



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В Г. БИШКЕКЕ (НС РАН)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР -
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН (МНИЦ - ГП)

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

27 - 28 марта 2017 года
г. Бишкек



УДК 001
ББК 30.6
C56

Ответственные редакторы: Забиякова О.Б., Матюков В.Е.

Редакционная коллегия: Имашев С.А., Лазарева Е.А., Саламатина Ю.М., Асеева А.Н.

C56 Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов IX Международной конференции молодых ученых и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2017. – 426 с.

ISBN 978-9967-12-643-5

В данный сборник включены материалы IX Международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», которая была проведена ФГБУН Научной станцией РАН и Международным научно-исследовательским центром – геодинамическим полигоном в г. Бишкеке. В сборнике представлены работы молодых ученых и студентов из Кыргызстана, Узбекистана, Казахстана, Таджикистана, России, Украины и других стран, охватывающие исследования в области мониторинга геосреды, физики и механики горных пород, оценки сейсмического и геологического риска, математического моделирования различных процессов и других научных направлений.

Сборник может быть полезен студентам, аспирантам и специалистам, занимающимся исследованиями в области наук о Земле, механики и математики.

Утверждено к печати Ученым советом
ФГБУН НС РАН в г. Бишкеке

C 1401030000-17
ISBN 978-9967-12-643-5

УДК 001
ББК 30.6

©ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке

©Международный научно-исследовательский
центр - геодинамический полигон в г. Бишкеке

© Коллектив авторов, 2017

7. Малинин Н.Н., Романов К.И., Ширшов А.А. Сборник задач по прикладной теории пластичности и ползучести: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. М.: Высшая Школа. 1984. 231 с.
8. Hill, R. (Rodney). The mathematical theory of plasticity. Oxford: Clarendon Press; New York: Oxford University Press. 1964. 355 с.

УДК 539.215+539.374

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕСЧАНИКА

DETERMINATION OF ELASTIC CHARACTERISTICS OF SANDSTONE

Степанова Ю.Ю.

stepanova_yulya_1995@mail.ru

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Аннотация. Рассмотрены исходные (первичные) экспериментальные данные для 17 цилиндрических (стандартных) образцов песчаника, испытанных на неравномерное трехосное сжатие по схеме Т.Кармана. Предлагается новая методика обработки и интерпретации представленных диаграмм деформации. Определены модуль упругости Юнга и коэффициент Пуассона по диаграмме только продольной деформации на том ее участке, на котором установлено только упругое деформирование данной горной породы.

Ключевые слова: гидростатическое давление, нелинейность, упрочнение и уплотнение материала, обобщенный закон Гука.

Введение. Как известно, состояние горных пород в массиве моделируется в лабораторных условиях испытанием цилиндрических образцов (выбуренных из различных месторождений) при неравномерном трехосном сжатии на специальных жестких прессах. Через задаваемые давления (осевое и равномерное боковое) вычисляются главные напряжения ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) и измеряются осевая (ε_1) и поперечная (ε_2) деформации различными методами [1,2]. На диаграмме деформации ($\sigma_1 \sim \varepsilon_1$) (особенно) для песчаников наблюдается начальный нелинейный участок. Некоторые исследователи [3, с.73] считают, что наклон такой кривой «напряжение - деформация» определяет модуль упругости Юнга. При этом подчеркивают, что численное значение модуля зависит от напряжения, а при последовательном нагружении и разгрузке образца породы зависит и от цикла испытания, так как указанные кривые при нагружении и разгрузке не совпадают между собой. Иначе говоря, утверждается, что на отмеченном нелинейном участке диаграммы происходит упругая деформация. 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 настоящем сообщении сделана попытка разработать процедуру определения упругих параметров песчаника на основе имеющихся экспериментальных данных, полученных при испытании цилиндрических образцов на сложное нагружение.

Программа нагружения. Рассмотрены исходные экспериментальные данные, полученные при испытании стандартных цилиндрических образцов песчаника на сертифицированном оборудовании в Институте горного дела СО РАН и предоставленные

КРСУ в рамках договора о сотрудничестве. Осуществлена программа сложного нагружения, которая состоит из следующих двух этапов.

На первом этапе нагружения создавалось равномерное (гидростатическое) трехосное сжатие за счет осевого давления и бокового обжатия вдоль цилиндрической поверхности образца в жесткой испытательной машине, конструкция которой подобна подробно описанной в [1].

На втором этапе осуществлялось нагружение по схеме Т.Кармана, согласно которой $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, т.е. поддерживалось постоянным достигнутое равномерное боковое давление и увеличивалось осевое давление вплоть до предела прочности, после чего фиксировалось также так называемая ниспадающая ветвь диаграммы деформации до полного разрушения образца. Пример такой полной диаграммы относительной деформации приведен на рисунке 1. В данной работе рассматривается только начальный участок этой диаграммы до условного предела упругости.

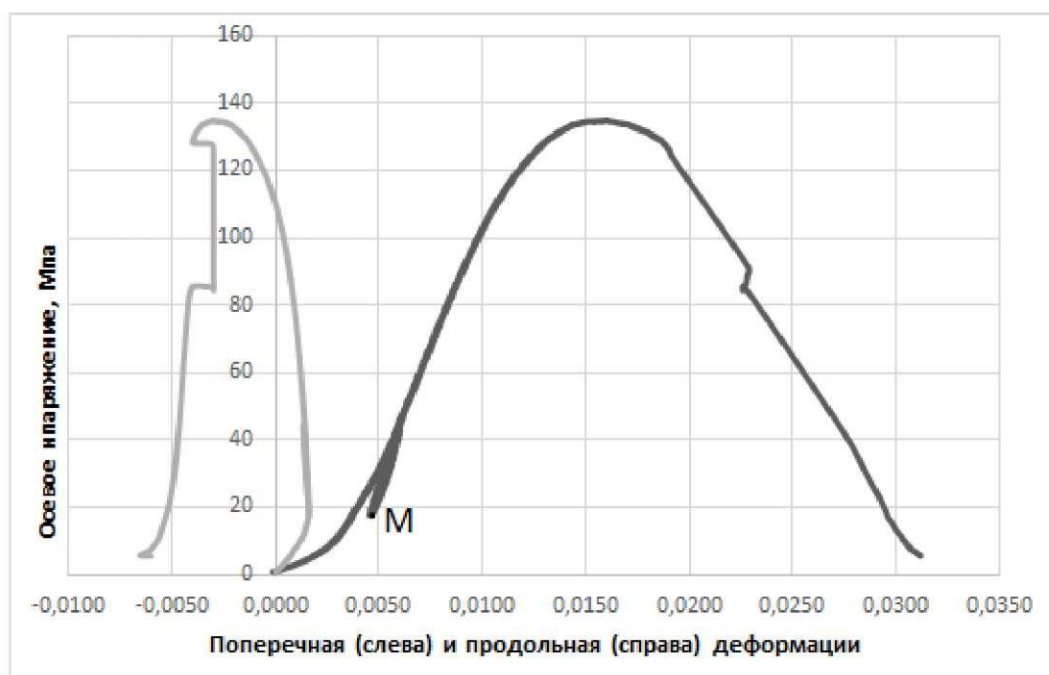


Рисунок 1 – Полная диаграмма деформаций для образца №5.

Анализ исходных экспериментальных данных. Была произведена сортировка имеющихся значений продольной и поперечной деформаций для группы из 17-ти образцов по соотношению между этими деформациями на уровне зафиксированного максимального гидростатического давления.

Построены диаграммы деформаций отдельно для выявленных трех подгрупп образцов. В первой подгруппе значение поперечной деформации при указанном уровне напряжения примерно равно значению продольной деформации. Во второй подгруппе отношение этих значений примерно равно 0,5 в третьей – 0,25.

Для каждой из подгрупп образцов была построена усредненная диаграмма продольной деформации до условного предела упругости. Эта диаграмма обладает следующей особенностью. Как видно из рисунка 1, промежуточная разгрузка (произведенная с уровня напряжения в 43 МПа до напряжения 17 МПа в точке М) указывает на возникновение остаточной деформации. Последнее, в свою очередь, означает изменение характера деформирования материала при достижении данного уровня напряжения. Это можно объяснить тем, что вначале, при нагружении из исходного состояния, происходит уплотнение материала, после чего его структура стабилизируется и материал начинает деформироваться упруго [1,5].

Чтобы отдельно рассмотреть два указанных участка диаграммы деформации для каждой из подгрупп образцов построены соответствующие усредненные диаграммы продольной деформации. Для примера такая диаграмма изображена на рисунке 2 для первой подгруппы. На этой же диаграмме представлены также дополнительные построения, на основе которых ниже излагаются результаты предлагаемого метода определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона.

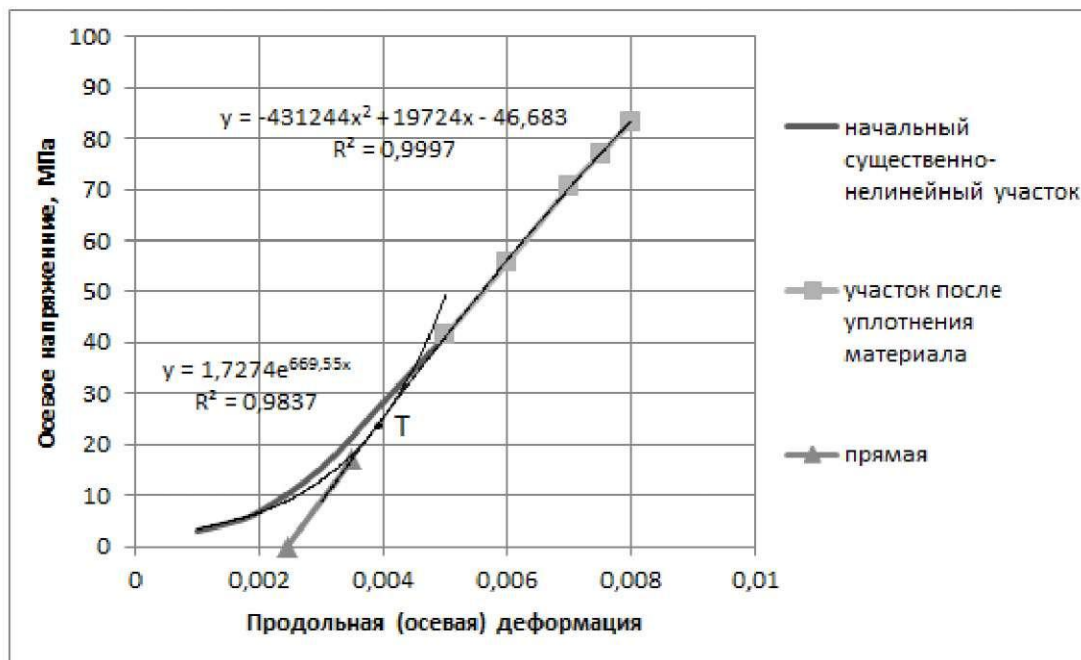


Рисунок 2 – Усредненная диаграмма продольной деформации до условного предела упругости.

Метод определения упругих констант по экспериментальным данным сложного нагружения. Для оценки характера упругой деформации на втором участке рассматриваемой траектории сложного нагружения необходимо опираться на закон Гука, который можно представить в следующем виде:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} (1 - 2c\nu), \quad (1)$$

где E - модуль упругости Юнга, ν - коэффициент Пуассона.

В этой формуле $c = \sigma_2 / \sigma_1$, это параметр вида напряженного состояния. Поскольку на указанном участке диаграммы $\sigma_2 = \text{const}$, параметр c постоянно изменяется с ростом σ_1 . Следовательно, при этом зависимость (1) не является строго линейной.

Исходя из указанных особенностей диаграммы $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$, начальный криволинейный участок этой диаграммы (на котором происходит уплотнение материала) аппроксимирован экспоненциальной зависимостью, а следующий за ним участок (с установившейся, стабильной структурой) отражается полиномиальной зависимостью (в соответствии с постоянно изменяющимся видом напряженного состояния). Точка сопряжения (точка Т на рисунке 2) этих двух участков и есть переход от нестабильного характера деформации к последующей монотонной деформации, подчиняющейся обобщенному закону Гука. Именно по второму из указанных участков (продольной) деформации определены упругие константы материала: E , ν . Для этого достаточно задать на этом участке два значения напряжения σ_1 и определить соответствующие им два значения деформации ε_1 . Последние, в свою очередь, находятся следующим образом.

Полученная полиномиальная зависимость $\sigma_1(\varepsilon_1)$ экстраполируется до уровня напряжения $\sigma_1 = 17 \text{ МПа}$, достигнутого при гидростатическом давлении. В этой точке диаграммы деформации проводится к получающейся кривой касательная, которая продолжается до нулевого значения напряжения σ_1 , доставляя тем самым начало координат для установившегося участка аппроксимированной диаграммы. Линейная зависимость $\sigma_1(\varepsilon_1)$ для $\sigma_1 \in [0; 17 \text{ МПа}]$ обуславливается тем, что при этом $\nu = 1$. От полученного таким образом начала координат отсчитывается деформация ε_1 , значения которой будут соответствовать задаваемым напряжениям на установившемся участке диаграммы деформации. В результате, подставляя последовательно в формулу (1) два значения напряжения σ_1 и деформации ε_1 , получим систему двух уравнений относительно E и ν .

Такая же процедура повторена для двух других групп образцов. Для теоретического построения диаграмм продольной и поперечной деформаций на их установившемся участке использованы (в качестве примера) следующие значения упругих констант, которые найдены при обработке усредненной диаграммы продольной деформации первой группы образцов: $E = 12142 \text{ МПа}$, $\nu = 0,377$. Полученное значение коэффициента Пуассона согласуется с результатами для разных типов песчаников, для большинства из которых $\nu > 0,3$ [6].

Для проверки приемлемости найденных упругих постоянных построены диаграммы продольной и поперечной деформации, отвечающие приращению осевого напряжения на установившемся участке диаграммы (рисунок 3). На диаграмме изображены экспериментальные данные для семи образцов из первой подгруппы. Как видно из этого рисунка, поперечная деформация отражается законом Гука с таким же приближением, как и продольная деформация, хотя для определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона была использована экспериментальная только продольная деформация. Разброс экспериментальных данных от образца к образцу объясняется неоднородностью структуры породы. Предельное значение рассматриваемого приращения осевого напряжения соответствует условному пределу упругости (σ_{1y}), который определялся согласно ГОСТ 21153.8-88 [7]. В данном случае для диаграммы, представленной на рисунке 1, оказалось $\sigma_{1y} = 120 \text{ МПа}$.

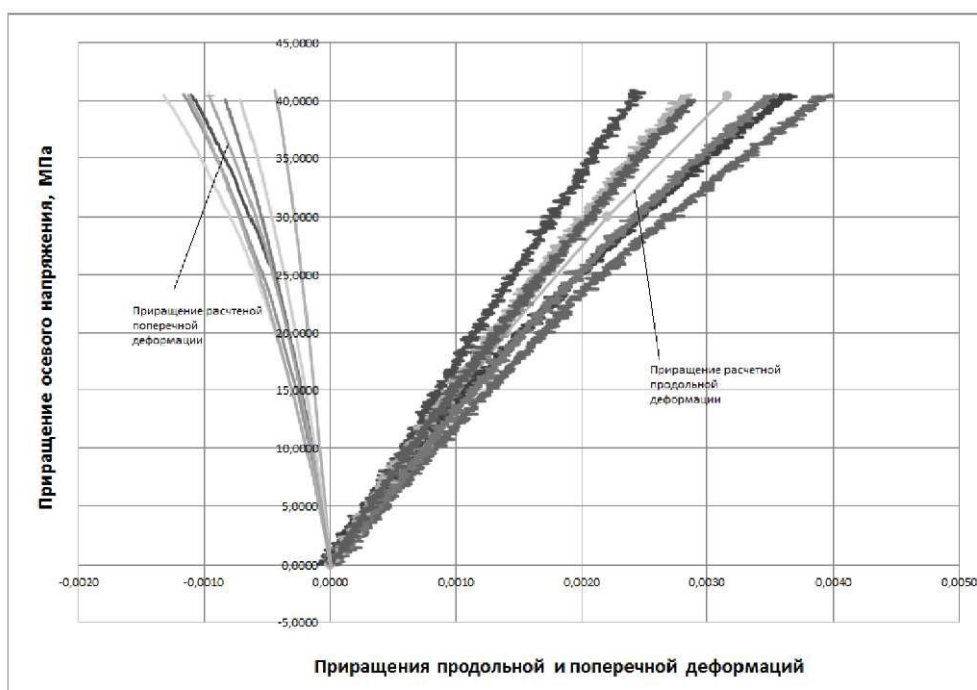


Рисунок 3 – Экспериментальные и расчетные графики приращений « $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$ ».

Выводы. Представленный метод определения упругих констант материала в предположении его изотропности, применительно к песчанику, достаточно хорошо соответствует экспериментальным данным в пределах их разброса. При этом в условиях сложного нагружения выделяется область действительно упругой деформации. Значения найденных упругих констант данного песчаника необходимы для последующего правильного разделения общей его деформации на упругую и неупругую составляющие и определения параметров деформационного упрочнения [8].

Литература

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: Недра. 1979. 301 с.
2. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов и др. М.: Недра. 1979. 269 с.
3. Введение в механику скальных пород: пер. с англ. / Под ред. Х. Бока. М.: Мир. 1983. 276 с.
4. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. М.: Недра. 1985. 271 с.
5. Paterson M.S. Experimental Rock Deformation- The Brittle Field- Berlin Heidelberg New York. Springer- Verlag. 1978. 254 p.
6. Ставрогин А.Н., Георгиевский В.С. Каталог механических свойств горных пород. 2-е изд. Л.: ВНИМИ. 1972. 267 с.
7. Михайлов-Михеев П.Б. Справочник по металлическим материалам турбино- и мотостроения. М.: МАШГИЗ. 1961. 838 с.
8. Рычков Б.А. О деформационном упрочении горных пород // Известия РАН. Механика твердого тела. 1999. № 2. С. 115-124.