© В.В. Гнитиенко, А.М. Голосов, 2014

УДК 622.236

*В.В. Гнитиенко, А.М. Голосов*

# *ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБРАЗЦА*

*При исследовании физико-механических свойств пород, прежде всего, определяют предел прочности на одноосное сжатие. При обычно применяемых методах исследования прочностных характеристик породы возникает искаженное значение прочности, что обусловлено в основном двумя причинами: внутренней, связанной с несовершенством строения пород и их структурными особенностями, и внешней, зависящей во многом от торцевых условий, схемы нагружения, формы и размеров образца и т.д. При сжатии образца необходимо представлять долю влияния контактных напряжений на величину и характер его деформирования. Чтобы учесть влияние на общую картину напряженно-деформированного состояния образца горной породы торцевых условий, проводится математическое моделирование испытания цилиндрического образца при условии существования трения по торцам.*

*Ключевые слова: горная порода, осесимметричная задача, плосконапряженное состояние, торцевые условия.*

## Постановка задачи

Для того, чтобы смоделировать испытания образца горной породы решим задачу упругости [1]. Исследуемым объектом будет являться однородный цилиндрический образец горной породы с соотношение $h/d = 2$.

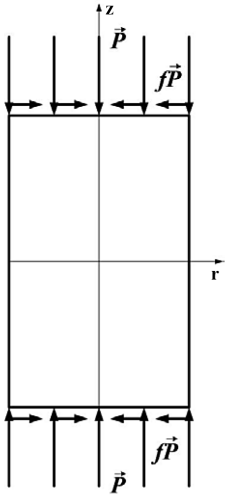


***Рис. 1. Сплошной однородный цилиндр с учетом торцевых условий***

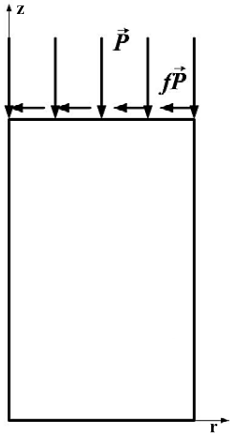


***Рис. 2. Расчетная схема сплошного однородного цилиндра с учетом сил трения по торцам***

Так как задача осесимметричная и нагрузка не зависит от угловой координаты φ, то рассмотрим плосконапряженное состояние (рис. 1).

Из-за того, что образец нагружен симметрично относительно секущейся плоскости, проходящей через ось цилиндра, и относительно плоскости, перпендикулярной оси цилиндра, то целесообразно рассмотреть четверть этой плоскости. В итоге мы имеет следующую расчетную схему (рис. 2).

Система разрешающих уравнений, переписанных в цилиндрических координатах, выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \dfrac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \dfrac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0 \\ \dfrac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \dfrac{\partial \sigma_r}{\partial z} + \dfrac{\tau_{rz}}{r} = 0 \end{cases} \qquad (1)$$

Граничные условия, заданные в напряжениях, с учетом сил трения:

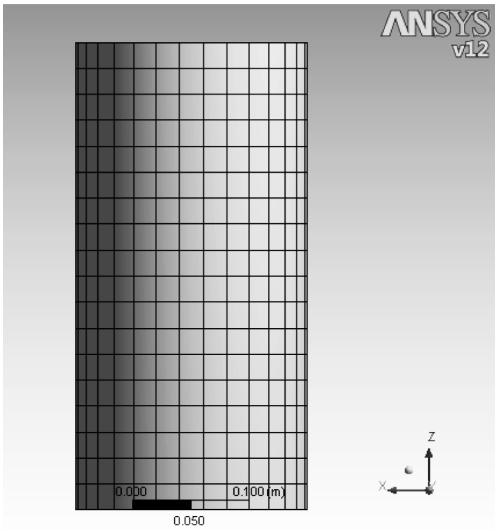


***Рис. 3. Образец, разбитый на элементы***

$$\sigma_{zz}(z=\pm\frac{h}{2})=-P$$

$$\sigma_{r}(z=\pm\frac{h}{2})=-fP$$

$$\sigma_{rz}(z=\pm\frac{h}{2})=0 \qquad (2)$$

где $f$ – коэффициент силы трения изменяющийся $0 \le f \le 1$.

**Решение поставленной задачи**

Ввиду того, что данная задача упругости не имеет аналитического решения, воспользуемся численными методами решения, а именно методом конечных элементов, который в свою очередь применяется в разработанных прикладных пакетах, таких как ANSYS [2].

Процедура типового расчета может быть разделена на три основных этапа:

• построение модели: строим пластину и разбиваем ее на конечные элементы (рис. 3);

• приложение нагрузок и наложение ограничений: задаем распределенное давление и касательное напряжение на верхнем торце (рис. 4);

• получение решения и просмотр результатов (рис. 5).

**Влияние коэффициента трения на напряженное состояние образца**

Рассмотрим влияние коэффициента трения на поведения образца. Для

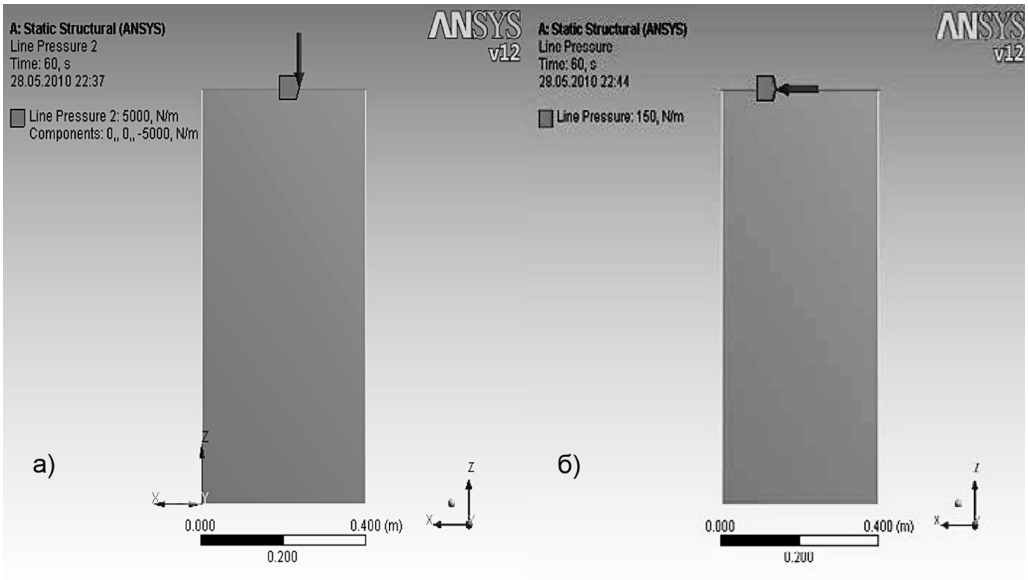


***Рис. 4. Схема приложения внешней нагрузки***: а) нормальное давление, б) касательное напряжение

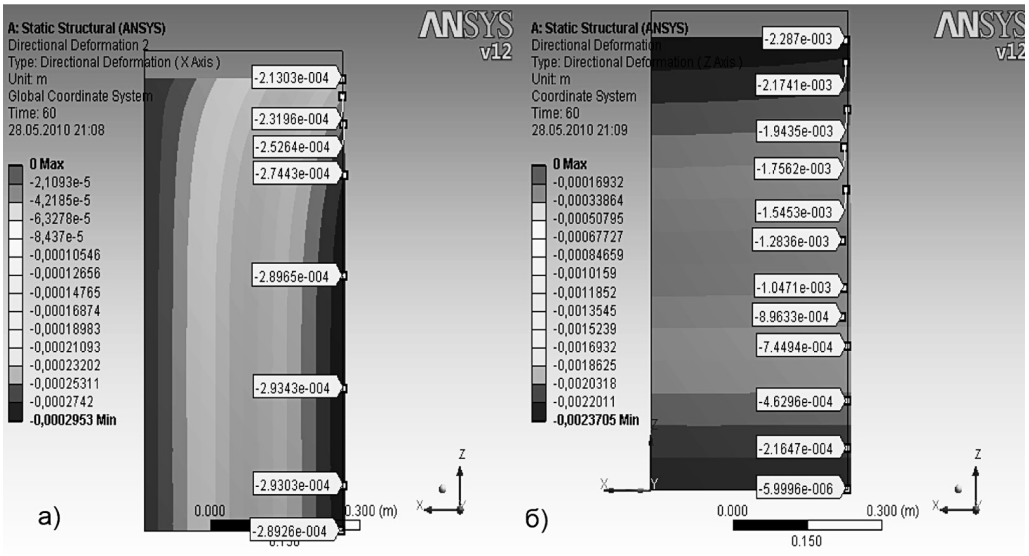


***Рис. 5. Распределение компонент перемещения***: а) радиальное перемещение $u_r$, б) вертикальное перемещение $u_z$

***Зависимость компонент перемещения, деформации, напряжения от коэф. трения при смене контактной поверхности***

| | | $u_r$, м | $u_z$, м | $\sigma_r$, Pa | $\sigma_z$, Pa | $\varepsilon_r$ | $\varepsilon_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f = 0$ трение отсутствует | $z = h/2$, $r = R$ | 0,00294 | -0,0235 | 0 | $-5\cdot10^8$ | 0,007353 | -0,0294 |
| | $z = h/4$, $r = R$ | 0,00294 | -0,0177 | 0 | $-5\cdot10^8$ | 0,007353 | -0,0294 |
| | $z = 0$, $r = R$ | 0,00294 | 0 | 0 | $-5\cdot10^8$ | 0,007353 | -0,0294 |
| $f = \infty$ (торцы защемлены) | $z = h/2$, $r = R$ | 0 | -0,0214 | $-9{,}75\cdot10^8$ | $-4{,}6\cdot10^8$ | 0 | -0,0234 |
| | $z = h/4$, $r = R$ | 0,00302 | -0,0209 | -47731 | $-4{,}8\cdot10^8$ | 0,00692 | -0,0283 |
| | $z = 0$, $r = R$ | 0,00296 | 0 | -5783 | $-5\cdot10^8$ | 0,00734 | -0,0294 |
| $f = 0{,}03$ | $z = h/2$, $r = R$ | 0,0021 | -0,0229 | $-1\cdot10^7$ | $-4{,}9\cdot10^8$ | 0,00726 | -0,0287 |
| | $z = h/4$, $r = R$ | 0,00292 | -0,0114 | $0{,}57\cdot10^5$ | $-4{,}9\cdot10^8$ | 0,00721 | -0,0289 |
| | $z = 0$, $r = R$ | 0,00295 | 0 | 1086 | $-4{,}99\cdot10^8$ | 0,00733 | -0,0293 |
| $f = 0{,}04$ | $z = h/2$, $r = R$ | 0,0019 | -0,0228 | $-1{,}23\cdot10^7$ | $-4{,}86\cdot10^8$ | 0,00708 | -0,0284 |
| | $z = h/4$, $r = R$ | 0,00289 | -0,0119 | $1{,}56\cdot10^5$ | $-4{,}87\cdot10^8$ | 0,00716 | -0,0287 |
| | $z = 0$, $r = R$ | 0,00296 | 0 | 4882 | $-4{,}92\cdot10^8$ | 0,00733 | -0,0293 |
| $f = 0{,}1$ | $z = h/2$, $r = R$ | 0,00034 | -0,022 | $-3{,}09\cdot10^7$ | $-4{,}65\cdot10^8$ | 0,0066 | -0,0268 |
| | $z = h/4$, $r = R$ | 0,0029 | -0,012 | $2{,}73\cdot10^5$ | $-4{,}66\cdot10^8$ | 0,0069 | -0,0273 |
| | $z = 0$, $r = R$ | 0,003 | 0 | 14190 | $-4{,}96\cdot10^8$ | 0,0073 | -0,0291 |

этого возьмем образец из гранита с параметрами $E = 1{,}7 \cdot 10^{10}$ Па, $\nu = 0{,}25$ и сравним значения компонент перемещения, деформации, напряжения при различных коэффициентах трения (таблица). Варьирование коэффициента трения вызывается сменой контактирующей поверхности.

Таким образом, мы получили влияние коэффициента трения на напряженно-деформированное состояние образцов горных. Это позволит существенно повысит надежность и достоверность получаемых результатов, для дальнейшего моделирования состояния массива горной породы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Икрин В.А.* Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности. – М.: АСВ, 2004.

2. *Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А.* ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. – М.: Либриком, 2009. ГИАБ


## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ


*Гнитиенко Виктория Валерьевна* – старший преподаватель, e-mail: my_viktor@mail.ru,
*Голосов Андрей Михайлович* – аспирант,
Инженерная школа Дальневосточного Федерального Университета.



UDC 622.236


**FRICTION COEFFICIENT INFLUENCE ON STRAIN-DEFORMATION CONDITION OF SAMPLE**


*Gnitienko V.V.*, Senior Lecturer, e-mail: my_viktor@mail.ru,
*Golosov A.M.*, Graduate Student,
Engineering School of Far Eastern Federal University.



*Tensile strength on uniaxial pressure of rocks are define at first, when physic-mechanic properties are studies. Misrepresent value of tensile strength is appear, when it research by standard methods. It is cause by two factors: internal, conditional on imperfect structure of rocks and its structures features, and external, dependent on butt conditions, loading diagram, form and dimensions of sample and so on. It needs to take into account influence of contact strains at value and type of deformations of sample, when it is press. Mathematical modeling of cylindrical sample test with friction on butts are conducted for take into account influence of butt conditions on general strain-deformation condition of rock sample.*



*Key words: rocks, axisymmetric task, flat-tense condition, butt condition.*


**REFERENCES**


1. Ikrin V.A. *Soprotivlenie materialov s jelementami teorii uprugosti i plastichnosti* (Strength of materials with features of elasticity and plasticity theory), Moscow, ASV, 2004.
2. Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A. *ANSYS v rukah inzhenera. Prakticheskoe rukovodstvo* (ANSYS in hands of an engineer. Manual), Moscow, Librikom, 2009.