

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

О ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОГО ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

Кулагина М.А., Комарцов Н.М., Рычков Б.А., Кыргызско-Российский Славянский университет, г.Бишкек, e-mail: rychkovba@mail.ru; komartsovnm@mail.ru; kulagina_m.a@mail.ru

Аннотация. Лабораторные испытания цилиндрических образцов горных пород по схеме Т. Кармана моделируют их поведение в массивах. Обычно реализуется либо пропорциональное нагружение при неравномерном трехосном сжатии, либо вначале создается гидростатическое давление до различного уровня, а затем увеличивается осевое давление на образец при достигнутом равномерном боковом давлении. В случае такого сложного нагружения возникающее приращение осевой деформации в пределах упругости иногда считается зависящим только от модуля упругости Юнга. Однако этот модуль в данной трактовке оказывается переменной величиной, что противоречит самой формулировке обобщенного закона Гука. В данной работе это противоречие устраняется. Предложена методика определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона по исходным экспериментальным данным сложного нагружения.

Ключевые слова: упругость, упругие константы материала, предел упругости, сложное нагружение.

Abstract. Laboratory tests of cylindrical rock samples, which were holding according to T. Karman's scheme, simulate their behavior in arrays. Usually, either proportional loading occurs with uneven triaxial compression, or on first step the hydrostatic pressure is created till a different level, and on the second step the axial pressure on the sample increases with the uniform lateral pressure achieved. In the case of such a complex loading, the resulting increment of axial strain within the elastic range is sometimes considered to depend only on the Young's modulus of elasticity. However, this module turns out to be a variable quantity in this interpretation, it contradicts the formulation of the generalized Hooke's law. In this paper, this contradiction is eliminated. A method is proposed for determining the Young's modulus and Poisson's ratio from the initial experimental data of complex loading.

Keywords: elasticity, elastic constants of the material, elastic limit, complex loading.

1. Выбор объекта исследования. Исходные экспериментальные данные.

В естественном виде горные породы в массиве находятся в полуразрушенном состоянии под воздействием неравномерного трехосного сжатия. Это отражается диаграммами зависимости деформации от соответствующих напряжений не только при достижении предела прочности, но и за этим пределом при понижении напряжений до предела остаточной прочности. Правильное отображение происходящей в этих случаях неупругой деформации зависит от того, насколько адекватно учитывается упругая составляющая деформации. Это становится возможным, если проанализировать диаграммы указанной деформации при сложном нагружении образцов различных горных пород при их испытании по схеме Т. Кармана.

Согласно [1], на рис.1 представлены диаграммы приращения осевой деформации цилиндрических образцов MizuhoTrachyte (трахита) и Marble (мрамора) с увеличением осевого давления после их предварительного гидростатического сжатия (P_H) до значений, указанных над каждой из диаграмм.

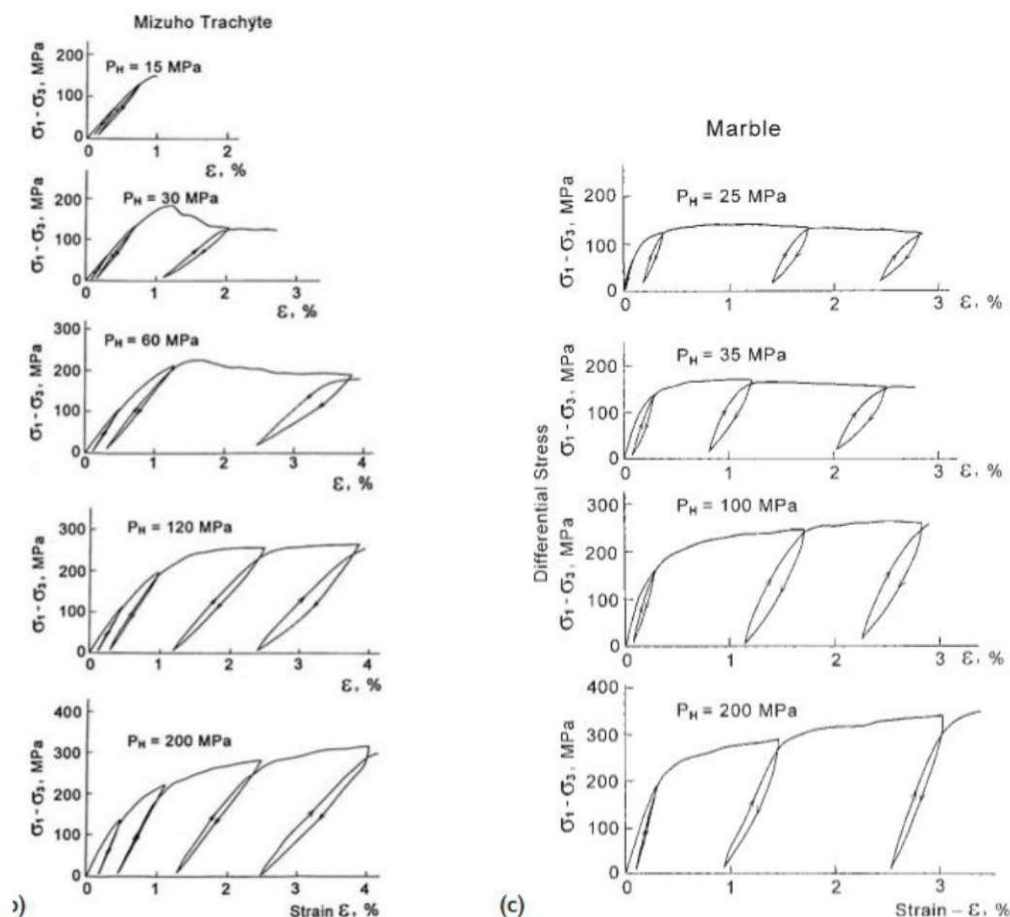


Рис. 1. Экспериментальные зависимости приращения напряжений - приращения деформаций для а) трахита и б) мрамора

Оцифровка этих графиков была проведена с помощью программы «Chart2Digit». Из полученных таким образом таблиц выделены значения деформации до условного предела упругости. Проверено, на сколько эти упругие деформации отвечают закону Гука. Для этого построены зависимости приращения осевой деформации Δe_1 от приращения осевого напряжения $\Delta \sigma_1$, которые соответствуют одному и тому же виду напряженного состояния (с), реализованного при всех боковых давлениях. Параметр c определяется как отношение среднего главного напряжения σ_2 к максимальному главному напряжению σ_1 , т.е.

$$c = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad (1)$$

где $\sigma_2 = \sigma_3$ – напряжения от бокового давления, $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, причем $\sigma_1 = P_H + \Delta \sigma_1$.

На рис. 2 и 3 приведены диаграммы зависимости $\Delta e_1(\Delta \sigma_1)$ для трахита и мрамора.

Как видно из этих рисунков зависимость $\Delta e_1(\Delta \sigma_1)$ является линейной с достаточно высокой степенью точности (достоверность $R^2 \approx 0,98$) при указанном виде напряженного состояния. Это означает, что выбранные исходные экспериментальные данные для всех случаев осуществленного сложного нагружения эквивалентны пропорциональному нагружению при данном значении c , как если бы образец нагружался из исходного состояния при фиксированных таким образом нагрузках. Полученный результат отвечает исходному постулату теории упругости, а именно: зависимость $e_1(\sigma_1)$ в пределах упругости

не зависит от истории нагружения и определяется только конечными значениями напряжения и деформации. Следовательно, в рассматриваемом случае нагружения при $c = const$ закон Гука можно представить в виде:

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta \sigma_1}{E} [1 - 2c\nu] \quad (c = const), \quad (2)$$

где E - модуль Юнга, ν - коэффициент Пуассона.

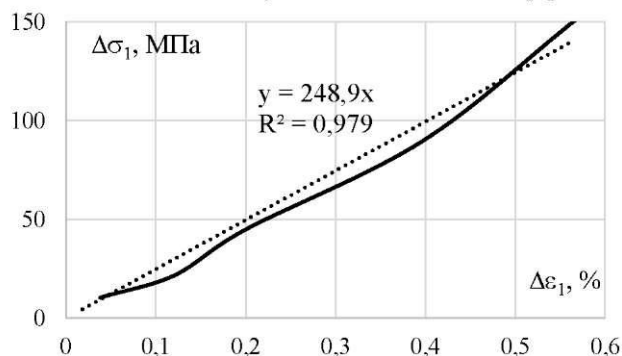


Рис. 2. Зависимость $\Delta e_1 (\Delta \sigma_1)$ для трахита при $c = 0,58$

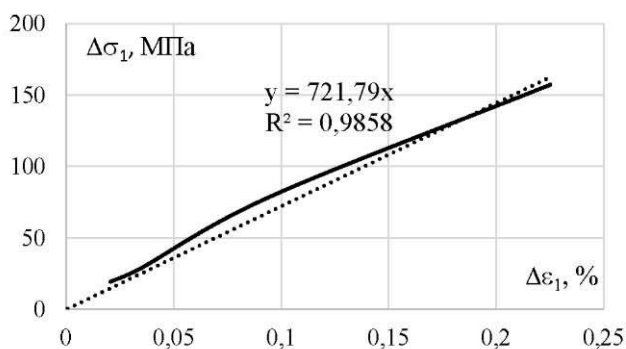


Рис. 3. Зависимость $\Delta e_1 (\Delta \sigma_1)$ для мрамора при $c = 0,56$

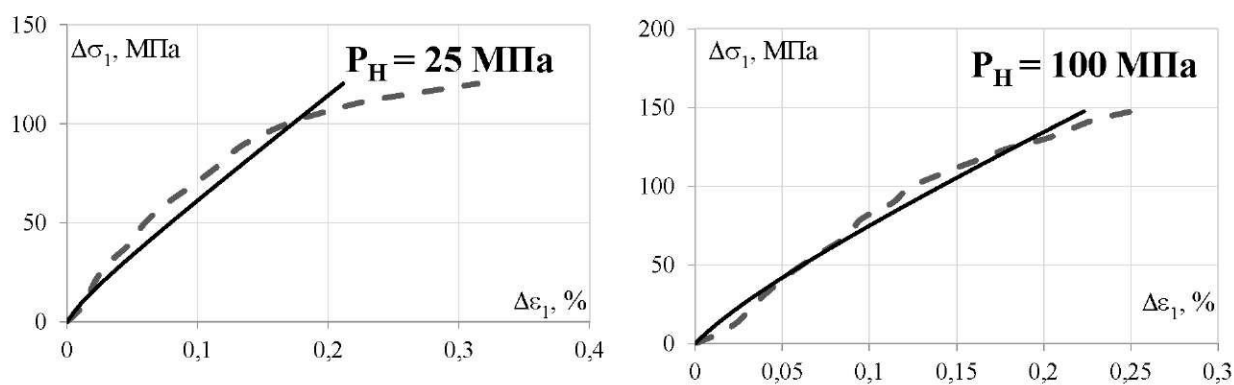
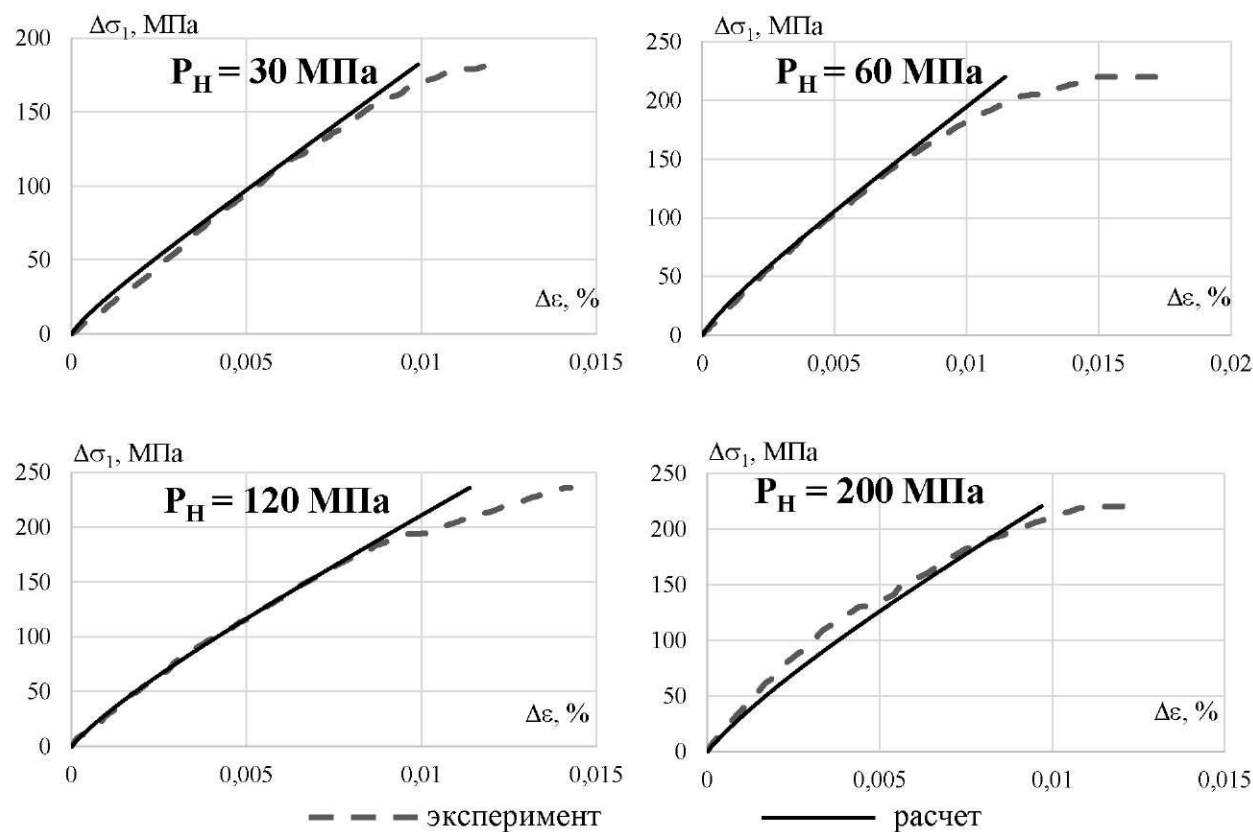
В отличие от линейной зависимости (2), экспериментальные диаграммы $\Delta e_1 (\Delta \sigma_1)$ при фиксированном боковом давлении являются нелинейными, поскольку с ростом приращения напряжения $\Delta \sigma_1$ изменяется значение параметра вида напряженного состояния (c), что означает «перескок» с одной диаграммы пропорционального нагружения на смежную.

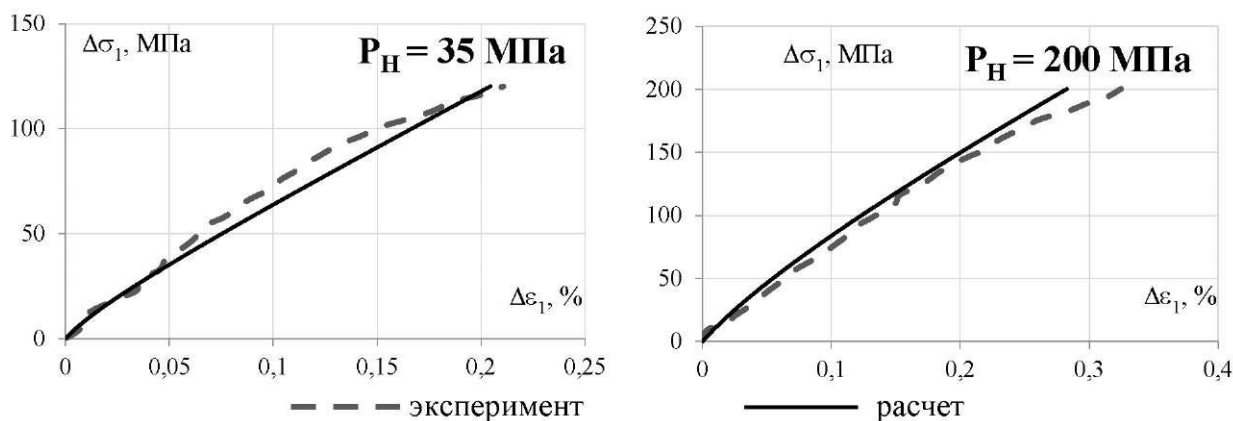
2. Вычисление упругих параметров материала и отображение упругой области деформации рассматриваемых горных пород

Учитывая выше изложенное, можно реализовать следующий метод определения упругих констант E и ν . Исходные диаграммы $\Delta e_1 (\Delta \sigma_1)$ при всех боковых давлениях ограничим до условного предела упругости в соответствии со стандартным его определением для подобных нелинейных диаграмм [5]. Выбираем на этих диаграммах две точки, близкие к пределу упругости и к началу диаграммы, т.е. принимаем значения Δe_1 и $\Delta \sigma_1$ при соответствующих двух значениях параметра c . Согласно (2), получаем два уравнения для определения E и ν . В итоге (после усреднения) получены следующие значения констант, представленные в табл. 1.

Материал	E	ν
Трахит	17020 МПа	0,266
Мрамор	51563 МПа	0,273

На рис. 4 и 5 приведено сопоставление расчетных и экспериментальных данных относительно зависимости $\Delta\varepsilon_1(\Delta\sigma_1)$ в пределах упругости при различных значениях бокового давления для трахита и мрамора соответственно.



Рис.5. Зависимость $\Delta\varepsilon_1$ ($\Delta\sigma_1$) для мрамора

Полученный результат доказывает приемлемость обобщенного закона Гука, включающего модуль Юнга и коэффициент Пуассона как действительные константы материала. В отличие от этого, автор эксперимента [1] и другие исследователи [2, 3, 6] считают что приращение осевой деформации $\Delta\varepsilon_1$ для второго звена рассматриваемой траектории сложного нагружения должно вычисляться по следующей формуле:

$$\Delta e_1 = e_1 - e_1^* = \frac{\sigma_1 - \sigma_1^*}{E_{np}}, \quad (3)$$

где e_1^* и σ_1^* соответственно осевая деформация и осевое напряжение, достигнутые при предварительном гидростатическом давлении, а E_{np} считается модулем Юнга.

Но, как продемонстрировано в [1], при этом E_{np} становится переменной величиной, что противоречит закону Гука. Фактически формула (3) справедлива только при одноосном напряженном состоянии, а ее обобщение на случай сложного нагружения неправомерно, поскольку при этом не учитывается охарактеризованный выше «перескок» с одной диаграммы пропорционального нагружения на смежную. Это отражено также при исследовании поведения перидотита и диорита путем сравнения действительного E и «приведенного» E_{np} модулей упругости [4].

Список литературы

1. Mogi K. Experimental rock mechanics. The Netherlands, Taylor&Francis/Balkema, 2007 - 380 с.
2. Hao Xu, Wen Zhou, Runcheng Xie, et al., "Characterization of Rock Mechanical Properties Using Lab Tests and Numerical Interpretation Model of Well Logs," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2016, Article ID 5967159, 13 pages, 2016. doi:10.1155/2016/5967159.
3. N. A. Al-Shayea. Effects of testing methods and conditions on the elastic properties of limestone rock. // Engineering Geology. Vol. 74. 2004. pp. 139 - 156.
4. Комарцов Н.М., Кулагина М.А., Рычков Б.А. О трактовке модуля упругости горных пород / Материалы X Всероссийской конференции по механике деформируемого твердого тела (18-22 сентября 2017г., Самара, Россия). Самара: СамГТУ, 2017. С. 42-45.
5. Михайлов-Михеев П.Б. Справочник по металлическим материалам турбино- и моторостроения. М.-Л.: Машгиз, 1961 – 839 с.

6. Стефанов Ю.П. Нелинейные эффекты поведения горных пород. [Текст] Ю.П. Стефанов //Физическая мезомеханика. Томск: ИФПМ СО РАН. - 2016.- Т.19, №6. - С. 54-61.

УДК66.047.791.7

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МНОГОЯРУСНОГО ДИСКОВОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АГЛОМЕРИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ

Леонов Клим Алексеевич, магистр гр. ТМОм 1-17 КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: klyusik985@gmail.com

Научный руководитель: Кочнева Светлана Владимировна, к.т.н., профессор КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66

Аннотация. В статье предложена конструкция многоярусного дискового распылителя для получения агломерированных продуктов в распылительных сушилках.

Ключевые слова: многоярусный дисковый распылитель, распыление, агломерация, сушка.

DEVELOPMENT OF A MULTI – STAGE DISK ATOMIZER FOR THE PRODUCTION OF AGGLOMERATED PRODUCTS

Leonov Klim Alekseevich. Master's degree gr. TMOm 1-17 KSTU them I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Chingiz Aytmatov Avenue 66.

Kochneva Svetlana Vladimirovna, candidate of technical sciences, professor KSTU them I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Chingiz Aytmatov Avenue 66.

Annotation. The article proposes a construction of a multi-stage disk atomizer for obtaining agglomerated products in spray dryers.

Key words: multi- stage spraying disc, spraying, agglomeration, drying.

В производстве различных сухих пищевых продуктов сушка, как правило, является обязательной операцией и представляет собой энергоёмкую технологическую стадию процесса. От её аппаратурно-технического оформления и режимов напрямую зависит качество продукта.

Одним из современных способов сушки жидких продуктов является сушка их в распыленном (тонкодиспергированном) состоянии, или, как обычно говорят, распылительная сушка. Этот способ широко применяется для высушивания истинных и коллоидных растворов, суспензий, эмульсий, пульп и паст, в том, числе в пищевой промышленности для сушки молока и молочных продуктов, яиц, фруктовых соков, кормовых дрожжей, витаминов, крови и кровезаменителей, томатных продуктов, кофе, крупяных отваров с целью получения продукта в порошкообразном виде.[1,2]

Как известно, одним из основных узлов в распылительных сушилках является конструкция распыливающего устройства, от выбора которой зависит качество готового продукта. Что касается центробежных дисковых распылителей, это сравнительно дорогое и сложное оборудование, с повышенным расходом электроэнергии на процесс распыления, а небольшие объёмные веса высушенного тонкодисперсного продукта для получения необходимой плотности требуют ещё и дополнительного брикетирования.

Применяемые сегодня в промышленных условиях центробежные распылители (Рис. 1.) позволяют получать тонкодисперсный продукт, т.к. распыление идёт в одной плоскости.