

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

А. А. МКРТЧЯН

О ПРИМЕНЕНИИ ВАЛЬЦМАССЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГРУНТАХ И СООРУЖЕНИЯХ

1. Известно, что решение некоторых задач инженерной сейсмологии, а также сейсмостойкости сооружений, в особенности протяженных в плане, требует учета различия фаз в колебаниях грунта и в основании сооружения. С этой целью в наших исследованиях осуществляется выбор такого материала, который мог бы моделировать механические свойства грунтов и строительных конструкций. В соответствии с результатами теории расширенного механического подобия [1], относительные деформации на моделях из низко модульного материала получаются достаточно большими из-за $\gamma \gg 1$. Это облегчает возможности проведения измерений на моделях. Автором был применен материал — вальцмасса с низким модулем упругости, состоящий в основном, из желатина, глицерина и воды. Упругие и пластические свойства вальцмассы зависят от соотношений ее составных частей, способа ее изготовления, а также температуры и влажности окружающей среды. Модуль упругости колеблется в пределах $0,5-15 \text{ кг см}^2$, коэффициент Пуассона $0,35-0,5$.

При нагружении образцов из вальцмассы наблюдаются деформации ползучести, которые увеличиваются при изменении температуры и влажности воздуха.

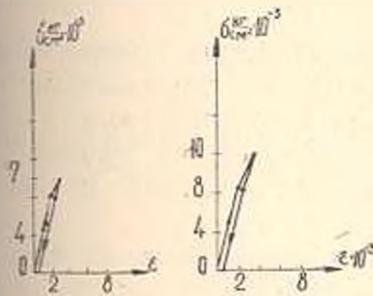
Деформации ползучести зависят и от ряда других факторов, как например, величины напряжения, скорости, продолжительности действия нагрузки, температуры, а также состояния материала в момент загрузки [2]. При изучении закономерностей деформирования и интерпретации полученных результатов автор нашел целесообразным произвести опыты в нормальных лабораторных условиях (температура $15^{\circ}-17^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $75-80\%$) при возможно малой длительности загрузки и снятия показаний с приборов с тем, чтобы практически исключить влияние деформации ползучести. Для получения механических характеристик вальцмассы, были изготовлены призмы размерами $7 \times 7 \times 21 \text{ см}$ и цилиндрические образцы диаметром 4 см , длиной 60 см .

Основные физико-механические свойства образцов приведены в табл. 1.

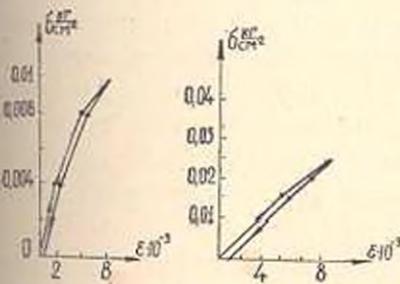
Изготовленные призмы размерами $7 \times 7 \times 21 \text{ см}$ жестко закреплялись с одного конца, а с другого, свободного конца, подвергались

Таблица 1

№ п/п	Наименование состава	T (сек)	Объемный вес в г/см ³	Коэффициент Пуассона μ	E кг/см ²	δ_1 по Фохту	δ_2 по Сорозину	δ общий	T°С
1	Вальцмасса: глицерин (1:0,1 кг)	0,35	1,31	0,39	6,8	0,58	0,10	0,68	16,5
2	Вальцмасса: глицерин (1:0,2 кг)	0,33	1,31	0,40	1,8	0,54	0,12	0,66	16
3	Вальцмасса: глицерин (1:0,3 кг)	0,03	1,30	0,40	3,2	0,50	0,14	0,64	16,5
4	Вальцмасса: глицерин (1:0,4 кг)	0,27	1,30	0,39	2,9	0,34	0,18	0,52	15
5	Вальцмасса: вода (1:0,25 кг)	0,25	1,30	0,35	2,65	0,27	0,13	0,40	15
6	Вальцмасса: глицерин: вода (1:0,1:0,2 кг)	0,22	1,30	0,45	4,0	0,12	0,20	0,32	16
7	Вальцмасса: вода (1:0,5 кг)	0,32	1,28	0,40	2,50	0,07	0,16	0,23	15
8	Вальцмасса: глицерин: вода (1:0,25:0,5 кг)	0,28	1,29	0,36	2,0	0,06	0,14	0,20	15
9	Вальцмасса: глицерин: вода (1:0,3:0,6 кг)	0,3	1,28	0,48	1,65	0,02	0,16	0,18	15
10	Вальцмасса: вода (1:0,75 кг)	0,3	1,28	0,45	1,70	0,04	0,12	0,16	15



Длительность нагружения 30сек



Длительность нагружения 3 мин.

растяжению кратковременной нагрузкой, прикладываемой равными ступенями.

Для определения продольных и поперечных относительных деформаций в середине призмы закреплялись индуктивные датчики. Запись осуществлялась с помощью осциллографа ПУБ-12 М. Полученные зависимости между напряжениями и деформациями, представлены на рис. 1.

Не трудно заметить, что с увеличением нагрузки изменяется характер кривых. Как правило, при малых нагрузках, кривые имеют линейный характер. При сравнительно больших нагрузках, 80% деформации протекают в течении первых секунд. Из приведенных на рис. 1 кривых также следует, что по мере нарастания длительности загрузки линейная зависимость между напряжениями и деформациями, благодаря проявлению деформации ползучести, постепенно

Рис. 1. Зависимость между напряжениями и деформациями при испытании на растяжение призматического бруса из вальцмассы.

нарушается. И если после разгрузки вновь нагрузить образец, то получится кривая СДЕ рис. 2, образующая с кривой разгрузки петлю гистерезиса.

Из произведенных 10 серий опытов следует, что материал в определенных пределах нагружения подчиняется закону Гука, т. е. фактически остаточные деформации почти не ощутимы (рис. 1). Это

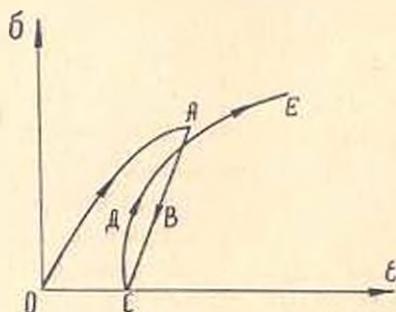


Рис. 2. Зависимость между напряжениями и деформациями при двухкратном нагружении.

дает возможность в довольно больших диапазонах применять материал с такими физико-механическими характеристиками для моделирования горных пород и строительных конструкций, работающих в пределах упругости.

Например, на основании теории расширенного подобия [1] модельному материалу с упругими характеристиками:

$E = 10 \text{ кг/см}^2$, объемный вес $G = 1,35 \text{ т/м}^3$, $\mu = 0,4$, при линейном масштабном множителе подобия

$\alpha = 1/100$ соответствует в натуре материал с характеристиками: $E = 4 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$, объемный вес $2,5 \text{ т/м}^3$, $\mu = 0,4$.

Эти величины относятся к скальным породам, т. е. подобранный материал в рассматриваемом случае моделирует грунты скального типа. После определения характеристик модельного материала с помощью существующих связей между коэффициентами подобия [1], легко получить остальные характеристики определяющие динамический процесс.

Существенное значение в моделировании динамических процессов имеет декремент затухания, который по условиям подобия должен быть одинаковым для оригинала и модели.

Для учета влияния вязкости материала на декремент затухания были проведены следующие опыты. Образец подвешивался одним концом неподвижно к жесткой металлической раме, а с другого свободного конца подвешивался груз. При внезапном удалении груза образец приходил в состояние продольного колебательного движения. С помощью датчиков закрепленных в середине образца на осциллографической пленке записывался колебательный процесс.

Полученные кривые представлены на рис. 3, а значения декрементов затухания приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы 1 логарифмический декремент затухания уменьшается при увеличении количества воды и глицерина.

2. Колебательный процесс по гипотезе Фохта происходит по закону [3]:

$$y = A e^{-\alpha t} \sin (\rho_1 t + \lambda), \quad (1)$$

где $A = y_0 \sqrt{\frac{\rho^2}{\rho^2 - \pi^2}}$ амплитуда колебания;

$\rho_1 = \sqrt{\rho^2 - \pi^2}$ — частота свободных колебаний с учетом вязкого сопротивления.

Колебательный процесс по гипотезе Сорокина — происходит по закону [4]:

$$y = A e^{-\frac{\psi p}{4\pi} t} \sin (pt + i), \quad (2)$$

где $A = y_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\psi p}{4\pi}\right)^2}$;

ψ — коэффициент поглощения энергии.

Рассмотрим колебание системы, с одновременным учетом гипотез Фохта и Сорокина, т. е. одновременным учетом потери энергии колебаний из-за статической петли гистерезиса и из-за вязкости материала.



Рис. 3. Запись колебания бруса цилиндрического сечения из вальцмассы.

В рассматриваемом случае дифференциальное уравнение колебаний системы с одной степенью свободы будет:

$$y'' + 2ny' + p^2 e^{i\alpha} y = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) ищем в следующем виде:

$$y = Y e^{ikt}. \quad (4)$$

Дифференцируя (4) и подставляя полученные результаты в (3), получим следующее характеристическое уравнение:

$$-k^2 + 2nik + p^2 e^{i\alpha} = 0, \quad (5)$$

$$k_{1,2} = ni \pm \sqrt{-n^2 + p^2 e^{i\alpha}}.$$

Разлагая в выражении (5) $\sqrt{-n^2 + p^2 e^{i\alpha}}$ в ряд, решение уравнения (3) можем записать в виде:

$$y = Y_1 e^{-\alpha t + p \left(1 - i \frac{\alpha}{4\pi} - \frac{n^2}{2p^2}\right) t} + Y_2 e^{-\alpha t - p \left(1 + i \frac{\alpha}{4\pi} - \frac{n^2}{2p^2}\right) t}. \quad (6)$$

Принимая, что $p > n \frac{4\pi}{\psi}$ и имея виду, что колебательный процесс должен быть затухающим, общее решение можем записать в виде:

$$y = Y_1 e^{(-\alpha - \frac{\psi p}{4\pi})t} \cdot e^{ip \left(1 - \frac{n^2}{2p^2}\right)t}. \quad (7)$$

Поскольку Y_1 есть комплексное число, то в выражении (7) можно положить:

$$Y_1 = A - Bi.$$

Выделяя вещественную часть, получим:

$$y = e^{-(\alpha + \frac{\psi p}{4\pi})t} \left[A \cos p \left(1 - \frac{n^2}{2p^2}\right)t + B \sin p \left(1 - \frac{n^2}{2p^2}\right)t \right]. \quad (8)$$

Введем обозначения:

$$n_1 = n + \frac{\gamma p}{4\pi}; \quad \alpha_1 = p \left(1 - \frac{n^2}{2p^2} \right). \quad (9)$$

В силу (8) и (9), имея ввиду начальные условия ($t=0$, $y=y_0$ и $y'=0$) после преобразований получим окончательно:

$$y = Ae^{-n_1 t} \sin(\alpha_1 t + i),$$

где $A = y_0 + \sqrt{1 + \left(\frac{n_1}{\alpha_1}\right)^2}$.

n_1 — коэффициент затухания,

α_1 — круговая частота.

Определив из опытов логарифмический декремент затухания согласно Фохту [3], $\xi = n_1 T$ и зная период свободных колебаний T находим коэффициент затухания n_1 .

Экспериментальные исследования показали, что коэффициент затухания зависит не только от рода материала, но и от частоты или периода колебаний (см. табл. 1). В общем случае декремент затухания получается в результате сложения декрементов затухания по гипотезе Сорокина и гипотезе Фохта.

Основная масса строительных материалов подчиняется с достаточной точностью закону поглощения энергии колебаний по Сорокину. Для пальцмассы же, как было установлено выше, преобладающее значение имеет вязкое сопротивление. Отсюда возникают затруднения при моделировании колебательных процессов в общем случае. Если же при моделировании преобладающее значение имеют гармонические колебания определенной частоты, то можно попытаться так подобрать множитель подобия ξ в [1], чтобы декремент затухания по гипотезе Сорокина, совпал с декрементом затухания по гипотезе Фохта.

ИГИС АН Армянской ССР

Поступило 28.X 1964

Ա. Ա. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

ՎԱՍՅՈՒԱՍՍԱՆԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԿՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ԵՎ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔՆԵՐԻ
ԳԻՆԱՄԻԿ ԳՐԱՑԵՄՆԵՐԻ ՄՈՒԿԵԼԱՅՐՈՒՆ ԸՍՄԱՐ

Ա. մ. Փ. ո. Փ. ո. Ա. մ.

Հայտնի է, որ ինժեներապին տեխնոլոգիայի որոշ խնդիրների, առանձնապես հատկապես ձգված խնդիրները լուծումը պահանջում է հաշվի առնել շենքի հիմքում դրոնտի տատանումների ֆազաների տարբերությունը:

Այդ խնդիրն առաջին անգամ լուծվել է աշխարհի նյույթի, որը բաժանակիս ճիշտ մոդելային դրոնտների և շինարարական կոստրուկցիաների մեխանիկական հատկությունները, Համաձայն մեխանիկական նմանության ընդլայնված թևերի արդյունքների [1] հարաբերական դեֆորմացիաները մոդելների վրա, որոնք ունեն ցածր ստանդարտային մոդուլ,

ստացվում են բավականին մեծ γ ՝ 1 դեպքում, որը հեշտացնում է շափում-ները մոդելների վրա:

Մեր ուսումնասիրություններում մոդելացման համար բնարվել է ցածր առաձգականության մոդուլ ունեցող նյութ՝ վալցմասսա (առաձգականության մոդուլը տատանվում է 0,5—15 կգ/սմ²), իսկ Պուասսոնի դորժակիցը տատանվում է 0,35—0,5: Նյութը բաղկացած է գլխերինից, ժելատինից և օրից:

Կախված նյութի քիմիական բաղադրությունից փոփոխվում է նրա առաձգականության մոդուլը:

Հողվածում բերվում են ցածր առաձգականության մոդուլ ունեցող նյութից պարաստված աարբեր խմբերի նմուշների ստատիկ և դինամիկ փորձարկումները:

Ստացված արդյունքները հնարավորություն են տալիս մոդելացնելու աարբեր տիպի զրոնտներ և շինարարական կառուցվածքներ՝ սեյսմիկ ազդեցությունների դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. О механическом подобии твердых тел и его применении к исследованию строительных конструкций и сейсмостойкости сооружений. Известия АН АрмССР* (серия ТН), № 5 1957, № 6, 1957, № 4, 1958.
2. Брутянян Н. X. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехиздат, М.—Л., 1952.
3. Пановко Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. Физматгиз, М., 1960.
4. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд-во АН АрмССР, изд. 2, 1959.