УДК 622.831.3.001.5

**Л.М. Васильев, д-р техн. наук, проф.,**
**Д.Л. Васильев, канд. техн. наук,**
**К.В. Цепков, А.А. Потапенко**

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: office.igtm@nas.gov.ua

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЁТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СЖАТИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД

**L.M. Vasilyev, Dr. Sci. (Tech), Professor,**
**D.L. Vasilyev, Cand. Sci. (Tech),**
**K.V. Tsepkov, A.A. Potapenko**

N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: office.igtm@nas.gov.ua

# THE IMPROVEMENT OF METHOD OF COMPUTATION OF THE CONTACT NORMAL TENSIONS DISTRIBUTION AT COMPRESSION OF ROCK SAMPLES

Основным параметром – константой, характеризующей механические свойства горных пород, является сопротивляемость их образца одноосному раздавливанию. Определяется этот параметр – предел прочности – на специальных прессах, которые имеются в специализированных институтах. Однако предприятиям нужен оперативный расчётный метод определения параметра прочности пород. Исходной базой разработки этого метода является знание закономерностей распределения контактных напряжений.

**Цель.** Научное обоснование выбора закономерностей распределения контактных напряжений, обеспечивающих аналитическое определение прочности образцов горных пород, адекватно соответствующих экспериментальным данным.

**Методы.** Наиболее обоснованным методом расчёта контактных напряжений является метод Л. Прандтля, применяемый при обработке металлов давлением. В отличие от металлов, горные породы обладают внутренним трением, что потребовало усовершенствования этого метода. Поэтому в работе проведён анализ различных методов расчёта контактных напряжений, основанных на определении соотношений между производными нормальных горизонтальных и вертикальных напряжений, на совместном решении двух дифференциальных и одного алгебраического уравнений.

**Результаты.** Получены формулы для расчёта закономерностей распределения нормальных и касательных напряжений на контактной поверхности образцов горных пород.

**Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие методы расчёта закономерностей распределения контактных напряжений, приведена оценка их достоверности по сопоставлению расчётных пределов прочности образцов горных пород с эталонными данными.

**Практическая значимость.** Рекомендованные методы с использованием приёмов теории линий скольжения позволяют определить предел прочности и разработать метод построения диаграмм „напряжение – продольная деформация“ без привлечения дорогостоящего прессового оборудования. Практическая значимость заключается в использовании трёх показателей горных пород (сопротивляемость сдвигу, коэффициенты контактного и внутреннего трения пород), которые простыми способами могут быть установлены экспериментально непосредственно в условиях предприятий и оперативно ими использованы при расчёте предела прочности.

**Ключевые слова:** *контактные напряжения, сжатие образцов, предел прочности, горная порода*

**Постановка задачи.** Основным параметром – константой, характеризующей механические свойства горных пород, является сопротивляемость их образца правильной геометрии одноосному раздавливанию.



В наибольшей степени аналитические способы расчёта предельных напряжений при раздавливании образцов из твёрдых материалов разработаны в теории обработки металлов давлением М.В. Сторожёвым и Е.А. Поповым, при соблюдении закона Кулона-Амонтона

$$\tau_k = f\sigma_y ,$$

$$\tau_k = f\sigma_y ,$$

где $\tau_k$ контактное касательное напряжение; $f$ – коэффициент внешнего трения; $\sigma_y$ – нормальное напряжение на одноосное сжатие.

Определение распределения контактных напряжений (рис. 1) при деформировании материалов принято осуществлять на основании двух дифференциальных уравнений

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial\sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y}=0; \\ \frac{\partial\sigma_y}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x}=0 \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

и одного алгебраического уравнения предельного состояния

$$\sigma_x - \sigma_y = 2k\sqrt{1-\frac{\tau_{xy}^2}{k^2}} , \qquad (2)$$

где $\sigma_y$, $\sigma_x$ и $\tau_{xy}$ – продольные и поперечные нормальные и касательные напряжения в материале; $k$ – сопротивление материала сдвигу.

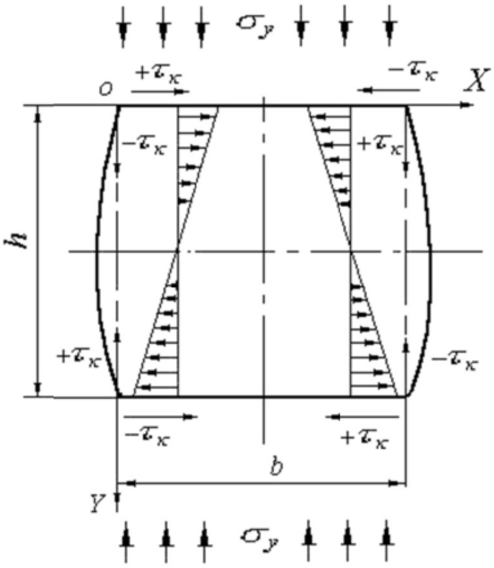


*Рис. 1. Образец горной породы при одноосном сжатии*

При использовании трёх уравнений в механике пластичности, при наличии контактного трения, возникли непреодолимые трудности точного интегрирования дифференциальных уравнений равновесия совместно с условием пластичности, которые привели к тому, что исследователи вынуждены при решении практических задач по определению деформирующих усилий вводить упрощенные предпосылки. В работе Е.П. Унксова приведен детальный теоретический анализ возможности упрощения уравнений и экспериментально определены их границы в пределах практически допускаемой точности. С этой целью:

а) задачу приводят к осесимметричной или плоской;

б) принимают, что нормальные напряжения зависимы только от одной координаты, в частности от $x$, а зависимость касательных напряжений от соответствующей координаты $y$ принимают линейной.

В результате дифференциальные уравнения упрощаются. Их число сокращается до одного, которое содержит простые производные взамен частных. Второе уравнение в условии (1) выполняется в том случае, если $\sigma_y$ не зависит от координаты $y$.

Контактные касательные напряжения $\tau_k$ принимают равными постоянной пластичности $k$. Тогда второе уравнение в условии (1) сводится к выражениям $\sigma_x = \sigma_y$ и $d\sigma_x = d\sigma_y$ .

Специалистами по теории давления металлов условия равенства нормальных напряжений рекомендованы при $0,7\ k \le \tau_к < k$. Применительно к образцам горных пород, недостаточно ограничиваться этим условием, так как при построении запредельных кривых разрушения следует учитывать различные соотношения между производными нормальных напряжений $\sigma_y$ и $\sigma_x$ , и различные значения коэффициентов контактного и внутреннего трения.

Кроме того, напряжения $\tau_к$, как правило, не равны $k$. Тем более, эти напряжения не равны $k$, применительно к образцам горных пород, которые подвергаются согласно ГОСТу предварительной шлифовке. Кроме того, при деформировании горных пород, обладающих внутренним трением, выражение (2) имеет другой вид

$$\sigma_x - \sigma_y = \frac{2(k+\mu\sigma_y)}{cos\rho}\left(sin\rho - \sqrt{1-\frac{\tau_{xy}^2}{(k+\mu\sigma_y)^2}}\right), \qquad (3)$$

где $\mu$ – коэффициент внутреннего трения; $\rho$ – угол внутреннего трения.

Эти две величины связаны между собой соотношением $\rho = \mathrm{arctg}\,\mu$.

В работе [1] проведено определение соотношения между производными нормальных напряжений на основе уравнения (3), так как в этом уравнении явно просматривается связь между напряжениями $\sigma_x$ и $\sigma_y$. Но этого оказалось недостаточно, так как получены теоретические предельные напряжения, превышающие в 1,5–1,6 раза экспериментальные. Поэтому попытаемся провести решение задачи установления закономерностей контактных напряжений с привлечением идеи Л. Прандтля.

Попытаемся его усовершенствовать с использованием нашего уравнения (4) применительно к деформированию горных пород.

Из дифференцирования первого уравнения (1) по $y$, а второго по $x$ , получено

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x \cdot \partial y} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2} = 0 \; ; \qquad \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x \cdot \partial y} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2} = 0 \; .$$

Из вычитания второго уравнения из первого

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x \cdot \partial y} - \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x \cdot \partial y} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2} = 0 \; .$$

Из чего следует, что

$$\frac{\partial^2 \left(\sigma_x - \sigma_y\right)}{\partial x \cdot \partial y} = \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2} \; . \qquad (4)$$

Подставляем разность нормальных напряжений из уравнения (3) в выражение (4)

$$\frac{2\partial^2 \left[\left(k_n + \mu\sigma_{y_i}\right)\left(Sin\rho - \sqrt{1-b_{i^2}}\right)\right]}{\partial x \cdot \partial y Cos\rho} = \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2}. \qquad (5)$$

и получаем одно уравнение с одним неизвестным $\tau_{xy}$, предполагая, что мы знаем $k_n$ и $\sigma_{y_i}$.

Как известно, данное уравнение разрешимо в том случае, если принять, что $\tau_{xy}$ не зависит от $x$ и является функцией только от $y$. В этом случае левая часть уравнения обращается в нуль при $sin\,\rho = \sqrt{1 - b_i^2}$. Тогда

$$\tau_{xy} = f(y); \qquad \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2} = 0 \; .$$

Из решения последнего уравнения следует

$$\tau_{xy} = C_1 + C_2 \cdot y \; .$$

Рассмотрим граничные условия:

при $y = 0$ $\tau_{xy} = \tau_к$ – контактное касательное напряжение;

при $y = \frac{h}{2}$ $\tau_{xy} = 0$.

Из граничных условий имеем систему

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \tau_к \\ C_1 &= -C_2\frac{h}{2} \end{aligned}\right\}$$

Из чего

$$\tau_{xy} = \tau_к \left(1 - \frac{2y}{h}\right). \qquad (6)$$

Тогда

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = -\frac{2\tau_к}{h} \; . \qquad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в дифференциальные условия равновесия (1), имеем

$$\frac{\partial \sigma_{x_i}}{\partial x} - \frac{2\tau_к}{h} = 0 \; ;$$

$$\frac{\partial \sigma_{y_i}}{\partial y} = 0 \; .$$

Из решения этих уравнений получаем

$$\sigma_{x_i} = \frac{2\tau_к}{h} \cdot x + \varphi_1(y); \qquad (8)$$

$$\sigma_{y_i} = \varphi_2(x). \qquad (9)$$

Функции $\varphi_1(x)$ и $\varphi_2(x)$ приняты зависимыми от соответствующих аргументов из известного общего положения теории интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных о том, что необходимым и достаточным является условие, чтобы постоянная интегрирования была постоянной относительно переменной интегрирования, которая может быть любой функцией других переменных.

Тогда из выражений (5), (8) и (9) имеем

$$\sigma_{x_i} - \sigma_{y_i} = \frac{2\tau_к}{h} x + \varphi_1(y) - \varphi_2(x) = \frac{2\left(k_n + \mu\sigma_{y_i}\right)}{Cos\rho}\left(Sin\rho - \sqrt{1 - b_i^2}\right).$$

Представим теперь функцию $\varphi_2(x)$ через новую функцию в виде

$$\varphi_2(x) = \frac{2\tau_к \cdot x}{h} + C_a \; . \qquad (10)$$

Тогда

$$\varphi_1(x) = \frac{2\left(k_n + \mu\sigma_{y_i}\right)}{Cos\rho}\left(Sin\rho - \sqrt{1 - b_i^2}\right) + C_a \; . \qquad (11)$$

После подстановки функций (10) и (11) в выражения (8) и (9) имеем систему

$$\begin{cases} \sigma_{x_i} = \dfrac{2\tau_к}{h} x + \dfrac{2\left(k_n + \mu\sigma_{y_i}\right)}{Cos\rho}\left(Sin\rho - \sqrt{1-b_{i^2}}\right) + C_a; & (12) \\ \sigma_{y_i} = \dfrac{2\tau_к}{h} x + C_a; & (13) \\ \tau_{xy} = \tau_к\left(1 - \dfrac{2y}{h}\right). & (14) \end{cases}$$

Очевидно, что на горизонтальной линии симметрии $\tau_{xy}$ равно нулю. Поэтому последнее выражение (14) записано из предположения, что затухание контактных касательных напряжений от трения вдоль продольной оси происходит по линейному закону (рис. 1). При $x = 0$ $C_a = \sigma_{y_0}$. Тогда из выражения (12) и (13) получим уравнение расчета горизонтальных напряжений согласно (3).

Л. Прандтль пришел к выводу, что нормальное напряжение $\sigma_{yi}$ является линейной функцией $x$ и не зависит от $y$, а касательное напряжение $\tau_{xy}$ не зависит от $x$ и является линейной функцией от $y$. Надо сказать, что в механике горных пород нормальные напряжения также принимаются приблизительно постоянными по толщине слоя, т. е. не зависят от $y$.

Теперь следует отметить, что решение Л. Прандтля, полученное с учетом нашей корректировки при физически вполне возможном условии постоянства касательных напряжений на контактной поверхности, позволяет построить эпюры напряжений на этой поверхности и определить напряжения внутри образца, что очень важно для построения диаграмм „напряжение-деформация“.

Попутно отметим, что в области обработки металлов решения дают без уширения образца, что не позволяет обеспечить в угловых областях парность касательных напряжений. В нашем случае принимаем, что образец уширяется и имеет выпуклую форму боковой поверхности (рис. 1), когда парность касательных напряжений соблюдается внутри материала по нормали к контактной поверхности. Но здесь для нас важно утверждение Л. Прандтля, что продольное напряжение для плоской деформации не зависит от координаты $y$, а также вывод о возможности расчета напряжений внутри заготовки, что будет осуществлено на основании использования теории предельного состояния.

Судя по экспериментальным данным (рис. 2), касательные напряжения действительно практически постоянны на образцах.

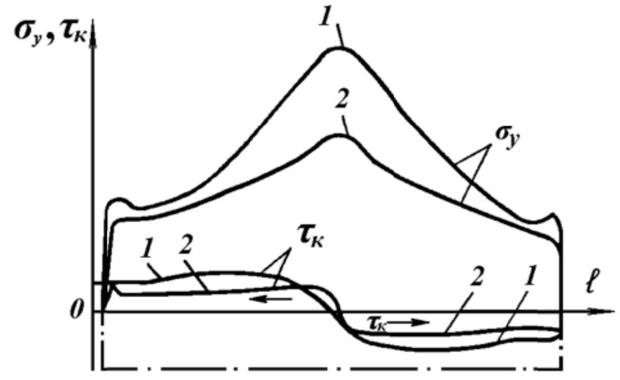


*Рис. 2. Кривые контактных ($\tau_K$) и нормальных напряжений ($\sigma_y$) при плоской осадке свинцовых образцов по всей длине образца ℓ (по Е.П. Унксову):1 – осадка без смазки; 2 – осадка со смазкой*

Для определения напряжений на контактной поверхности используем второе уравнение (13).

$$\sigma_{y_i} = \frac{2\tau_к}{h} \cdot x + C . \qquad (15)$$

При отсутствии трения напряжения $\sigma_{yi}$ оставалось бы постоянным. Мы предполагаем, что в крайних точках контактной поверхности при $x = 0$ и наличии трения начальное значение напряжения равно $\sigma_{y0}$. Тогда, учитывая (15), имеем

$$\sigma_{y_i} = \sigma_{y_0} + \frac{2\tau_к \cdot x}{h} = \sigma_{y_0}\left(1 + \frac{2f \cdot x}{h}\right).$$

Тогда удельное давление – предел прочности образца при сжатии

$$p = \sigma_{y_0}\left(1 + \frac{f \cdot a}{2 \cdot h}\right). \qquad (16)$$

Теперь предстоит провести сопоставление расчетных значений предела прочности с экспериментальными данными.

Автор работы [2] распространил условия $\sigma_x = \sigma_y$ из теории обработки металлов давлением для определения предела прочности образцов горных пород правильной геометрической формы и получил сходимость с экспериментальными данными в пределах 75–80 %. Закономерность распределения контактных напряжений определялась им по формуле

$$\sigma_y = \sigma_{y_0} e^{\frac{2f \cdot x}{h}} . \qquad (17)$$

Среднее контактное давление – предел прочности – по формуле

$$P_1 = \sigma_{y0} \frac{h}{f \cdot b}\left(e^{\frac{f \cdot b}{h}} - 1\right). \qquad (18)$$

Это позволяет принять уравнения (17) и (18) как эталонные при сравнении закономерностей распределения контактных напряжений, а также являются главными для сравнения пределов прочности.

На рис. 3 показана зависимость от $f$ отношения пределов прочности, рассчитанных по формулам (16) и (18).

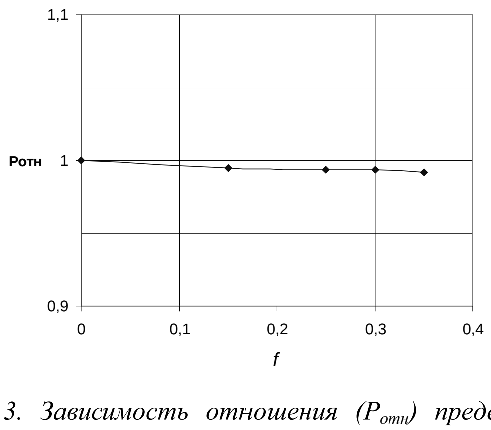


*Рис. 3. Зависимость отношения ($P_{отн}$) пределов прочности, рассчитанных по формуле (16) и по эталонной формуле (18), от коэффициента внешнего трения (f) при $\mu = 45^\circ$*

Сравнение расчётных пределов прочности по обеим формулам свидетельствует об их практической равноценности. Однако второй вариант открывает возможность в более строгой постановке определять напряжения внутри материала и осуществлять построение запредельных кривых разрушения образцов горных пород для построения в виде диаграмм „нормальное напряжение – продольная деформация“.

**Выводы.** В статье проанализированы возможности использования подходов расчёта контактных напряжений при одноосном сжатии образцов горных пород с учётом контактного трения. Принцип определения соотношения между производными горизонтальных и вертикальных напряжений по абсциссе на основании дифференцирования алгебраического уравнения равновесия дают завышенные значения расчётных пределов прочности по сравнению с экспериментальными данными в 1,45–1,6 раз. Наиболее достоверные результаты обеспечивает экспоненциальное распределение нормальных контактных напряжений, полученных при равенстве единице соотношений между упомянутыми производными. Удовлетворительную сходимость расчётных пределов прочности обеспечивают также треугольные распределения нормальных напряжений по Л. Прандтлю. Это распределения имеет важное преимущество в том, что оно получено при совместном решении двух дифференциальных и одного алгебраического уравнений, что является обязательным условием для любой точки в теле, в соответствии с требованиями теории упругости. Более того, это распределение позволяет рассчитывать напряжения внутри тела, что открывает возможность в более строгой постановке осуществить построение диаграмм „нормальное напряжение – продольная деформация“, что и будет изложено нами в последующих публикациях.

**Список литературы / References**

**1.** О правомочности применения закона о линейной связи между контактными напряжениями для расчёта предела прочности горных пород / Л.М. Васильев, К.В. Цепков, А.В. Пазынич [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 3. – С. 3–6

Vasilyev, L.M., Tsepkov, K.V., Pazynich, A.V. [et al.], (2008), “On the eligibility of application the law of the linear relationship between the contact tensions for calculation the limit of strength of the rock”, *Naukovyi visnyk NGU*, no. 3, p. 3–6

**2.** Васильев Д.Л. Определение влияния внутреннего и внешнего трения горных пород на их прочность при одноосном сжатии: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.15.09 / Д.Л. Васильев. – Днепропетровск, 2002. – 25 с.

Vasilyev, D.L. (2002), “Determining the influence of internal and external friction of rocks on their strength in uniaxial compression” Abstract of Ph.D. dissertation (Cand. Sci. (Tech.), Geotechnical and mining mechanics, 05.15.09, Dnipopetrovsk.

Основним параметром – константою, що характеризує механічні властивості гірських порід, є опірність їх зразка одновісному роздавлюванню. Визначається цей параметр – межа міцності – на спеціальних пресах, що є у спеціалізованих інститутах. Однак підприємствам потрібен оперативний розрахунковий метод визначення параметра міцності порід. Вихідною базою розробки цього методу є знання закономірностей розподілу контактних напружень.

**Мета.** Наукове обґрунтування вибору закономірностей розподілу контактних напружень, що забезпечують аналітичне визначення міцності зразків гірських порід, адекватно відповідних експериментальним даним.

**Методи.** Найбільш обґрунтованим методом розрахунку контактних напружень є метод Л. Прандтля, що застосовується при обробці металів тиском. На відміну від металів, гірські породи мають внутрішнє тертя, що вимагає вдосконалення цього методу. Тому в роботі проведено аналіз різних методів розрахунку контактних напружень, заснованих на визначенні співвідношень між похідними нормальних горизонтальних і вертикальних напружень, на спільному рішенні двох диференціальних і одного алгебраїчного рівнянь.

**Результати.** Отримані формули для розрахунку закономірностей розподілу нормальних і дотичних напружень на контактній поверхні зразків гірських порід.

**Наукова новизна.** Отримали подальший розвиток методи розрахунку закономірностей розподілу контактних напружень, наведена оцінка їх достовірності по зіставленню розрахункових меж міцності зразків гірських порід з еталонними даними.

**Практична значимість.** Рекомендовані методи з використанням прийомів теорії ліній ковзання дозволяють визначити межу міцності та розробити метод побудови діаграм „напруження – поздовжня деформація“ без залучення дорогого пресового устаткування. Практична значимість полягає у використанні трьох показників гірських порід (опірність зсуву, коефіцієнти контактного та внутрішнього тертя порід), що простими способами можуть бути встановлені експериментально безпосередньо в умовах підприємств і оперативно ними використані при розрахунку межі міцності.

**Ключові слова:** *контактні напруги, стискання зразків, межа міцності, гірська порода*

**Purpose.** The main parameter – a constant characterizing the mechanical properties of rocks – is the resistance of their sample to uniaxial compression. This parameter is defined - ultimate strength – on the special presses, which are available in specialized institutions. However, the companies need operative calculated method for measuring parameter of the rocks strength. The starting point of development of this method is the knowledge of the distribution regularity of contact tensions. Therefore the purpose of this work is the scientific ground for the choice of distribution regularity of contact tensions, providing the analytical determination of the rock samples strength, adequately corresponding to the experimental data.

**Methods.** The most reasonable method of calculation of contact tensions is the method of L. Prandtl, used in processing metal by pressure. In contrast to metals, rocks have an internal friction, which requires improvement of this method. Therefore, this work contains the analysis of different methods of calculation of contact tensions, based on definition of a balance between the derivatives of normal horizontal and vertical tensions, by the special solution of two differential and one algebraic equations.

**Findings.** The formulas for calculation regularities of normal and tangent tensions distribution on the contact surface of the rock samples are obtained.

**Originality.** The methods for calculation regularities of the contact tensions distribution received their further development, and at is given the estimation of their reliability by comparing the calculated ultimate strengths of the rock samples with the reference data.

**Practical value.** The recommended methods, using technique of the theory of slip lines, allow to determine the ultimate strength and to develop a method of charting "tension-longitudinal strain" without using expensive pressing equipment. The practical value lies in using of three metrics of rocks (resistance to shear, rates of contact and the internal friction of rocks) that are simply can be estimated by experiment directly in enterprises and promptly used by them in calculations of the ultimate strength.

**Keywords:** *contact tensions, compression of samples, ultimate strength, rock*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.Є. Блохіним. Дата надходження рукопису 22.01.13.*

УДК 622.276.054:622.244

**Н.Т. Филимоненко[1], канд. техн. наук, доц.**
**А.А. Кожевников[2], д-р техн. наук, проф.**

1 – Державний вищий навчальний заклад „ Донецький національний технічний університет“, м. Донецьк, Україна, e-mail:fnt@mail15.com
2 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна

# ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРЕРЫВИСТОМ ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ

**N.T. Filimonenko[1], Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor**
**A.A Kozhevnikov[2], Dr. Sci. (Tech.), Professor**

1 – State Higher Educational Institution "Donetsk National Technical University", Donetsk, Ukraine, e-mail: fnt@mail15.com
2 – State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovsk, Ukraine

# SOLID PHASE MOTION IN INTERMITTENT VERTICAL FLOW

**Цель**. Обоснование реализации важнейшей гидродинамической функции промывочной жидкости – очистки забоя скважины от шлама и вынос его восходящим потоком при прерывистой внутрискважинной промывке с помощью погружного пневматического насоса (ППН) вытеснения. Такая возможность научно обоснована только применительно к стационарному потоку жидкости. Влияние прерывистого потока на процессы перемещения твердой фазы и ее локализацию в гидравлическом контуре скважины пока изучено мало.

**Методика**. Базируется на фундаментальных положениях теории переноса твердой фазы вертикальным потоком жидкости. При этом предусмотрено выявление связи процессов перемещения шлама восходящим прерывистым потоком жидкости с параметрами рабочего цикла ППН.

**Результаты**. Установлены критерии, позволяющие разделить твердую фазу, находящуюся в прерывистом взвесенесущем потоке, на седиментирующую и выносимую части как по фракциям, так и по длине потока. Доказано, что весь шлам, образовавшийся в конце активной части первого рабочего цикла ППН, будет вынесен за пределы забоя скважины на следующих активных частях рабочего цикла ППН. Таким образом, не будет зашламования забоя скважины при ее промывке с помощи ППН.

**Научная новизна**. Впервые теоретически установлена функциональная связь размера фракций твердой фазы, находящейся в прерывистом взвесенесущем потоке, с параметрами взвесенесущего потока и рабочего цикла ППН.

**Практическая значимость**. Заключается в том, что открывается возможность разработки и применения прогрессивной технологии импульсной промывки скважин с помощью ППН, снижающей стоимость буровых работ в условиях поглощения промывочной жидкости.

**Ключевые слова:** *скважина, промывка, жидкость, шлам, пневматический насос*

**Постановка проблемы и ее связь с важнейшими научными задачами.** Вследствие глобального экономического и энергетического кризиса наблюдается дефицит энергоносителей для обеспечения нормального функционирования энергоемких отраслей промышленности. Сократить его позволит введение в эксплуатацию имеющихся и расширение уже разведанных запасов угля и газа.

Бурение скважин – основной и самый достоверный на сегодняшний день способ получения инфор-