

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВОГО  
ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА****RESEARCH OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL BASIS BY AN  
EQUIVALENT MATERIAL**

*Макалада эквивалент материал ыкмасы менен топурак негиздин механикалык касиеттерин изилдөө каралат. Бул материал негиздик моделдерди даярдоого ыңгайлуу, анткени, андан кезектеги күч-басымды жибергенде деформация тез токтойт. Караганды көмүр кенинен алынган байланыштыргыч топурактар пайдаланылган. Изилдөөлөр болсо тегиз деформация схемасы боюнча жүргүзүлгөн тажрыйбаларга арналган атайын түзүлүштө жүргүзүлгөн.*

**Ачык сөздөр:** эквивалент материалдар, изотроптук компрессия, жылышуу, үч катпатлдуу кысылуу, күч-басым траекториясы.

*В статье рассматриваются исследование механических свойств грунтового основания методом эквивалентного материала. Этот материал удобен для изготовления моделей основания, так как, деформации быстро затухают в нем после приложения очередной ступени нагрузки. Были применены связные грунты Карагандинского угольного бассейна, и исследования проводилась на специальной установке, которая предназначена для проведения опытов по схеме плоской деформации.*

**Ключевые слова:** эквивалентные материалы, изотропная компрессия, сдвиг, трехосное сжатие, траектория нагружения.

*This report described the research of the mechanical properties of the soil basis by an equivalent material. This material is suitable for producing models of a base so as to quickly attenuate deformations in him the next step after the application of the load. It was applied cohesive soils the Karaganda coal basin and research carried out in a special device, which is designed to conduct experiments on the diagram plane strain.*

**Keywords:** equivalent materials, isotropic compression, shear, triaxial compression, load path`s.

**Введение**

При изучении влияния сдвижения основания на характер его взаимодействия с фундаментами применяется моделирование на эквивалентных материалах [2], [4-6].

Обращаясь к конкретной задаче об установлении критериев подобия и констант подобия (переходных множителей) при моделировании методом эквивалентных материалов, необходимо установить, прежде всего, основные силы, которые определяют существенные черты изучаемого процесса.

В первом приближении можно ограничиться учетом двух родов сил, а именно: внешних сил – тяжести и внутренних сил – напряжений, возникающих в грунтовой толще. Если принять, что эти два рода сил наряду с подобием геометрических свойств системы, начальным ее состоянием и подобием граничных условий однозначно определяют поведение нашей системы, то на основании общего закона Ньютона и метода размерностей, можно получить определяющий критерий подобия, соответствующий действию указанных родов сил [1]. Конечно, в действительности в изучаемом физическом влиянии играют роль и другие силы, однако, их действие может быть для данного состояния грунтового массива отражено его механическими характеристиками прочности и деформативности.

Согласно методу эквивалентных материалов, предложенному Г.Н. Кузнецовым [1], имея данные о характеристиках механических свойств натурального и модельного грунта, мы можем для заданного отношения  $N_M/N_H$  подсчитать масштаб модели  $1/L - m_1$ . В качестве определяющих физико-механических характеристик должны быть взяты те характеристики, которые играют в данном процессе ведущую роль.

При подборе материалов – эквивалентов сыпучих грунтов можно в первом приближении в качестве определяющих характеристик пользоваться совокупностью значений сцепления и угла внутреннего трения  $C; \varphi$ . Для обеспечения условий подобия процессов разрушения необходимо соблюдать равенство [1,7]:

$$C_m - 1/L \cdot \gamma_M/\gamma_H \cdot C_H \quad (1)$$

$$tg\varphi_m - tg\varphi_H$$

где  $1/L - m_1$  - линейный масштаб модели;

$\varphi_m, \varphi_H$  - удельный вес материалов модели и натуры;

$C_m, C_H$  - сцепление материалов модели и реального грунта натуры.

При моделировании связных грунтов (суглинков) Карагандинского угольного бассейна по данным эквивалентного материала, для установления масштаба модели, прежде всего, следует определить следующие физико-механические характеристики этой песчаной смеси:  $c, \varphi, E, \gamma$ .

**Методика и результаты исследования механических свойств эквивалентного материала.** Материалом модели грунтового основания берется смесь, состоящая из 97% мелкого кварцевого песка и 3% веретенного масла по весу, имеющая сцепление, что позволяет моделировать связные грунты Карагандинского угольного бассейна [8]. Этот материал удобен для изготовления моделей основания, деформации быстро затухают в нем после приложения очередной ступени нагрузки.

В связи с развитием численных методов изучения механических свойств грунтов в последние годы появилось немало работ, имеющих целью разработку простых феноменологических моделей для описания сложного комплекса упруго-пластических свойств последних [3]. В практическом отношении наибольший интерес представляют исследования, в результате которых получены простые деформационные модели, требующие экспериментального определения минимального количества характеристик. Преобладающее большинство исследований проводят на приборах трехосного сжатия (стабилометрах) [9].

Исследования проводятся на специальной установке, схема которой изображена на рисунке 1.

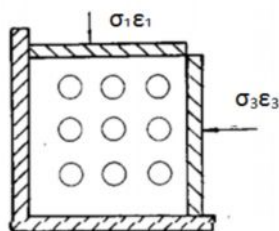


Рис.1. Специальная установка для исследования

Образец имеет размеры 100x100мм в плоскости деформирования и длину 200мм.

Напряжения измеряются динамометрами типа марки ДОСМ-3-01, а деформации индикаторами часового типа ценой деления 0,01мм.

В ходе исследования берутся следующие схемы нагружения:

а) изотропная компрессия – образец нагружается постепенно и одновременно увеличиваемыми равными напряжениями  $\sigma_1 - \sigma_3$ ;

б) одноосное нагружение – образец нагружается до заданного уровня  $\sigma_1 = \sigma_3$  изотропно, а затем напряжение  $\sigma_1$  постепенно увеличивается;

в) сдвиг – образец нагружается до некоторого  $\sigma_1 - \sigma_3$  изотропно, а потом  $\sigma_1$  увеличивается, а  $\sigma_3$  уменьшают равными ступенями.

Опыты (а, б, в) проводятся при начальном значении  $\sigma_1 = \sigma_3 = 0,20; 0,40; 0,80; 0,90; 1,80; 3,20 \text{ Н/см}^2$ . По каждой схеме нагружения проводятся 10 серий испытаний. Схема нагружения приведена на рисунке 2. Результаты испытаний на изотропную компрессию приведены на рисунке 3. Одноосное сжатие (рис. 4) на первом этапе нагружения сопровождается уменьшением объема образца, а потом пластическое течение становится равнообъемным. Выход в критическое состояние при однослойном сжатии четко не фиксируется, т.к. этот выход происходит под малым углом встречи  $\alpha$ , и деформирование, и изменение размеров образца сопровождается кажущимся безграничным упрочнением. Результаты испытания на сдвиг приведены на рисунке 5. Графики четко выполаживаются при достижении критической поверхности. Из паспорта прочности (рис.2) следует, что траектория нагружения в условиях плоской деформации не влияет на прочность грунта. Следует отметить, что в испытаниях по схеме плоской деформации угол внутреннего трения на 12-17% меньше, чем при трехосных испытаниях [6].

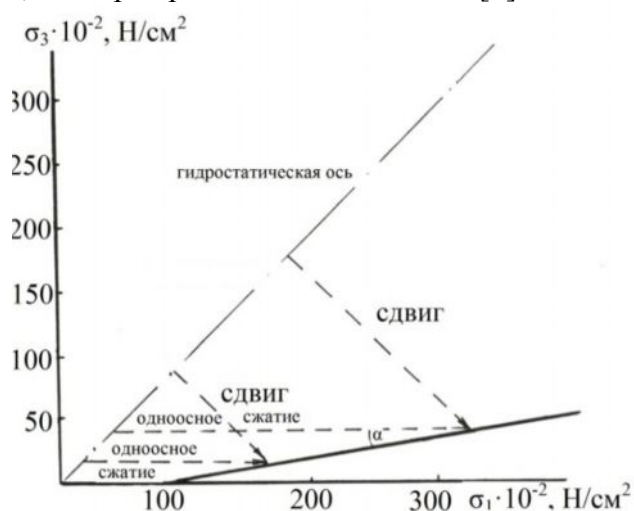


Рис. 2. Паспорт прочности эквивалентного материала по результатам испытаний

По приведенным экспериментальным испытаниям получены необходимые параметры ( $E, C, \varphi, \gamma$ ) для выбора масштаба модели.

Физико-механические характеристики натурального грунта (Карагандинский суглинок) и эквивалентного материала приведены в таблице 1.

Подставляя значения сцепления и удельного веса Карагандинского суглинка и эквивалентного материала в формулу (1), после некоторого преобразования определяем масштаб модели:

$$m_1 = \frac{C_m}{C_n} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_m} = \frac{0,90}{40} \cdot \frac{2,05}{1,7} = \frac{1}{40}$$

Следовательно, линейный масштаб модели и натурального объекта (здание, фундаменты, сооружения), определяется соотношением прочностных свойств (сцепления) суглинка и эквивалентного материала и равен 1:40.

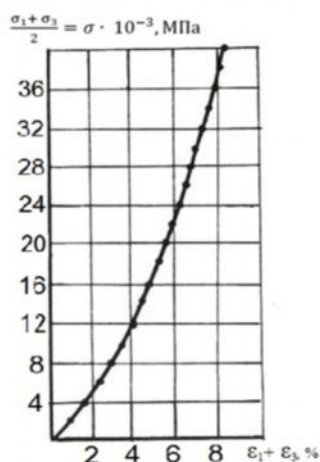


Рисунок 3. Результаты опытов с эквивалентным материалом на изотропную компрессию с разгрузкой

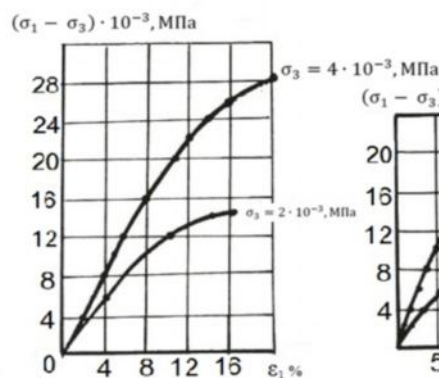


Рисунок 4. Результаты опытов с эквивалентным материалом на одноосное сжатие с разгрузкой

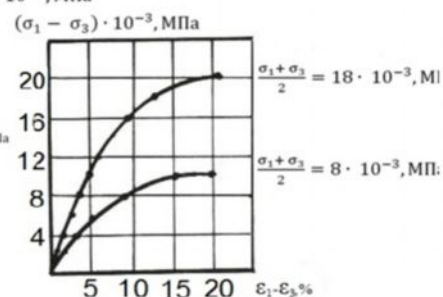


Рисунок 5. Результаты опытов с эквивалентным материалом на сдвиг с разгрузкой

Таблица 1-Физико-механические свойства натурального грунта и эквивалентного материала

Наименование грунтов насосов и модельного материала	Удельный вес, $\gamma$ , $\text{кН}/\text{м}^3$	Сцепление $C$ , кПа	Угол внутреннего трения, град.	Модуль деформации $E$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\nu$
1	2	3	4	5	6
Суглинок	2,05	40	22	20	0,3
Эквивалентный материал	1,7	0,90	39	0,27	0,25

### Список литературы

1. Кузнецов Г.Н. Изучение проявления горного давления на моделях из эквивалентных материалов[Текст] / Г.Н.Кузнецов и др. – М.: Углетехиздат, 1973. -180с.
2. Афанасьев Г.В. Экспериментальное исследование деформаций модели квадратной плиты на грунтовом слое, подстилаемом несжимаемым сместившимся основанием[Текст] / Г.В.Афанасьев. // В. кн.: «Строительные конструкции», вып.1. – Киев: Будивельник, 1975. -с.93-101.
3. Barden L. and Mockton I. Tests on model pile groups in soft and stiff clay. – Geotechnique, London, vol.20, N1, 1980, p.94-96.
4. Голи А.В.Увеличение несущей способности основания путем изменения горизонтальных напряжений[Текст] / А.В. Голи, А.Ж. Жусупбеков,В.Г. Шатунов // Фундаментостроение в условиях слабых и мерзлых грунтов: Межвуз. темат. сб. науч.тр. – Л.: ЛИСИ, 1983. - с.40-46.
5. Голли А.В.Грунтовый анкер с большой несущей способностью[Текст] / А.В. Голи, А.Ж. Жусупбеков // На стройках России. – 1984. -№3. - 34с.
6. Zhusupbekov A. Zh., Cholod A.F., Jousoupbekova V.V. Investigations of soil straining under vertical load by horizontal displacement. Proc. of the Inr. Geol. Congress, Kyoto, Japan, 1992, p.110-111.
7. Жусупбеков А.Ж.Влияние горизонтальных деформаций на кривизну подрабатываемого здания[Текст] / А.Ж.Жусупбеков, Т.М.Байтасов // Труды международного симпозиума «Реконструкция Санкт-Петербург-2005». -Л.: 1992, том.2. – с. 21-28.

8. A.Zh. Zhussupbekov, T. Tanaka and A.K. Aldungarova, “The effect of reinforcement on stability of model of the dam on undermining soil ground”. New Innovations and Sustainability, Fukuoka International Congress Center, 9-13 November, 2015, 184.

9. Kaldanova B., A. Hasegawa., K. Kaneko. Comparison of mechanical properties of sand by using a triaxial compression device. The Journal of Hachinohe Institute of Technology. Hachinohe, Japan. 2015, №34.