

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им И. РАЗЗАКОВА

# МАТЕРИАЛЫ

## 60-й

МЕЖДУНАРОДНОЙ ЮБИЛЕЙНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ,  
АСПИРАНТОВ, МАГИСТРАНТОВ И  
СТУДЕНТОВ

«НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ИДЕИ, ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ»

### ЧАСТЬ 1



Бишкек 2018

продолжительность жарки.

Во время приготовления возрастает количество вредных веществ в масле.

В каждом заведении общественного питания должен присутствовать график замены масла во фритюре. Многократное использование масла для фритюра способствует накоплению в нем канцерогенных веществ. График замены масла позволит вовремя менять жир для фритюра, еще до того момента, как в нем начнут образовываться канцерогенные вещества.

**Выводы.** Поэтому исходя из проведенных анализов для фритюра, точнее для обжарки хлебных изделий «Боорсок» подбираем профессиональное масло. Главная особенность профессионального масла, выгодно отличающая его от традиционных растительных масел, — высокое содержание олеиновой кислоты. Это вещество является важным элементом в функциональном питании. Решение этой проблемы в хлебопекарном производстве, а именно механизация процесса приготовления боорсоков и подбор масла позволит увеличить объемы выпускаемой продукции, улучшить условия труда на производстве, исключая влияние человеческого фактора на качество выпускаемой продукции, сократить производственные потери, тем самым приведет к увеличению экономических показателей на производстве.

#### Список литературы

1. Азаров, Б.М. Технологическое оборудование/ Под ред. С.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 263с.
2. Боорсок. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/> (дата обращения 10.02.2017), свободный. Загл. С экрана. – Яз. рус.
3. Драгилев, А.И. Оборудование для производства мучных кондитерских изделий. – М.: ВО «Агропромиздат», 1999. – 319 с.
4. Лурье, И.С. Технология и технологический контроль кондитерского производства. – М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1981. – 328 с.
5. Технохлеб. – Режим доступа: <http://www.technokhleba.ru/products/19/> (дата обращения 15.03.2017), свободный. Загл. С экрана. – Яз. рус.
6. Патент №2422076 РФ. Устройство для жарки, содержащее средство для перемешивания, и способ жарки продуктов/ Годерио А., Бизар Ж. Заявл. 01.02.2007; Опубл. 27.06.2011.

УДК 539.215

#### УПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПЕСЧАНИКОВ ПРИ АКТИВНОМ НАГРУЖЕНИИ И РАЗГРУЗКЕ

*Степанова Ю.Ю., Рычков Б.А., КРСУ, г. Бишкек, Кыргызская Республика, e-mail: rychkovba@mail.ru, stepanova\_yulya\_1995@mail.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены экспериментальные данные А.Н. Ставрогина по трехосному сжатию цилиндрических образцов двух типов песчаника. Песчаники обладают достаточно высокой пористостью в исходном состоянии. Поэтому на диаграмме продольной и поперечной деформации в пределах упругости наблюдаются определенные нелинейные участки. В трактовке этих участков мнения исследователей различаются: некоторые считают, что при этом происходит упругая деформация с переменными упругими коэффициентами, но, судя по некоторым экспериментальным данным, в этой области деформации происходит уплотнение материала. Следовательно, указанный начальный участок диаграмм как продольной, так и поперечной деформации необходимо исключать из рассмотрения при определении модуля Юнга и коэффициента Пуассона. В данной работе предлагается метод нахождения этих упругих констант и анализируется характер упругой

**Ключевые слова:** трехосное сжатие, уплотнение материала, обобщенный закон Гука, учет нелинейности диаграммы деформации, тензор деформаций.

**Annotation.** The experimental data of A.N. Stavrogin are considered by triaxial compression of cylindrical samples of two types of sandstone. Sandstones have a sufficiently high porosity in the initial state. Therefore, in the longitudinal and transverse strain diagram within the elastic range, certain nonlinear regions are observed. In the treatment of these sites, the opinion of researchers is different: some believe that there is an elastic deformation with variable elastic coefficients; but, judging by some experimental data, the material is compacted in this deformation region. Consequently, this initial section of the diagrams of both longitudinal and transverse deformation must be excluded from consideration when determining the Young's modulus and Poisson's ratio. In this paper, we propose a method for finding these elastic constants and analyze the character of elastic unloading after reaching the strength limit.

**Keywords:** triaxial compression, hardening of material, generalized Hooke's law, allowance for the nonlinearity of the deformation diagram, strain tensor.

**Введение.** При пропорциональном трехосном сжатии цилиндрических образцов горных пород наблюдаются некоторые особенности на диаграммах продольной ( $\varepsilon_1$ ) и поперечной ( $\varepsilon_2$ ) деформаций в зависимости от уровня осевого напряжения ( $\sigma_1$ ). При этом вид напряженного состояния характеризуется отношением среднего главного напряжения ( $\sigma_2$ ) к максимальному главному напряжению ( $\sigma_1$ ), т.е. параметром  $C = \sigma_2 / \sigma_1$ , поскольку при испытании по схеме Т. Кармана  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ . На диаграмме для продольной осевой деформации ( $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$ ) наблюдается (особенно) для песчаников начальный нелинейный участок [3,7], после которого следует практически линейный участок этой диаграммы вплоть до условного предела упругости. В трактовке этого участка до сих пор не существует единого мнения [1,7,9]. Некоторые исследователи [1,10] считают, что наклон такой кривой «напряжение - деформация» определяет переменный модуль упругости Юнга. Аналогичное утверждение относится и к определению коэффициента Пуассона. Другие экспериментаторы [1,4] предлагают исключать из рассмотрения такой начальный участок, а упругие параметры породы определять при более высоких уровнях напряжения, когда зависимость «напряжение - деформация» становится близкой к линейной. Однако до сих пор нет общепринятой методики определения упругих констант пород даже при пропорциональном нагружении. В этом направлении проводятся многочисленные экспериментальные исследования и даются различные теоретические интерпретации [2,4,5,11,12].

В настоящем сообщении сделана попытка устранить указанное выше противоречие в этом вопросе и разработать методику определения упругих параметров не опасного по выбросам (НВО) песчаника и песчаника П - 026 на основе предлагаемой корректировки исходных [7] экспериментальных диаграмм деформации.

### 1. Анализ криволинейного участка продольной деформации

Начиная с определенного уровня осевого напряжения  $\sigma_{1н}$  (различного для каждого вида напряженного состояния, характеризуемого параметром  $C = \sigma_2 / \sigma_1$ ) можно выделить линейный участок диаграммы деформации  $\varepsilon_1(\sigma_1)$  вплоть до условного предела упругости  $\sigma_{1у}$ . Как указано в [7,  $\sigma_{1н} = (0,05 \div 0,15)\sigma_{1у}$ .

Рассмотрим, например, диаграмму продольной деформации неопасного по выбросам песчаника при одноосном сжатии. Аппроксимация с помощью линии тренда (линейной зависимостью) квазилинейного установившегося участка деформации и продолжение этой линии тренда до нулевого напряжения доставляет новое начало координат (точка  $\varepsilon_1^0$  на рис. 1) для отсчета упругой деформации вплоть до предела упругости (достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,9993$ ). Правомерность этой процедуры подтверждается тем обстоятельством, что при промежуточной разгрузке выше уровня напряжения  $\sigma_{1н}$  в эксперименте отмечается [5] остаточная деформация. Это свидетельствует об изменении структуры материала после его уплотнения до указанного напряжения.

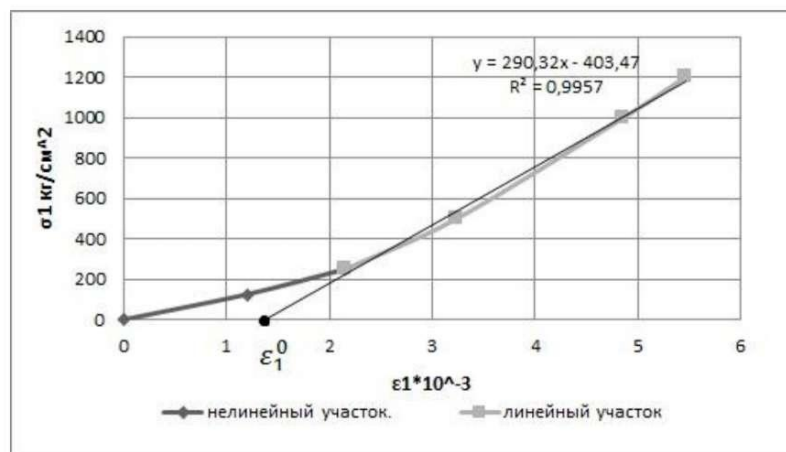


Рис. 1. Диаграмма упругой деформации  $\varepsilon_1(\sigma_1)$  для песчаника не опасного по выбросам при одноосном сжатии

Установлено, что, определяемое таким образом, это начало координат оказывается практически одним и тем же для всех рассматриваемых видов напряженного состояния данной горной породы. Среднее значение  $(\varepsilon_1^0)_{cp} = 1,52 \cdot 10^{-3}$ .

Таким образом, при определении модуля Юнга устраняется из рассмотрения начальная нелинейная деформация, наблюдаемая при нагружении цилиндрических образцов песчаников из исходного состояния. Эта начальная деформация (как указано выше) не является чисто упругой деформацией [3,5], а содержит также деформацию уплотнения (как правило, исходная пористость таких песчаников составляет 6 -7% [7]).

Для поперечной деформации при тех же напряженных состояниях (при которых наблюдается установившийся участок продольной деформации) происходит некоторое запаздывание установившегося участка этой деформации. Если на диаграмме для поперечной деформации выделить участок, на котором с ростом уровня осевого сжимающего напряжения каждое последующее значение деформации по модулю больше предыдущего, то аппроксимация этого участка линейной зависимостью (с привязкой к установленному новому началу координат) также происходит с достаточной достоверностью.

## 2. Определение упругих констант на основе преобразованных (скорректированных) диаграмм деформаций.

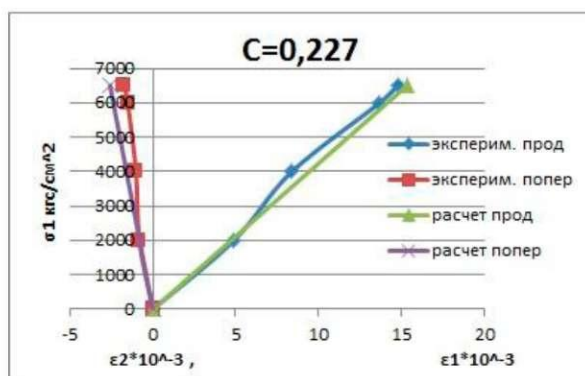
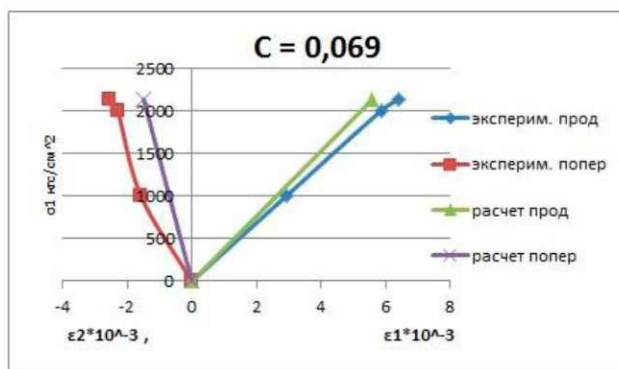
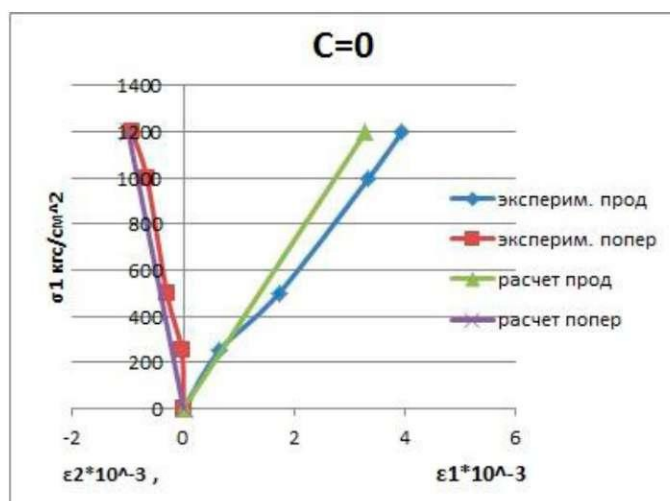
Обобщённый закон Гука представляется в виде:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E}(1 - 2C\nu), \quad \varepsilon_2 = \frac{\sigma_1}{E}(C - \nu(1 + C)), \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_2 \quad (2)$$

По аппроксимированным (вышеуказанным образом) участкам поперечной и продольной деформации определялись упругие константы (модуль Юнга -  $E$  и коэффициент Пуассона -  $\nu$ ) по экспериментальным данным для трёх видов напряженного состояния ( $C=0,116$ ,  $C=0,178$ ,  $C=0,227$ ). После усреднения получено:  $E = 3,7 \cdot 10^5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ,  $\nu = 0,3$ .

Отклонение от среднего значения коэффициента  $\nu$  составило  $+6\%$ ,  $-11\%$ , а по величине  $E$  отклонение от среднего значения  $+8\%$ ,  $-14\%$ .

Скорректированные диаграммы деформации (с учётом переноса начала координат) и последующее их отображение расчетными зависимостями представлены на рис. 2 - 5 для всех осуществленных в опыте видов напряженного состояния ( $C$ ).



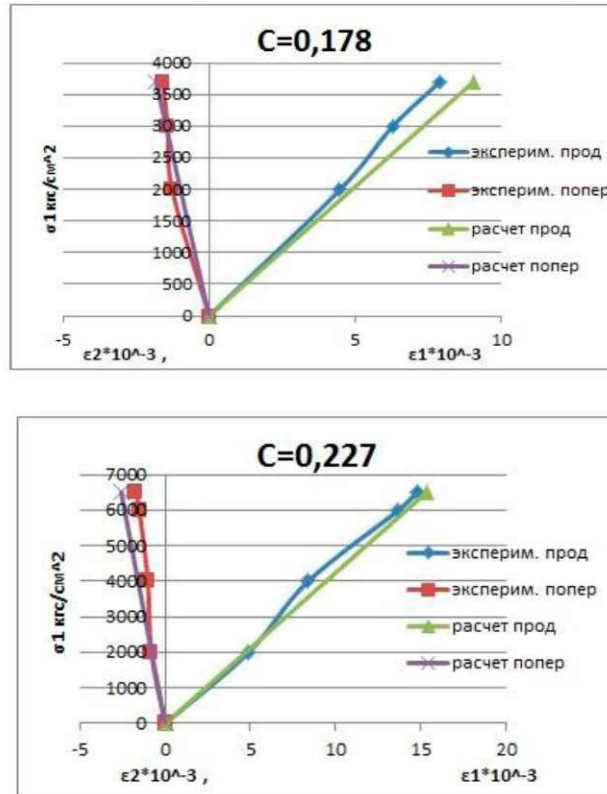
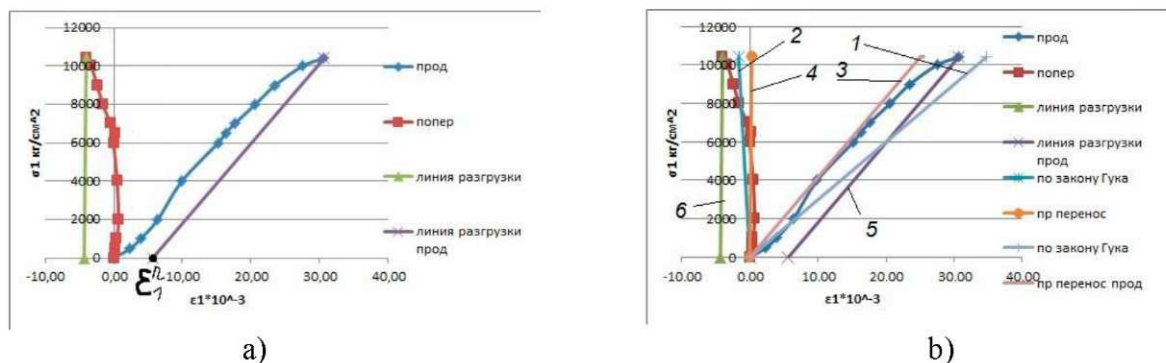


Рис. 2-6. Диаграммы, исключая начальные нелинейные участки деформации.

### 3. Анализ представленной в [1,6] методики определения упругой и остаточной деформации.

В [7, приложение №2] даны значения остаточной продольной деформации ( $\varepsilon_1^n$ ) после достижения предела прочности и коэффициент остаточной поперечной деформации ( $\mu_n$ ), а в [7, приложение №1] приведены значения предельных накопленных продольной ( $\varepsilon_1^k$ ) и поперечной ( $\varepsilon_2^k$ ) деформаций. По этим данным на рис. (a,b) представлены диаграммы продольной и поперечной деформации до предела прочности, а также картина трактуемой автором эксперимента возможной разгрузки.

Рис. 7. Полная диаграмма до предела прочности и значения остаточной деформации при  $C=0,227$ 

Линия разгрузки осевой деформации (судя по значению  $\varepsilon_1^n = 5,65 \cdot 10^{-3}$ , рис.7 а) практически параллельна установившемуся линейному упругому участку, наблюдаемому в эксперименте. Это отражено на рис. 7 б) линиями 3 и 5. Однако расчетная линия упругой

деформации (линия 1 на рис. 7 б), построенная по найденным авторами эксперимента упругим константам  $E^* = 2,7 \cdot 10^5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ,  $\nu^* = 0,22$ , доставляет деформацию на пределе прочности, превышающую зафиксированную в эксперименте. Таким образом, указанная линия разгрузки 5 является эмпирической, она соответствует аппроксимации продольной упругой деформации, представленной линией 3 на рис. 7 б.

Если построить соответствующую линию разгрузки поперечной деформации (линия 6 на рис. 7 б) после достижения предела прочности по ее значению ( $\epsilon_2^n = -\mu_n^* \epsilon_1^n$ ), то получим, что при полной разгрузке значение поперечной деформации по модулю увеличивается по сравнению с ее значением, достигнутым на пределе прочности. Это соответствует аппроксимации начального участка упругой поперечной деформации линией 4; тогда как, согласно значениям  $E^*, \nu^*$ , расчетная деформация  $\epsilon_2$  представляется линией 2 на рис. 7 б. Такого парадокса не будет, если поперечную деформацию отсчитывать от нового начала координат, соответствующего установившемуся упругому характеру деформирования, как предложено в п.2. Полученные результаты подтверждаются анализом экспериментальных данных и для песчаника П-026.

**Закключение.** Представленный метод определения упругих констант горных пород, применительно к песчаникам, достаточно хорошо соответствует экспериментальным данным в пределах их разброса и устраняет существующую неопределенность при выделении упругого начального участка диаграммы деформации при трехосном сжатии цилиндрических образцов. Адекватное отображение упругой деформации необходимо также при моделировании [6] деформационного упрочнения за пределами упругости.

### Список литературы

1. Введение в механику скальных пород: пер. с англ./Под редакцией Х.Бока М.: «Мир», 1983. 276 с.
2. Kachanov M. On the effective elastic properties of cracked solids editor's comments. V.146: Int J Fract (Letters in fracture and micromechanics) 2007, p. 295-299.
3. Карташев Ю.М., Матвеев Б.В., Матвеев Г.В., Фадеев А.Б. Прочность и деформируемость горных пород М.: «Недра», 1979. 269 с.
4. Китаева Д.А., Пазылов Ш.Т., Рудаев Я.И. О приложении методов нелинейной динамики в механике материалов Вестник ПНИПУ, 2007, с. 46-70.
5. Paterson M.S., Wong Teng-fong Experimental Rock Deformation- The Brittle Field – Berlin, Heidelberg, New York. Springer-Verlag. 2005. 348 p.
6. Рычков Б.А. О деформационном упрочнении горных пород // Известия РАН. МТТ. №2 1999, с. 115-124.
7. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: «Недра», 1979. 301с.
8. Ставрогин А.Н., Георгиевский В.С. Каталог механических свойств горных пород. 2-е изд. Л.: ВНИМИ, 1972. 267 с.
9. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. М.: «Недра», 1985. 271 с.
10. Стефанов Ю.П. Численное моделирование разрушения горных пород на примере расчета поведения образцов песчаника ФТПРТИ, 2008, с. 73-83.
11. Шваб А.А. Экспериментально - аналитический метод определения характеристик квазиоднородного материала по упругопластическому анализу экспериментальных данных Вестник СамГТУ, 2012, с. 65-71.
12. Zhang J.C., Zhou S.H., Xu S.H., Fang L.G. Evolution of the elastic properties of a bedded argillite damaged in cyclic triaxial tests International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, Vol. 58, 2013, p. 103-110.