

## НАЧАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЙ МАССИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ЕЕ ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ

*Тоо негиздеринин баштапкы чыналуу абалынын штамп ыкмасы менен аныкталуучу  $E_0$  деформациянын модулюнун чондугуна таасир бериши гипс жана известняк материалдарынан жасалган бутуму бар моделде изилденет.*

*Исследуется влияние начального напряженного состояния скальных оснований на опытные величины модуля деформации  $E_0$ , определяемые методом нагружения пород штампом на модели с целиком из гипсоизвестнякового раствора.*

*The influence of the initial intense condition of the rocky bases on skilled sizes of the module of deformation  $E_0$ , determined by a method loading of breeds by a stamp on model with wholly from plaster limestone of a solution is investigated.*

Оценка механических свойств и определение деформационных характеристик скальных оснований массивных сооружений, находящихся под внешним силовым воздействием, является актуальной задачей.

Экспериментальные исследования в полевых условиях в большинстве случаев проводится 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 пресси, 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 цементом (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 (Рис. 2а) по стандартной методике на двенадцати образцах с размерами 0,04x0,04x0,14. Для проведения опытов на растяжение (рис. 2б) были подготовлены 6 образцов с размерами 0,04x0,06x0,24 м.

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

- $E_{\delta} = (2300... 3200)$  МПа, для образцов на сжатие;
- $E_{\delta} = (2838... 3836)$  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 $R_{сж}^{пр.}$	МПа	3,22÷5,3	Образцы размером (4x4x14)·10 <sup>-2</sup> 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 $R_{рас.}^{пр.}$	МПа	0,45÷0,61	Образцы размером (4x6x24)·10 <sup>-2</sup> м, испыт. на
5	Статический модуль общей деформации	МПа	2838÷3836	

	$E_0^{рас.}$			растяжение
6	Коэффициент поперечной деформации $\mu_{рас.}$	-	0,187÷0,403	

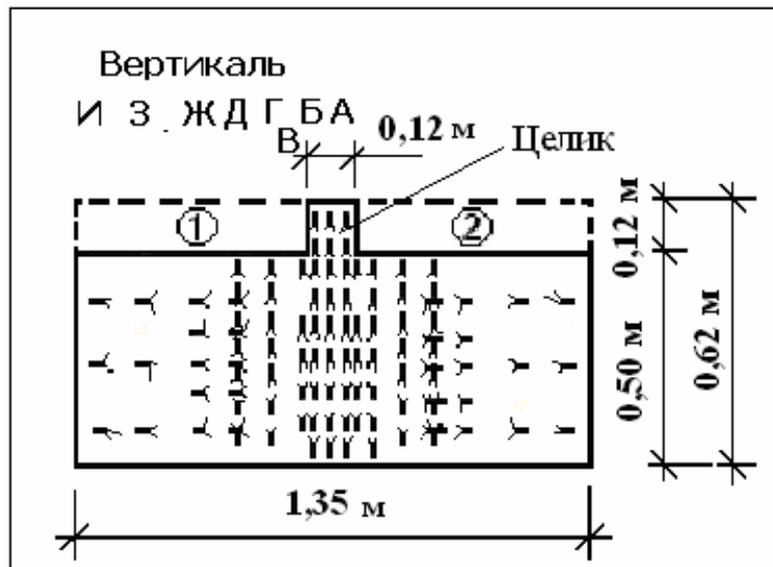


Рис. 1. Модельное полотно из гипсоизвестнякового материала с наклеенными тензодатчиками сопротивления.

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.

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  $\Gamma$  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.

#### Методика проведения эксперимента.

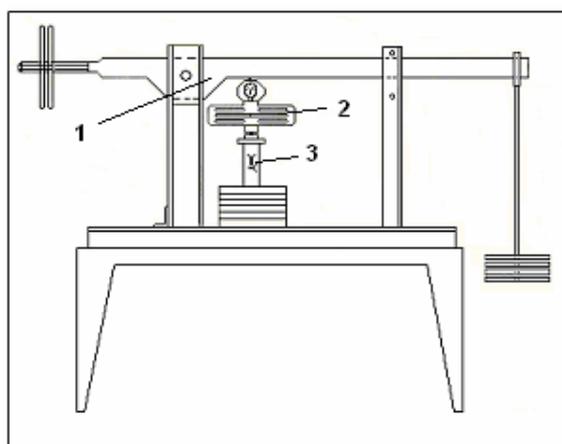
На рис. 3, а схематично изображен рычажной стенд с гипсоизвестняковой моделью с целиком. Эксперимент состоял из отдельных опытов с различными значениями равномерного давления, прикладываемого по горизонтали к боковым граням плоской модели ( $\sigma_x$ ) и вертикали на «штамп-целик» ( $\sigma_z$ ). При нагружении выполнялось условие, в соответствие с которым составляющие напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_z$  не должны превышать 70 % призмной прочности, установленной при испытаниях образцов на сжатие и растяжение (табл. 1).

Горизонтальные давления (рис. 3, а) 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 доводился до максимума 0,3 МПа, а затем 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.

а)



б)

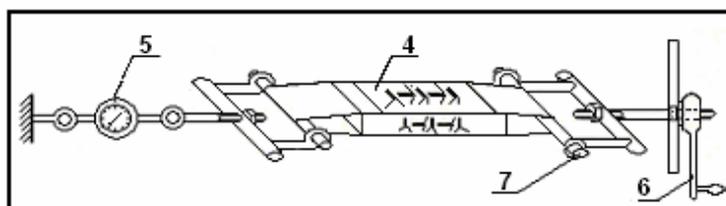


Рис. 2. Испытание гипсоизвестняковых образцов на рычажном прессе (а) и приборе для испытания образцов на растяжение (б): 1 – рычажный пресс; 2 – динамометр ДС-0,5; 3 – образец на сжатие; 4 – образец на растяжение; 5 – динамометр ДР-0,5; 6 – рукоятка для передачи растягивающей нагрузки; 7 – приспособление для захвата образца

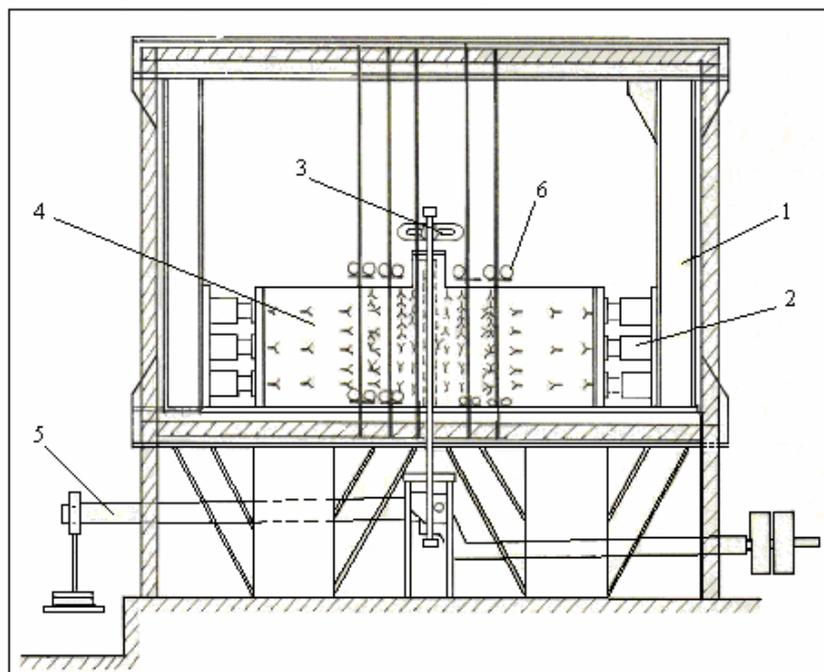


Рис. 3. Схема испытания гипсоизвестняковой модели с щеликом: 1 – стенд для испытания плоских моделей; 2 – гидравлические домкраты; 3 – динамометр пятитонный; 4 - плоская модель с щеликом; 5 – рычажная силовая установка с соотношением плеч 1:10, для вертикальной нагрузки модели; 6 – мессуры, индикаторы часового типа (тысячники)

Для измерения деформаций модельного поля использовались проволочные тензодатчики сопротивления, методика применения которых апробировалась 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 согласно схеме рис. 2б симметрично относительно центральной оси на видимом и не видимом фасадах. Поэтому значения деформаций определялись как среднее результатов по двум датчикам по вертикали А (рис. 2б), 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 указывалось выше, между сериями опытов модельное полотно оставалось ненагруженным в течение двух часов.

Анализ результатов эксперимента. Данные по изучению влияния начального напряженного состояния на деформируемость модели представлены на рис. 4, а в виде эпюр изменения относительной продольной деформации  $\varepsilon_z$  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  $\varepsilon_z$  имеют место в точках модельного поля, расположенных в целике и вблизи него;
- с увеличением горизонтальных давлений деформации  $\varepsilon_z$  на всех уровнях уменьшаются.

Абсолютную осадку какой-либо точки модельного поля можно определить как площадь эпюры  $\varepsilon_z - h$  (рис. 4, а). 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.

Величину абсолютной осадки  $S$  подошвы «целика-штампа» с использованием ступенчатой эпюры  $\varepsilon_z - h$  (рис. 4, б) определим по формуле

$$S = \sum h_i \varepsilon_{zi} , \quad (2)$$

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

При известной величине осадки модуль общей упругости легко вычисляется. Имеем

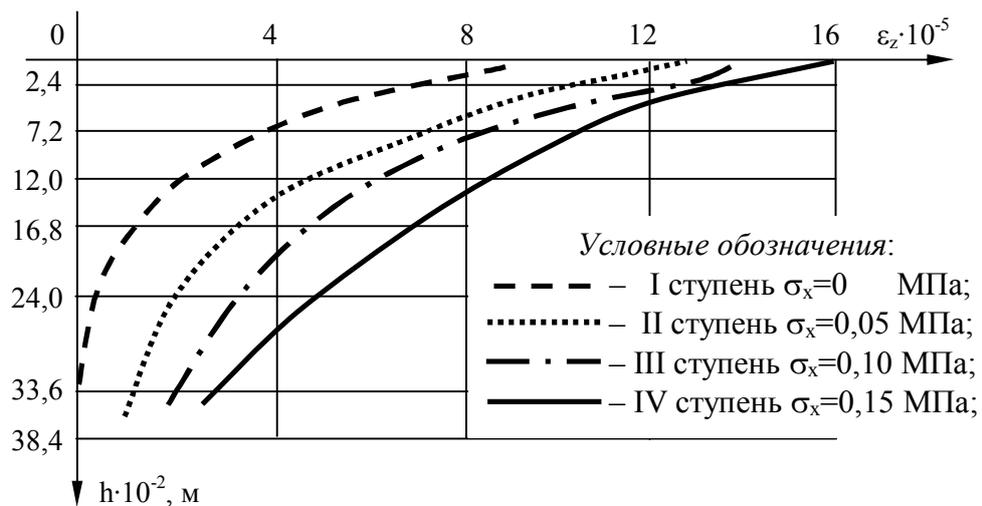
$$E_0 = \frac{K}{S_0} , \quad (3)$$

Здесь для  $K$  получено /4/

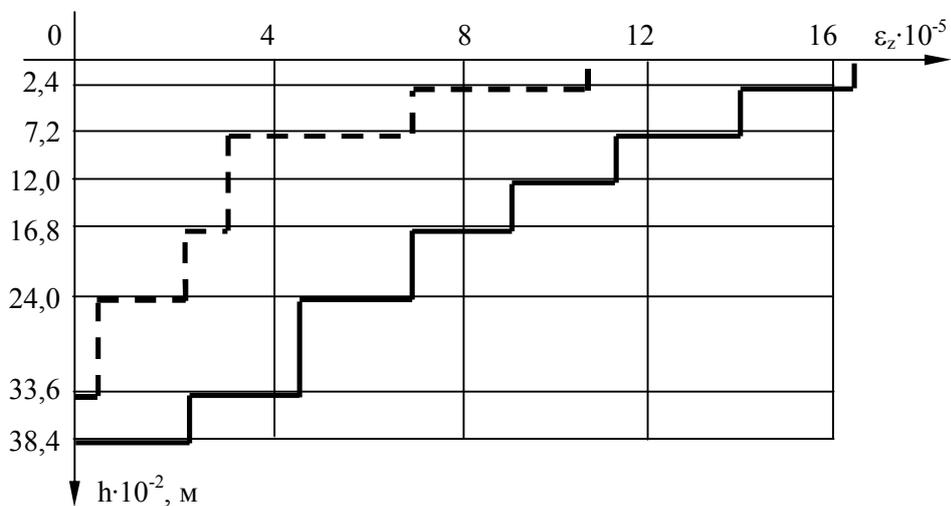
$$K = \omega_{пл} (1 - \mu_0^2) \nu P ,$$

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



а)



б)

Рис. 4. 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»

### Список литературы

1. Ухов С.Б. Скальные основания гидротехнических сооружений. – М.: Энергия, 1975. - 263 с.
2. Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.И., Козырев А.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: Канд. дисс. – М.: МИСИ, 1972. – 147 с.
4. Сатыбаев А.Т., Сеитов Б.М. Экспериментальные исследования деформационных свойств скальных оснований на моделях // Материалах научно-практической конференции, посвященные 100-летию г. Кызыл-Кия. – Кызыл-Кия: ККФ-ОшТУ, 1998. – 7 с.
5. Сатыбаев А.Т., Ухов С.Б. Выбор метода замера деформации низко модульного материала // Материалы всесоюзной конференции по измерительной технике и технологии. – Чимкент: Чимкентский химико-технологический институт, 1986. –3 с.