

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЙ МАССИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЕЕ ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ

Сеитов Б.М., Сатыбаев А.Т.

Ошский технологический университет им. акад. М.М. Адышева,
Бишкек, Кыргызстан, eakr.info@gmail.com

Аннотация: В данной статье исследуется влияние начального напряженного состояния скальных оснований на опытные величины модуля деформации, определяемые методом нагружения пород штампом на модели с целиком из гипсоизвестнякового раствора. Определяются прочностные и деформационные характеристики на сжатие и растяжения образцов по стандартной методике, а также на основании статических опытов в условиях плоского напряженного состояния на модели из эквивалентных материалов с целиком. Путем прикладывания горизонтальных нагрузок на боковые грани модели и вертикальных на целиком устанавливается закономерности изменения модуля общей деформации E_{00} в зависимости горизонтальных напряжений.

Ключевые слова: штольня, камеры, скважины, рычажная силовая установка, деформационные свойства массивных скальных пород, штамп, гидравлические подушки, радиальный пресс, криволинейные эпюры.

THE INITIAL INTENSE CONDITION OF THE ROCKY BASES OF MASSIVE STRUCTURES AND HER DEFORMED

Seitov B.M., Satybaev A.T.

Osh Technological university named
after acad. M.M. Adysheva, Bishkek, Kyrgyzstan

Abstract: The influence of the initial intense condition of the rocky bases on skilled sizes of the module of deformations determined by a method loading of breeds by a stamp on model with wholly from plaster limestone of a solution is investigated. Are defined toughness and deformed of the characteristic on compression and stretchings of samples on a standard technique, and also on the basis of static experiences in conditions of the flat intense condition on model from

equivalent materials with wholly. By applying horizontal loadings on lateral sides of model and vertical on целик is established laws of change of the module of general deformation E_0 in dependence of horizontal pressure.

Key words: *adit, chambers, wells, deformation properties of massive rocks, stamp, lever power plant, hydraulic cushions, radial press, curvilinear diagrams.*

Экспериментальные исследования в полевых условиях в большинстве случаев проводятся на горных выработках – в штольнях, камерах и скважинах. Возникновение этих выработок приводит к трансформации поле природных напряжений.

При этом особенно возрастают составляющие напряжений на площадках, перпендикулярных направлению силового воздействия. Для оценки деформационных свойств массивных скальных пород разработано [1,2] несколько статических методов – штампа, гидравлических подушек, радиального пресса, скважинного дилатометра и т.д.

Крупномасштабные натурные исследования напряженно-деформированного состояния скальных оснований массивных сооружений относятся к дорогостоящим процедурам. Полученные при помощи различных методов на одних и тех же массивах скальных пород дают существенный разброс. Кроме этого, не вполне определимо влияние на результаты испытаний природных напряжений. Поэтому считается целесообразным отдать предпочтение изучению лабораторных моделей, адекватных по физическим, прочностным и деформационным характеристикам скальных оснований [3].

Экспериментальная задача моделирования скальных оснований массивных сооружений с учетом начального напряженного состояния рассматривалась на модели из эквивалентных, в частности, гипсоизвестняковых материалов с целиком (Рис. 1).

При этом в материале реализовывалось плоское напряженное состояние. Опыты были поставлены в лаборатории скальных оснований Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева.

Из частей 1 и 2 материала модели изготовлены образцы для испытания на сжатие и растяжение. Эксперимента на сжатие осуществлялись на рычажном прессе с соотношением плеч 1:5 по стандартной методике на двенадцати образцах с размерами 0,04x0,04x0,14. Для проведения опытов на растяжение были подготовлены шесть образцов с размерами 0,04x0,06x0,24 м.

Результаты прозвучивания образцов на приборе УКБ-1М было установлено, что динамический модуль упругости колеблется в пределах:

- $E_0 = (2300 \dots 3200)$ МПа, для образцов на сжатие;
- $E_0 = (2838 \dots 3836)$ МПа, для образцов на растяжение.

Такой разброс значений динамических модулей упругости объясняется неоднородностью, обусловленной технологией изготовления модельного полотна.

Результаты испытания образцов на сжатие и растяжение приведены в таблице 1.

Таблица 1

№	Наименование	Ед. изм.	Величина	Примечание
1	Предельная призмная прочность модельного полотна $R_{сж}^{np.}$	МПа	3,22÷5,3	Образцы размером $(4 \times 4 \times 14) \cdot 10^{-2}$ м, испыт. на сжатие
2	Статический модуль общей деформации $E_0^{сж.}$	МПа	2300÷3200	
3	Коэффициент поперечной деформации $\mu_{сж}$	-	0,188÷0,290	
4	Предельная призмная прочность модельного полотна $R_{рас}^{np.}$	МПа	0,45÷0,61	Образцы размером $(4 \times 6 \times 24) \cdot 10^{-2}$ м, испыт. на растяжение
5	Статический модуль общей деформации $E_0^{рас.}$	МПа	2838÷3836	
6	Коэффициент поперечной деформации $\mu_{рас.}$	-	0,187÷0,403	

Первоначально на выделение целика из полотна модельного материала возлагалась надежда на возможность определения деформационных и прочностных характеристик путем испытаний его на сжатие, отрыв и сдвиг. Такой подход мог бы дать преимущества сравнительно с опытами на жестких штампах.

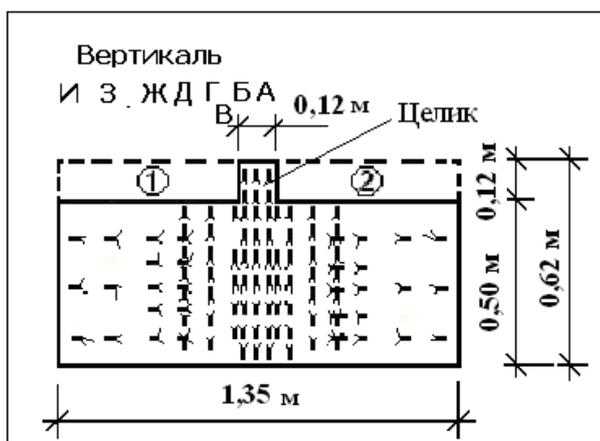


Рис. 1. Модельное полотно из гипсоизвестнякового материала с наклеенными тензодатчиками сопротивления.

Обеспечение жесткости целика проверялось по показателю гибкости М.И. Горбунова-Посадова [1] в виде

$$\Gamma = \frac{12\pi a^2 v E_0 (1 - \mu_1^2)}{H^2 E_1 (1 - \mu_0^2)} \quad (1)$$

здесь $2a$, $2v$ – соответственно меньшая и большая стороны целика; h – высота целика; $E_1 = E_0$ и $\mu_1 = \mu_0$ – соответственно модуль упругости и коэффициент поперечной деформации целика и модельного материала.

Формула (1) позволяет установить ограничение на высоту целика. Поскольку имеет место неравенство $0 \leq \Gamma \leq 8/\sqrt{\alpha}$, где $\alpha = a/v$, то для рассматриваемого случая $\alpha = 0,75$, при котором жесткость целика считается конечной. Полагая для Γ предельный случай, т.е. $\Gamma = 8/\sqrt{\alpha}$, будем иметь $\Gamma = 9,24$. Решая зависимость (1) относительно h , получаем наименьшую высоту «целика-штампа» из условия обеспечения жесткости целика по отношению к испытываемому модельному основанию, равную

$$H = \left(\frac{3\pi a^2 v \sqrt{\alpha}}{2} \right)^{1/3} \approx 10,552 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Полученный результат позволяет утверждать, что условие жесткости ($H = 12 \cdot 10^{-2} \text{ м} > 10,552 \cdot 10^{-2} \text{ м}$) целика выполняется.

Будем считать, следуя [1, 2], что материал модели по своим механическим характеристикам соответствует реальному массиву скальных пород.

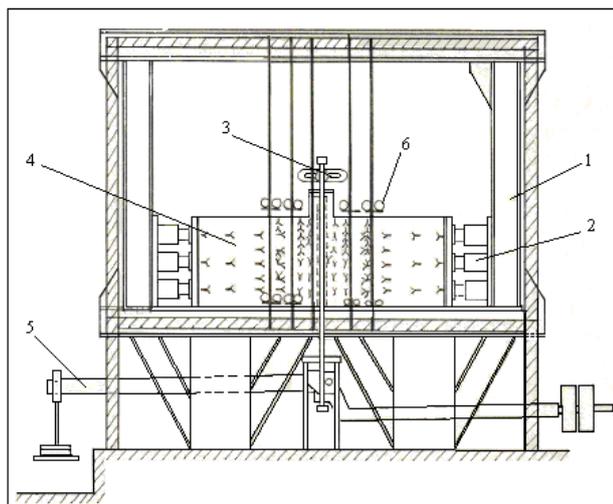


Рис. 2. Схема испытания скальных оснований гидротехнических сооружений на плоской модели с целиком из эквивалентных материалов: 1 – стенд; 2 – гидравлические домкраты 25 тн; 3 – динамометр ДС-5; 4 - плоская модель с целиком; 5 – рычажная силовая установка с соотношением плеч 1:10, для вертикальной нагрузки модели; 6 – мессуры, индикаторы часового типа (тысячники).

На рис. 2 схематично изображен рычажной стенд с гипсоизвестняковой моделью с целиком. Эксперимент состоял из отдельных опытов с различными значениями равномерного давления, прикладываемого по горизонтали к боковым граням плоской модели (σ_x) и вертикали на «штамп-целик» (σ_z). При нагружении выполнялось условие, в соответствии которому составляющие напряжений σ_x и σ_z не должны превышать 70% призмной прочности, установленной при испытаниях образцов на сжатие и растяжение (табл. 1).

Горизонтальные давления (рис. 2) создавались при помощи шести домкратов (по три домкрата с каждой стороны) и выдерживались постоянными при значениях: 0; 0,05; 0,10; 0,15 МПа. Затем производилась

разгрузка модели в обратном режиме. Результаты опытов показали, что после разгрузки модель полностью восстанавливала размеры и форму. Иными словами, остаточные деформации не возникали.

Дальнейшие опыты состояли в следующем - при постоянном горизонтальном давлении на модель прикладывались вертикальная нагрузка тремя ступенями на целик через жесткий штамп с последующей разгрузкой. Такое ступенчатое изменение потребовалось для набора данных, необходимых для статистической обработки. При этом величина вертикального давления доводилось до максимума 0,3 МПа, а за тем производилась полная разгрузка. После снятия нагрузки модель выдерживалась не менее двух часов для ликвидации упругого последствия. Тот же опыт повторялся для всех значений горизонтальных давлений.

Для измерения деформаций модельного поля использовались проволочные тензодатчики сопротивления, методика применения которых апробировалось в [4, 5]. Относительные деформации определялись с помощью комплекта цифровой тензометрической аппаратуры ЦТК-1 с точностью $1 \cdot 10^{-5}$. Тензодатчики в количестве 194-х штук, наклеены на модельное поле симметрично относительно центральной оси на видимом и не видимом фасадах. Поэтому значения деформаций определялись как среднее результатов по двум датчикам по вертикали А, а для остальных - по четырем датчикам.

Показания датчиков фиксировались после приложения нагрузки. Следующий замер производился после 30-минутной выдержки с целью выяснения изменения деформаций во времени. Оказалось, что фактор времени не имеет существенного значения. Как казывается выше, между сериями опытов модельное полотно оставалось ненагруженным в течение двух часов.

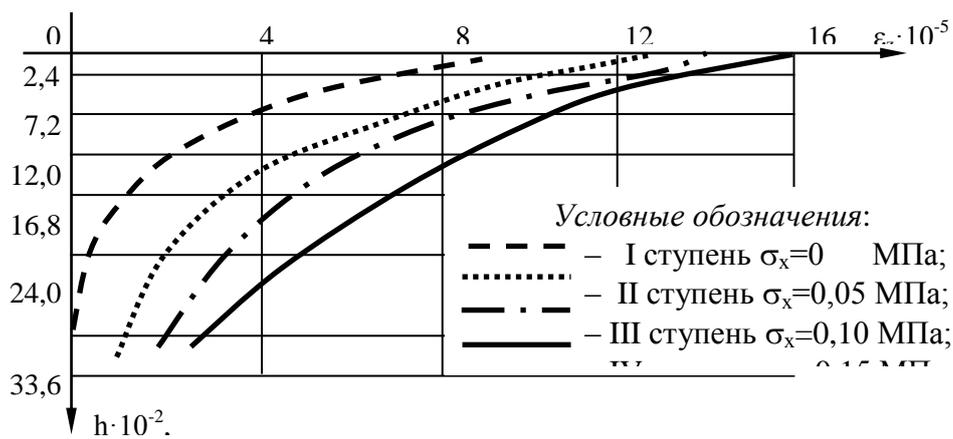
Данные по изучению влияния начального напряженного состояния на деформируемость модели представлены на рис. 3 в виде эпюр изменения относительной продольной деформации ε_z от глубины. Величина

вертикального давления сохраняется, как уже отмечалось, постоянной и равной 0,3 МПа, а горизонтальное давление изменяется ступенями.

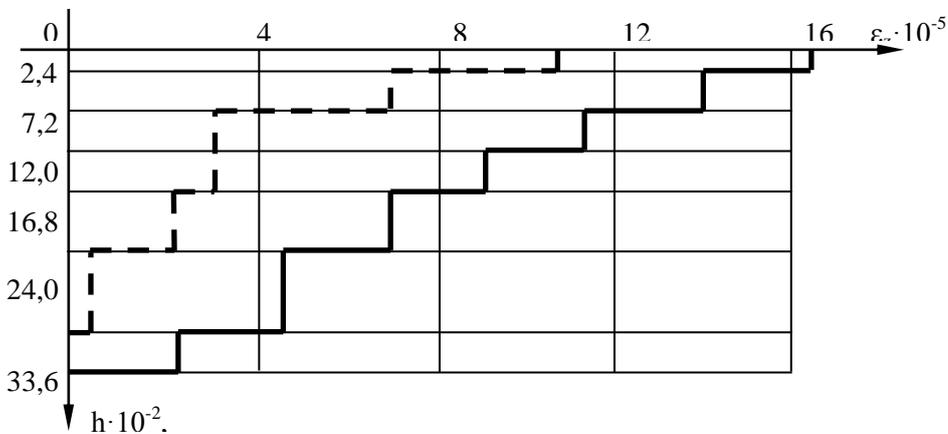
Результаты опытов показывает, что:

- Наибольшие относительные продольные деформации ε_z имеет место в точках модельного поля, расположенных в целике и вблизи него;
- С увеличением горизонтальных давлений деформации ε_z на всех уровнях уменьшаются.

Абсолютную осадку какой-либо точки модельного поля можно определить как площадь эпюры $\varepsilon_z - h$ (Рис. 3а). Напомним, что значение деформаций фиксировались в определенных точках модельного поля, причем горизонтальные давления прилагались ступенями. Криволинейные эпюры $\varepsilon_z - h$ для первого и четвертого этапов горизонтального нагружения заменим ступенчатым графиком (Рис. 4б) обеспечением равенства этих площадей.



а)



б)

Рис. 3. График изменения относительных деформаций в вертикали «Б» с глубиной при $\sigma_z=0,3$ МПа и $\sigma_x=0,0 \div 0,15$ МПа:

- а) полученные результаты опытов; б) приведенный график для определения осадка под штампом в вертикали «Б».

Величину абсолютной осадки S подошвы «целика-штампа» с использованием ступенчатой эпюры $\varepsilon_z - h$ (Рис. 3б) определим по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n h_i \varepsilon'_{zi} \quad (2)$$

где: h_i – толщина выделенного элемента в пределах которого относительная деформация считается постоянной, ε_{zi} – относительная деформация отдельных элементов под «целиком-штампом».

При известной величине осадки модуль общей упругости легко вычисляется. Имеем
$$E_0 = \frac{K}{S_0}, \quad (3)$$

Здесь для K получено [4]

$$K = \omega_{пл} (1 - \mu_0^2) v P$$

причем $\omega_{пл}$ – коэффициент, зависящий от местоположения точки, P – величина давления под «целиком-штампом» $P=0,3$ МПа), v – ширина целика.

Конкретные расчеты, приведенные по данным опытов, дали следующие значения модуля общей деформации $E_0=8083,3$ МПа, который превышает значение $E_0=2923,22$ МПа, установленное при отсутствии бокового давления. Последнее значение E_0 соизмеримо с полученными на образцах (табл. 1). Следовательно, влияние схемы напряженного состояния на механические параметры оказываются ощутимым.

Использованная литература

1. Ухов С.Б. Скальные основания гидротехнических сооружений. – М.; Энергия, 1975. – 263 с.
2. Турчанинов И.А., Марков Г.А. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок. – Л.: Наука, 1978. – 256 с.
3. Терновский И.Н. Оценка деформационных свойств трещиноватых скальных пород по результатам полевых статических испытаний жестким штампом. Кандидатская диссертация. – М.: МИСИ, 1972. – 147 с.

4. Сатыбаев А.Т., Сеитов Б.М. Экспериментальные исследования деформационных свойств скальных оснований на моделях // Мат. н.-практ. конф., посв. 100-л. г. Кызыл-Кия. – Кызыл-Кия: ККФ ОшГУ, 1998. – 237 с.
5. Сатыбаев А.Т., Ухов С.Б. Выбор метода замера деформации низко модульного материала // Мат. всесоюз. конф. по измерительной технике и технологии. – Чимкент, 1986. – 301 с.