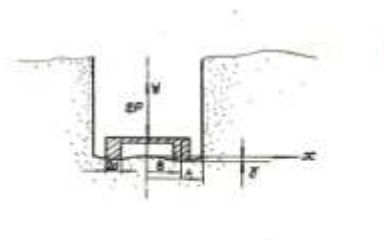


Рисунок 1 – Расчетная схема внедрения бурового инструмента.

Пусть на забой скважины воздействует система из двух штампов, расположенных симметрично относительно оси симметрии скважины. Ширина каж-

дого штампа  $2a$ , а расстояние между ними  $2s$ . На систему штампов действует погонная нагрузка  $2P$ .

Граничные условия на поверхности упругого тела имеют вид:

$$\tau_{xy} = 0, \quad \partial u / \partial y = 0, \quad x = \pm h, \quad y > 0,$$

$$\sigma_y = \tau_{xy} = 0, \quad y = 0,$$

$$|x| < s - a, \quad s + a < |x| < h, \quad (1)$$

$$\tau_{xy} = 0, \quad v = \gamma, \quad y = 0, \quad s - a < |x| < s + a,$$

где  $\gamma$  - внедрение штампа, имеющего плоское основание.

Поставленная задача может быть решена методом сведения к задаче сопряжения [7]. Для определения двух аналитических функций  $\Phi(z)$  и  $\Omega(z)$   $z = x + iy$ , связанных, с напряжениями  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  и перемещениями  $u$  и  $v$  в произвольной точке  $(x, y)$  с помощью соотношений:

$$\begin{aligned} \sigma_x + i \tau_{xy} &= \Phi(z) + \overline{\Phi(z)} - \overline{\Omega(z)} - (z - \bar{z}) \overline{\Phi'(z)}, \\ \sigma_y - i \tau_{xy} &= \Phi(z) + \overline{\Phi(z)} + \overline{\Omega(z)} + (z - \bar{z}) \overline{\Phi'(z)}, \\ 2\mu \left[ \frac{\partial u}{\partial x} + i \frac{\partial v}{\partial x} \right] &= \chi \Phi(z) - \overline{\Phi(z)} - \overline{\Omega(z)} - (z - \bar{z}) \overline{\Phi'(z)}, \\ 2\mu \left[ \frac{\partial v}{\partial y} - i \frac{\partial u}{\partial y} \right] &= \chi \Phi(z) - \overline{\Phi(z)} + \overline{\Omega(z)} - (z - \bar{z}) \overline{\Phi'(z)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\chi = 3 - 4\nu$ ,  $\mu$  и  $\nu$  — модуль сдвига и коэффициент Пуассона упругого основания), с учетом граничного условия (1) и (2) имеем следующую краевую задачу:

$$\begin{aligned} \operatorname{Im} \Phi &= \operatorname{Im} \Omega = 0 \quad \text{при } x = \pm h, \quad y > 0, \\ \operatorname{Im} \Phi &= 0 \quad \text{при } y = 0, \quad s - a < |x| < s + a, \\ \operatorname{Im} \Omega &= 0 \quad \text{при } y = 0, \quad |x| < h, \\ \operatorname{Re} [2\Phi + \Omega] &= 0 \quad \text{при } y = 0, \quad |x| < s - a, \quad s + a < |x| < h. \end{aligned} \quad (3)$$

Кроме того, при больших значениях  $z$  имеют место соотношения

$$\Phi(z) = \frac{Pi}{2\pi z} + O(z^{-2}), \quad \Omega(z) = O(z^{-1}).$$

Из (2) и (3) следует, что

$$\Omega(z) \equiv 0. \quad (4)$$

Для определения функции  $\Phi(z)$  применим конформное отображение рассматриваемой области, занятой упругим телом, на верхнюю полуплоскость  $Im \zeta > 0$  ( $\zeta = \xi + i\eta$ ).

$$z = \frac{2hi}{\pi} [\zeta \sqrt{\zeta^2 - 1} - \ln(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})] - h. \quad (5)$$

Тогда аналитическая функция  $\Phi_1(\zeta) = \Phi(z(\zeta))$  является решением следующей задачи сопряжения:

$$\begin{aligned} Im \Phi_1 &= 0, & 1 < |\xi| < \infty, \\ Re \Phi_1 &= 0, & B < |\xi| < 1, \\ Im \Phi_1 &= 0, & A < |\xi| < B, \\ Re \Phi_1 &= 0, & |\xi| \leq A \end{aligned}$$

и имеет вид [8]:

$$\Phi_1(\zeta) = \frac{P\zeta}{4h\sqrt{(\zeta^2 - 1)(\zeta^2 - B^2)(\zeta^2 - A^2)}} \quad (6)$$

При выводе (6) принято во внимание поведение на бесконечности функции

$$\Phi_1(\zeta) = \frac{P}{2h\zeta^2} + O(\zeta^{-4}).$$

Значения  $A$  и  $B$  в (6) находятся из решения уравнений:

$$\begin{aligned} \arccos A - A\sqrt{1-A^2} &= \frac{\pi}{2h} (h - s + a), \\ \arccos B - B\sqrt{1-B^2} &= \frac{\pi}{2h} (h - s - a). \end{aligned} \quad (7)$$

Соотношения (2), (4) - (7) позволяют определить напряженно-деформированное состояние внутри упругого тела и на его границе.

Для сравнения приведем решение контактной задачи для рассматриваемой системы двух штампов, внедряющихся в упругую полуплоскость, полученное методом сведения к задаче сопряжения [8]:

$$\Phi^*(z) = \frac{iPz}{4h\sqrt{[z^2 - (a+s)^2][z^2 - (s-a)^2]}},$$

которое будет использовано в дальнейшем.

Для определения податливости основания получим выражение для внедрения штампа относительно угловой точки забоя  $\gamma_n = v(s+a) - v(h)$ . Воспользовавшись (2), имеем

$$\gamma_n = \int_h^{s+a} \frac{dv}{dx} dx = \frac{\chi+1}{2\mu} \int_h^{s+a} \text{Im}\Phi(x) dx ;$$

произведя в последнем интеграле замену переменных и воспользовавшись соотношениями (5), (6), приходим к выражению:

$$\gamma_h = \frac{\chi+1}{2\mu} \int_{-1}^{-B} \text{Im}\Phi_1(\zeta) x'(\zeta) d\zeta = \frac{P(\chi+1)}{2\mu\pi} \int_{-1}^{-B} \frac{\zeta d\zeta}{\sqrt{(\zeta^2 - B^2)(\zeta^2 - A^2)}} .$$

После вычисления интеграла окончательно будем иметь:

$$\gamma_h = -\tilde{\gamma}_h \frac{P(\chi+1)}{2\mu\pi}, \quad \tilde{\gamma}_h = \ln \frac{\sqrt{1-B^2} + \sqrt{1-A^2}}{\sqrt{B^2 - A^2}}, \quad (9)$$

где  $A$  и  $B$  являются функциями  $s, a, h$ .

Графики зависимостей  $\tilde{\gamma}_h$  ( $s/h$ ) при разных значениях  $a/h$  приведены на рис. 2 (кривые 1-5 построены для значений  $a/h$ , равны 0,25; 0,20; 0,15; 0,10; 0,05 соответственно). Для кривых характерно увеличение внедрения системы штампов вблизи оси симметрии скважины (эффект взаимного влияния) и его резкое снижение вблизи стенок скважины. Как видно из рис. 2, эти эффекты проявляются тем сильнее, чем меньше величина  $a/h$ . При уменьшении размера  $a$  штампа податливость основания, характеризуемая параметром  $\tilde{\gamma}_h$ , возрастает.

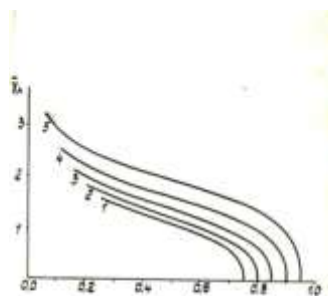


Рисунок 2 - Зависимость изменения податливости породы от величины отношения  $a/h$ .

Исследуем более подробно характер изменения внедрения системы при сближении штампов, т. е. вблизи оси симметрии скважины (влияние стенки скважины при этом минимально). Будем предполагать, что размер штампа  $a$  мал по сравнению с размером скважины  $h$ . Считая, что  $A^2 \ll 1, d^2 \ll 1$  ( $d = B - A$ ), из (9) получим

$$\tilde{\gamma}_h = 1/2 \ln (d (d + 2A) / 4).$$

При тех же предположениях из соотношения (7) следует  $d = \pi a / 2h$ ;  $A = \pi (s - a) / 4h$ , в силу чего окончательно будем иметь  $s \geq a$ .

$$\tilde{\gamma}_h = \ln \frac{4}{\pi} + \frac{1}{2} \ln \frac{h}{a} + \frac{1}{2} \ln \frac{h}{s}. \quad (10)$$

Асимптотическое выражение функции  $\tilde{\gamma}_h (s/h)$  (10) удовлетворительно описывает вид кривых 1-5 (рис. 2) вблизи оси симметрии скважины.

Из соотношения (10) подстановкой  $s_1 = a/2$ ;  $a_1 = a/2$  можно получить выражение для внедрения  $\gamma_h$  штампа ширины  $2a$  ( $a \ll h$ ), расположенного в центре скважины, на который действует погонная нагрузка  $P$ ,

$$\gamma_h = \frac{(1 + \chi)}{2\mu} \frac{P}{\pi} \ln \frac{\pi a}{8h}. \quad (11)$$

Для исследования характера изменения податливости основания вблизи стенки скважины определим внедрение  $\tilde{\gamma}_0$  системы штампов относительно точки, расположенной на оси симметрии скважины. Необходимость такого рассмотрения объясняется тем обстоятельством, что на характер поведения кривых  $\tilde{\gamma}_h(s/h)$  (см. рис. 2) вблизи стенки скважины оказывает влияние не только близость угловой точки забоя, но и близость самой точки отсчета. (Необходимость рассмотрения относительных внедрений является специфической чертой плоской задачи.)

Воспользовавшись (2) и (6), будем иметь

$$\tilde{\gamma}_0 = v (s - a) - v (0) = \frac{P(\chi + 1)}{2\mu\pi} \int_0^A \frac{\zeta d\zeta}{(B^2 - \zeta^2)(A^2 - \zeta^2)}.$$

После вычисления интеграла окончательно получим

$$\tilde{\gamma}_0 = -\tilde{\gamma}_0 \frac{P(\chi + 1)}{2\mu\pi}, \quad \tilde{\gamma}_0 = \frac{1}{2} \ln \frac{B + A}{B - A}, \quad (12)$$

где  $A$  и  $B$  находятся из соотношений (7).

Определим, кроме того, относительное внедрение  $\tilde{\gamma}_0^* = v^* (s - a)$  —  $v_0^*$  в аналогичной контактной задаче для системы двух штампов и упругой полуплоскости, которое на основании соотношения (8) имеет вид

$$\gamma_{0}^{*} = \frac{P(\chi + 1)}{2\mu\pi} \int_0^{s-a} \frac{x dx}{[(a+s)^2 - x^2][(s-a)^2 - x^2]}$$

или окончательно

$$\gamma_{0}^{*} = \frac{1}{2} \ln \frac{s}{a} . \quad (13)$$

Сравнение этих решений, приведенное на рис. 3 ( $\Delta\tilde{\gamma} = \tilde{\gamma}_0 - \tilde{\gamma}_0^{*}$ ) для разных значений параметра  $a/h$  (для кривых 1-3  $a/h$  равно 0,25; 0,15 и 0,05 соответственно), позволяет определить влияние стенки скважины на изменение податливости основания для штампов разных размеров.

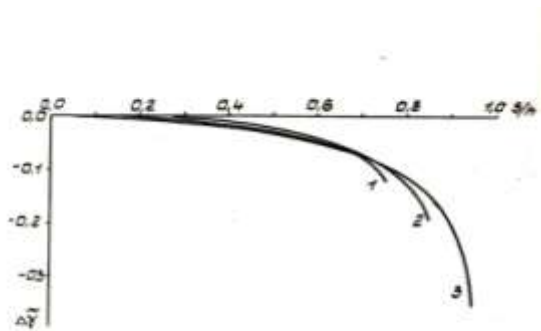


Рисунок 3 - Зависимость относительного внедрения  $\tilde{\gamma}_0$  от различных значений параметра  $a/h$ .

Эти результаты могут быть использованы при анализе податливости забойной зоны вблизи стенки скважины при внедрении в нее породоразрушающего инструмента.

Распределение давления на отдельном резце в зависимости от удаленности от стенки скважины может быть установлено на основании зависимостей (2), (5), (6) и имеет вид

$$p(\xi) = \frac{p\xi}{2h\sqrt{(1-\xi^2)(B^2-\xi^2)(\xi^2-A^2)}} ,$$

где  $\xi$  определяется из уравнения

$$1 - \frac{x}{h} = \frac{2}{\pi} (\arccos \xi - \xi\sqrt{1-\xi^2}) . \quad (14)$$

В частности, когда резец примыкает к стенке скважины, т. е.  $s + a = h$ , будем иметь

$$p(\xi) = \frac{p\xi}{2h(1-\xi^2)\sqrt{(\xi^2 - A^2)}} ; \quad p(\xi) = \frac{p(\xi)h}{P}. \quad (15)$$

Как следует из (14) и (15), контактное давление под штампом, расположенным у стенки скважины, имеет следующий порядок особенности в угловых точках штампа:

$$p = (1-\Delta) = 0(\Delta^{-2/3}), \quad p = (1-2a/h + \Delta) = 0(\Delta^{-1/3}).$$

График функции  $\tilde{p}(1-x/h)$ , рассчитанной по формулам (14) и (15) при  $a/h = 0,1$ , приведен на рис. 4 сплошной линией, пунктирной для сравнения изображен график распределения давления под штампом шириной  $2a$ , внедряемым в упругую полуплоскость [9].

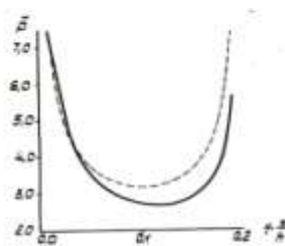


Рисунок 4 - График функции  $\tilde{p}(1-x/h)$ , при  $a/h = 0,1$  (сплошная линия), и график распределения давления под штампом шириной  $2a$ , внедряемым в упругую полуплоскость согласно работе [9] (пунктирная линия).

Несимметрия распределения давления под резцом, расположенным вблизи стенки скважины, безусловно, повлечет за собой неравномерность его изнашивания при бурении (более быстрый износ примыкающей к стенке части резца).

Качественным подтверждением полученных зависимостей могут служить результаты экспериментов по определению влияния угловой зоны забоя на сопротивление породы внедрению.

Определяли твердость, предел текучести и податливость образцов на установке УМГП-3 методом вдавливания плоского цилиндрического штампа, разработанным проф. Л. А. Шрейнером [10].

В качестве образцов породы использовали блоки литографского камня и белого мрамора, в которых выполнялись выемки цилиндрической формы диаметром 60 и глубиной 20 мм, имитирующие скважину. При этом механические характеристики образцов определяли на плоском торце выемки



на расстоянии 2,5; 5; 10; 15; 20; 25 и 30 мм от угловой зоны. В экспериментах использовался цилиндрический штамп диаметром 1,6 мм.

Данные экспериментов показывают, что механические свойства породы существенно изменяются по торцу скважины в зависимости от удаленности от угловой зоны забоя. При этом твердость литографского камня в центре на 14% ниже твердости породы на расстоянии 2,5 мм от вертикальной стенки. Для белого мрамора снижение твердости на том же расстоянии составляет до 30%.

На рис.5 представлены графики изменения податливости  $\delta$  забоя в зависимости от удаленности  $s$  от центра скважины для коэлгинского мрамора (кривая 1) и литографского камня (кривая 2), показывающие, что полученные теоретические зависимости (см.рис.3) качественно отражают реальный характер изменения податливости забоя вблизи стенки скважины.

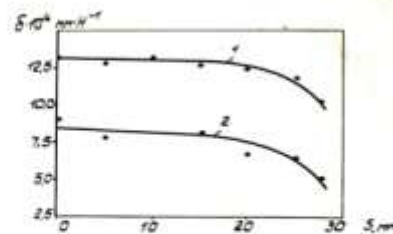


Рисунок 5 - Изменение податливости  $\delta$  забоя в зависимости от удаленности  $s$  от центра скважины для коэлгинского мрамора (1) и литографского камня (2).

Эти изменения связаны с тем, что при разрушении забоя вблизи стенки скважины часть трещин, образующихся в нижележащих слоях породы после прохождения бурового инструмента, уходит вглубь породного массива, не пересекаясь с системой трещин, возникающих от прохождения соседнего резца, что является одной из причин повышенного износа инструмента в угловой зоне забоя.

Таким образом, полученные теоретические зависимости качественно отражают реальный характер изменения сопротивления забоя при наличии вертикальной поверхности обнажения. Это позволяет учитывать ее влияния на износ периферийных резцов в математических моделях износа породоразрушающего инструмента путем увеличения на коэффициент модуля упругости породы в зоне работы периферийного резца.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владиславлев, В.С. Разрушение горных пород при бурении скважин / В.С.Владиславлев. -М.: Гостоптехиздат, 1958. – 241 с.
2. Кучерявый, Ф.И. Пути повышения эффективности работы коронок / Ф.И. Кучерявый. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 145 с.

3. Вовчанский, И.Ф. Породоразрушающий инструмент на основе славутича для бурения глубоких скважин. / И.Ф.Вовчанский – Киев: Наукова думка, 1979. -205 с.
4. Жлобинский, Б.А. Динамическое разрушение горных пород при вдавлинии. / Б.А. Жлобинский - М.:Недра,1970. -151 с.
5. Арцимович, Г.В. Механофизические основы создания породоразрушающего инструмента. / Г.В.Арцимович. – Новосибирск: Наука,1985.- 268 с.
6. Кагарманов, Н.Ф. Научные основы проектирования долот скальвающего действия / Н.Ф.Кагарманов // Технология бурения и закачивания скважин в Башкирии.– Уфа: БашНИПИнефть, 1983. – С.52-60.
7. Черепанов, Г.П. Об одном классе задач плоской теории упругости / Г.П. Черепанов // Известия Академии наук СССР. ОТН. Механика и машиностроение. -1962. - № 4. С.61-70.
8. Мухелишвили, Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. / Н.И. Мухелишвили. – М.: Наука, 1966.- 707 с.
9. Галин, Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. / Л.А.Галин. - 1980.- 304 с.
10. Шрейнер, Л. А. Физические основы механики горных пород. / Л.А. Шрейнер. – М.:Гостоптехиздат, 1950. - 212 с.

#### REFERENCES

1. Vladyslavlev V.S. (1958), *Razrusheniye gornich porod pri burenii skvazin* [Destruction of mountain breeds at the boring drilling of mining holes], Gostoptechizdat, Moscow, USSR.
2. Kucherjavyj F.I. (1960), *Puti povisheniya effektivnosti raboti koronok* [Ways of increase of efficiency of work of crowns], Gostoptechizdat, Moscow, USSR.
3. Vovchansky I.F. (1979), *Porodorazrushajushchij instrument na osnove «Slavuticha» dlja burenja glubokih skvazin* [Rock-destroy instrument on the basis of «Slavutyeh» for the boring drilling of deep mining holes.], Naukova dumka, Kiev, Ukraine/
4. Zlobynsky B.A. (1970), *Dynamicskoje razruseniye gornich porod pri vдавливании* [Dynamic destruction of mountain breeds at pressing.], Nedra, Moscow, USSR.
5. Artsimovich G.V. (1985), *Mechanofyzicheskiye osnovy sozdaniya porodorazrushajushchego instrumenta* [Mechanical and physical bases of rock-destroy instrument], Nauka, Novosybirsk, USSR.
6. Kagarmanov N.F. (1983), «Scientific bases projection instruments of chipping effect », *Technologija bureniya s zakachivabiya skvazin v Bashkirii*, BashNIPineft, Ufa, pp. 52-60.
7. Cherepanov, G.P. (1962), «About one class of tasks of flat theory of resiliency», *News Academy of sciences of USSR, STS, Mechanics and engineering industry*, no 4, pp. 61-70.
8. Mushekysvily N.I. (1966)*Nekotorije osnovnije zadacy matematicheskoy teorii uprugosty* [Some basic tasks of mathematical theory of resiliency], Nauka, Moscow, USSR.
9. Galin L.A. (1980). *Kontaktnije zadachi teorii uprugosty s vyazkouprugosty* [Contact tasks of theory of resiliency and viscous-resiliency], Moscow, USSR.
10. Shreyner, L.A. (1950) *Fyzicheskije osnovy mekhaniky gornich porod* [Physical bases of mechanics of mountain breeds.], Gostoptechizdat, Moscow, USSR.

#### Об авторе

**Красник Вячеслав Григорьевич**, доктор технических наук, Государственное предприятие «Научно-технический центр «Углеинновация», заместитель генерального директора, Киев, Украина, vyacheslav.krasnik@mev.energy.gov.ua

#### About the author

**Krasnik Vjacheslav Grigorjevich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), State enterprise «Scientific and technical center «Ugleyinnovatsyya», deputy of director general, Kiev, Ukraine, vyacheslav.krasnik@mev.energy.gov.ua

**Анотація.** Розглянуті питання руйнування гірських порід породоруйнівним інструментом за наявності вертикальної поверхні оголення. Аналітично встановлений характер зміни податливості породи залежно від віддалення від стінки свердловини (контактна задача в плоскій постановці для пружної підстави свердловини при дії на забій

свердловини системи з двох штампів, розташованих щодо осі симетрії свердловини). Показано, що характерним є збільшення вкорінення системи штампів поблизу осі симетрії свердловини (ефект взаємного впливу) і його різке зниження поблизу стінок свердловини. Ці ефекти виявляються тим сильніше, чим менше відношення ширини штампів до розміру свердловини. Одержані теоретичні залежності якісно відображають реальний характер зміни опору забою за наявності вертикальної поверхні оголення. Це дозволяє врахувати її вплив на знос периферійних різців в математичних моделях зносу породоруйнівального інструменту шляхом збільшення на коефіцієнт модуля пружності породи в зоні роботи периферійного різця.

**Ключові слова:** породоруйнівальний інструмент, поверхня оголення, долото з плоским торцем, опір породи вкоріненню.

**Abstract.** Problems of rock breaking by rock-breaking tools when there is a vertical surface of the seam outcrop are considered. Character of the rock yielding changes depending on distance from the hole wall was analytically defined (2D contact task for the rigid foundation of the hole under impact of two-stamp system [the stamps are symmetrically located in the hole axis] on the borehole bottom).

The author states that it is characteristic for the stamp system cutting-in to be increased nearby the hole symmetry axis (effect of mutual impact) and to be sharply declined nearby the hole walls. These effects are the stronger the less is ratio of the stamp width to the hole size. These dependencies were proved by experiments on defining dependencies between angular zone of the face and rock resistance to intrusion. The obtained theoretical dependencies qualitatively reflect real character of the face resistance changes when there is a vertical surface of the seam outcrop. The findings allows to take into account impact of vertical surface of the seam outcrop on wear of peripheral cutters in mathematical models of the rock-breaking tools wear by way of increasing coefficient of the rock hardness module in zone of peripheral cutter operation.

**Keywords:** rock-breaking tool, surface of the seam outcrop, bit with flat butt end, rock resistance to intrusion.

*Стаття поступила в редакцію 15.02.2013*

УДК 622.648.01 – 9:621.643.29

**Е.В. Семененко**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)  
**Л.Г. Татарко**, магистр  
(УГХТУ МОН Украины)

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА  
В ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБАХ ПРИ СУЩЕСТВЕННОЙ  
НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛОТНОСТИ И КРУПНОСТИ  
ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ЧАСТИЦ**

**Є.В. Семененко**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.  
(ИГТМ НАН України)  
**Л.Г. Татарко**, магістр  
(УДХТУ МОН України)

**РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГИДРОТРАНСПОРТУ У ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБАХ ПІД ЧАС СУТТЄВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ЩІЛЬНОСТІ І КРУПНОСТІ ЧАСТОК, ЯКІ ТРАНСПОРТУЮТЬСЯ**

**Ye.V. Semenenko**, D. Sc. (Tech.), Senior Reseacher  
(IGTM NAS of Ukraine)  
**L.G. Tatarko**, M.S (Tech.)  
(USU of Chemical Technology)

**CALCULATION OF HYDROTRANSPORT IN POLYETHYLENE PIPES  
AT A SUBSTANTIALLY NONUNIFORM DENSITY AND SIZE OF THE  
TRANSPORTED PARTICLE**

**Аннотация.** На основе анализа экспериментальных данных ряда авторов и анализа соответствующих методик расчета параметров гидротранспорта предложено разбиение на фракции частиц одного класса крупности с существенно различающимися плотностями с учетом их гидравлической крупности, что обеспечивает адекватность зависимостей для определения критической скорости и гидравлического уклона и позволяет повысить точность расчетов.

Показано, что частицы тонких фракций, имеющие относительную плотность более 4, обтекаются в режиме, который не позволяет рассматривать их смесь с водой как однородную жидкость с более высокой плотностью. Результатом является разделение сырья на тонкие и мелкие фракции при определении параметров гидротранспорта производить не по их геометрическому размеру, а по их гидравлической крупности.

**Ключевые слова:** гидротранспорт, полиэтиленовые трубы, гидравлическая крупность, гидравлический уклон, критическая скорость

Опыт эксплуатации гидротранспортных комплексов Вольногорского горно-металлургического комбината, Иршанского, Центрального и Южного горно-обогатительных комбинатов свидетельствует, что существующие методики расчета неадекватно описывают зависимости критической скорости и гидравлического уклона при наличии в транспортируемом материале частиц крупностью менее 0,15 мм с существенной разницей в плотности.