

УДК 624.131.437«317»

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

С. Р. Месчян

Аппроксимация экспериментальных кривых ползучести
 одномерного уплотнения глинистых грунтов и прогноз длительных
 деформаций по данным кратковременных опытов

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. И Тер-Степаняном 26/1 1982)

Для прогноза длительных осадок сооружений, воздвигаемых на глинистых грунтах, представляет большой интерес вопрос о степени точности аппроксимации экспериментальных кривых ползучести одномерного уплотнения (уплотнения без возможности бокового расширения). Представляет большой интерес также возможность прогноза длительных деформаций грунтов на основании данных об их ползучих свойствах, полученных из относительно кратковременных лабораторных опытов, т. е. их экстраполяции на более длительное время, чем продолжительность эксперимента.

С целью выяснения степени точности аппроксимации экспериментальных кривых ползучести глинистых грунтов при одномерном уплотнении различными эмпирическими соотношениями осуществлена аппроксимация кривой меры ползучести C_c-t суглинка ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$; $\rho_s = 2660 \text{ кг/м}^3$; $w = 0,349$; $e = 1,0$; $w_L = 0,313$; $w_p = 0,186$; $I_p = 0,127$) нарушенного сложения, полученной испытанием образцов-близнецов под действием единичного напряжения $\sigma_1 = 0,1 \text{ МПа}$ после длительного их предварительного уплотнения под действием $\sigma_{1,0} = 0,225 \text{ МПа}$.

Образцы-близнецы рассматриваемого грунта испытаны также на ползучесть под действием $\sigma_1 = 0,025$; $0,05$; $0,075$ и $0,15 \text{ МПа}$ после предварительного их уплотнения под действием той же предварительно уплотняющей нагрузки $\sigma_{1,0} = 0,225 \text{ МПа}$.

Семейство экспериментальных кривых ползучести суглинка в правой части рис. 1 показано сплошными линиями. В левой части того же рисунка сплошными линиями показаны кривые зависимости напряжение—деформация ползучести для четырех различных моментов времени $t = 1, 10, 98$ и 260 дней. Принимая, что кривые ползучести являются подобными, в левой части рис. 1 штриховой линией построена усредненная кривая зависимости $\epsilon_{ct} - \sigma_1$ по следующему соотношению ($1-3$):

$$\epsilon_{ct} = \alpha(10\sigma_1) + \beta(10\sigma_1)^n = 0,0017(10\sigma_1) + 0,0036(10\sigma_1)^2 \quad (1)$$

и определено выражение функции напряжения $F(\sigma_1)$:

$$F(\sigma_1) = 0,321(10\sigma_1) + 0,679(10\sigma_1)^2, \quad (2)$$

удовлетворяющее условию $F(\sigma_1 = 0,1 \text{ МПа}) = 1$.

Экспериментальная кривая меры ползучести одномерного уплотнения испытанного суглинка (рис. 1) аппроксимирована следующими логарифмическими (3,4), степенной (5) и экспоненциальной (6) функ-

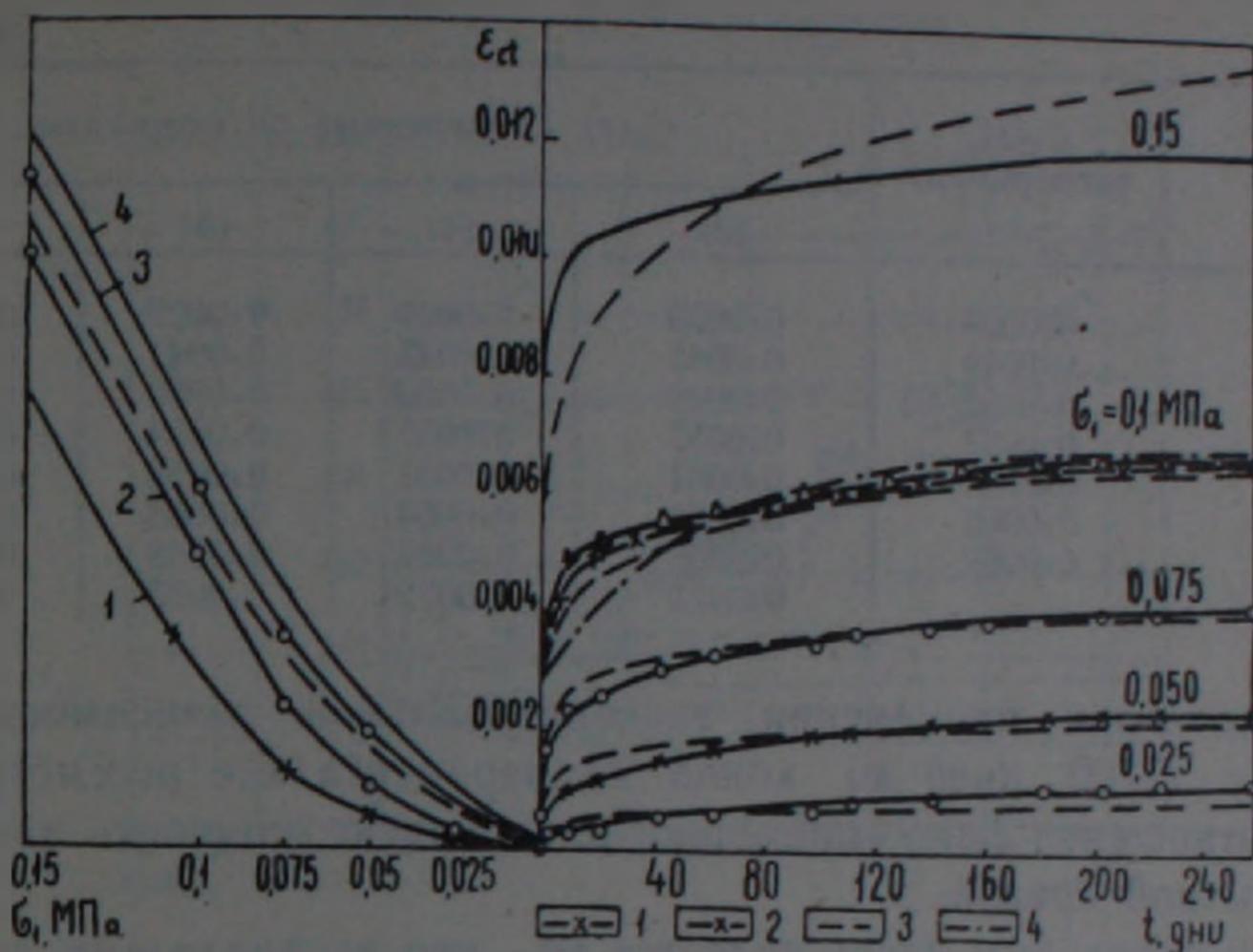


Рис. 1. В правой части рисунка показана аппроксимация (штриховые линии) семейства экспериментальных кривых ползучести (сплошные линии) суглинка нарушенного сложения после предварительного уплотнения под действием $\sigma_{1,0} = 0,225 \text{ МПа}$ по соотношению (7) и кривые меры ползучести ($\sigma_1 = 0,1 \text{ МПа}$), построенные по соотношениям: (3) и (4)—1, 2; (5)—3; (6)—4. В левой части рисунка сплошными линиями показаны кривые зависимости напряжение—деформация ползучести, построенные для: 1— $t = 1$ день; 2— $t = 10$ дней; 3— $t = 98$ дней и 4— $t = 260$ дней. Штриховой линией показана кривая, построенная по выражению (1)

циями (2,3):

$$C_c(t) = L \cdot \ln(\lambda t + 1) = 0,000685 \cdot \ln(68 \cdot t + 1); \quad (3)$$

$$C_c(t) = a + b \cdot \lg t = 0,0029 + 0,0016 \lg t; \quad (4)$$

$$C_c(t) = A \cdot t^m = 0,0029 \cdot t^{0,153}; \quad (5)$$

$$C_c(t) = C_1[1 - e^{-\lambda_1 t}] + [C_2 - C_1][1 - e^{-\lambda_2(t+1)}] = 0,0029[1 - e^{-10^{-t}}] + [0,0068 - 0,0029][1 - e^{-0,0197(t+1)}]. \quad (6)$$

Экспериментальные данные о значениях меры ползучести грунта для различных моментов времени, а также ее значения, вычисленные эмпирическими соотношениями (3)—(6), приведены в табл. 1. В правой части рис. 1 по этим данным построены кривые ползучести. Там же показаны результаты аппроксимации экспериментальных кривых ползучести, полученных испытанием образцов-близнецов под действием $\sigma_1 = 0,025; 0,05; 0,075$ и $0,15 \text{ МПа}$, по соотношению (7), с учетом (2) и (5):

$$\epsilon_{ct} = C_c(t) \cdot F(\sigma_1) = 0,0029 \cdot t^{0,153} \cdot [0,321(10\sigma_1) + 0,679(10\sigma_1)^2]. \quad (7)$$

Судя по результатам аппроксимации экспериментальной кривой меры ползучести суглинка, приведенным в табл. 1 и на рис. 1, видно, что до $t=60$ дней наиболее хорошее приближение к эксперименту имеет место при применении логарифмических функций, а наибо-

Таблица 1

t , дни	$C_c(t)$, эксперимент	$C_c(t)$, вычисленные по формулам			
		(3)	(4)	(5)	(6)
1	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029
10	0,0049	0,0045	0,0045	0,0041	0,0035
20	0,0052	0,0049	0,0050	0,0056	0,0041
60	0,0057	0,0057	0,0057	0,0054	0,0056
100	0,0061	0,0061	0,0061	0,0059	0,0062
160	0,0066	0,0064	0,0064	0,0063	0,0066
260	0,0068	0,0067	0,0068	0,0068	0,0068
500	—	0,0072	0,0072	0,0075	0,0068

лее плохое—при применении экспоненциальной зависимости (6). Начиная с $t=60$ дней до конца эксперимента все рассмотренные выше соотношения дают примерно одинаковую точность аппроксимации опытной кривой.

Примечательным здесь является то, что за пределами длительности эксперимента все выражения за исключением соотношения (6) предсказывают рост деформации ползучести (табл. 1). Это значит, что экспоненциальная функция (6) не позволяет полученные из относительно кратковременного эксперимента результаты аппроксимации кривой ползучести экстраполировать на более длительное время, чем продолжительность опыта. Причиной тому является быстрое затухание этой функции по сравнению с опытом, быть может, за исключением случаев испытания грунтов под действием очень небольших напряжений (2).

Чтобы проверить возможность экстраполяции данных кратковременных испытаний глинистых грунтов в условиях компрессии на более длительное время, в 1980 г. были испытаны на ползучесть две разновидности их при сохранении природной структуры (табл. 2).

Таблица 2

№ грунта	№ скважины	Глубина отбора, м	ρ_s , кг/м ³	ρ , кг/м ³	w_0	w_L	w_p	I_p
1	6315—В	8,6	2770	1830	0,39	0,74	0,40	0,34
2	6315—А	10,2	2760	1950	0,30	0,73	0,42	0,31

Образцы грунтов испытаны на ползучесть по методу ступенчатого возрастания напряжений (4). Повторность опытов шестикратная. В одном случае уплотняющее напряжение было доведено до 0,6 МПа, а в другом — 0,55 МПа (рис. 2 и 3).

По данным первого этапа наблюдений продолжительностью 130 и 123 дня соответственно (рис. 2 и 3) для испытанных грунтов получены следующие соотношения:

$$\epsilon_{ct} = C_c(t) \cdot F(\sigma_1) = A \cdot t^m \cdot (10\sigma_1)^n = 0,0083 \cdot t^{0,0766} \cdot 10\sigma_1; \quad (8)$$

$$\epsilon_{ct} = 0,00671 \cdot t^{0,1107} \cdot (10\sigma_1)^{0,78875}. \quad (9)$$

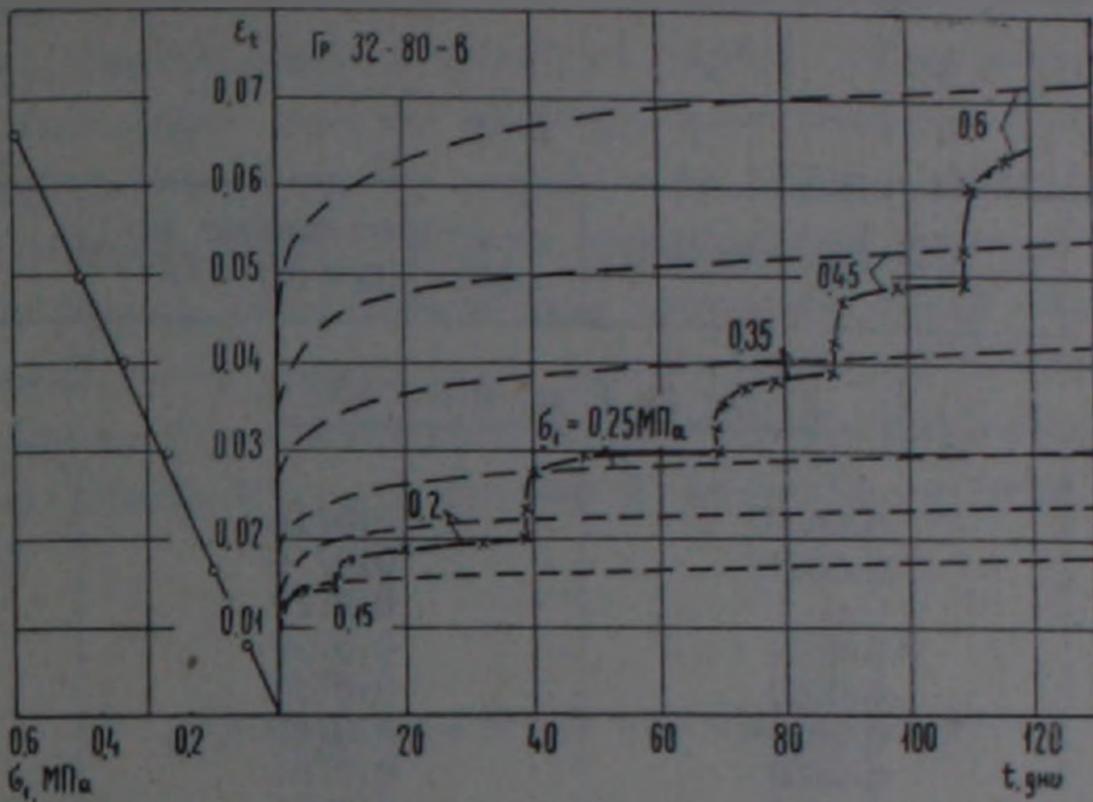


Рис. 2. Экспериментальные кривые ползучести и зависимости напряжение—деформация ползучести (сплошные линии) и кривые ползучести, построенные для различных постоянных напряжений по соотношению (8) (штриховые линии)

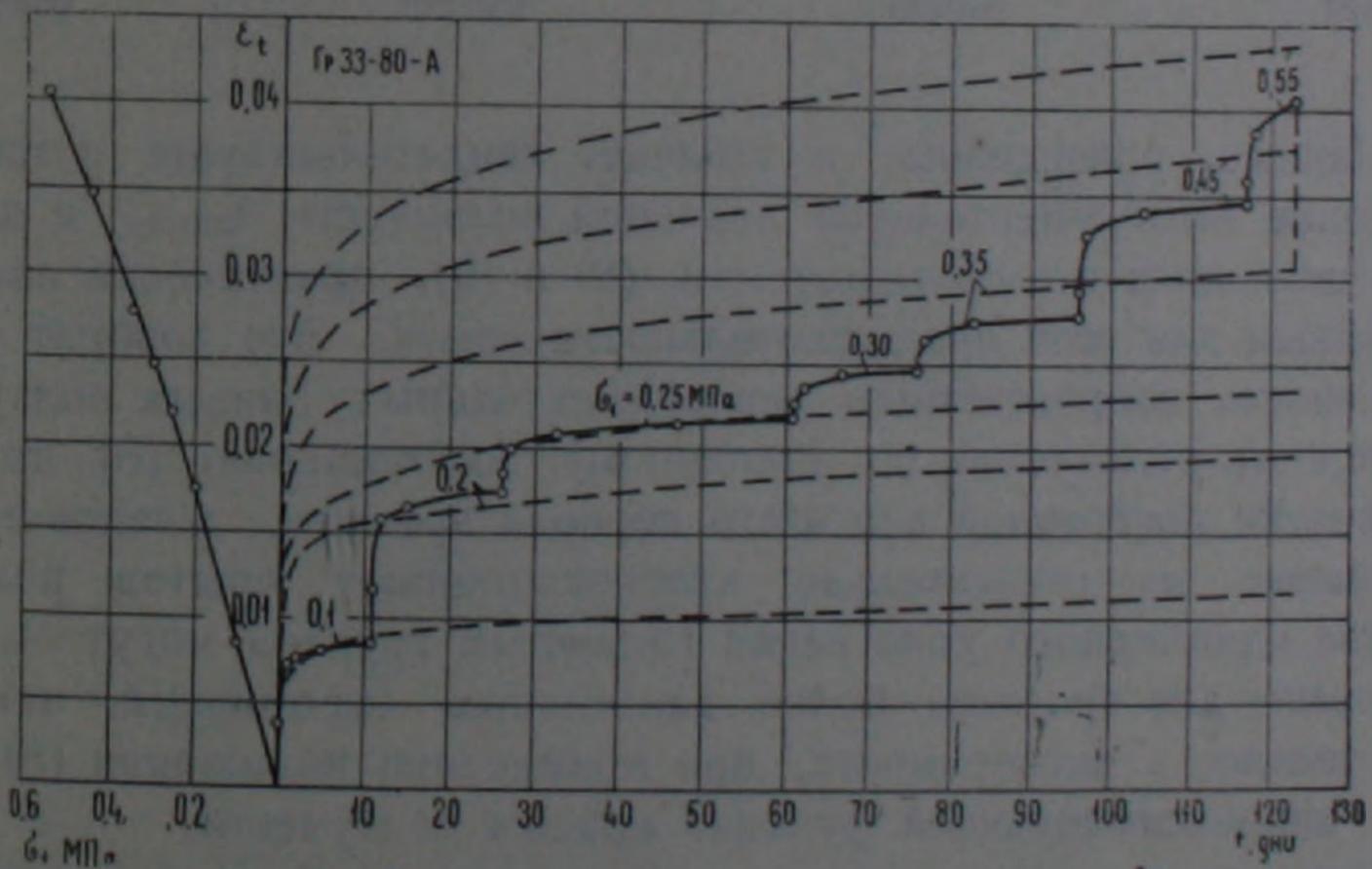


Рис. 3. Экспериментальные кривые ползучести и зависимости напряжение—деформация ползучести грунта № 2 (сплошные линии) и кривые ползучести, построенные для различных постоянных напряжений по соотношению (9)

Кривые ползучести, построенные по выражениям (7) и (8), на рис. 2 и 3 показаны штриховыми линиями.

В целях проверки возможности прогноза длительных деформаций по данным относительно кратковременных лабораторных опытов приведенные выше эксперименты были продолжены до 321 и 329 дней соответственно. Осуществлено сопоставление деформаций ползучести для конечных значений напряжений $\sigma_1 = 0,6$ и $0,55$ МПа с данными, вычисленными по соотношениям (8) и (9). Результаты этих вычислений приведены в табл. 3.

Таблица 3

t , дни	ϵ_{cl} , эксп (эксперимент)	ϵ_{cl} , вычисленные по формулам (8) и (9)	$\frac{\epsilon_{cl}, \text{эксп}}{\epsilon_{cl}}$
<u>Грунт № 1, $\sigma_1 = 0,6$ МПа</u>			
110	0,0600	0,0714	0,840
115	0,0629	0,0716	0,878
130	—	0,0722	—
144	0,0654	0,0729	0,897
171	0,0660	0,0738	0,894
194	0,0663	0,0745	0,889
255	0,0668	0,0761	0,878
321	0,0669	0,0775	0,868
<u>Грунт № 2, $\sigma_1 = 0,55$ МПа</u>			
123	0,0406	0,0439	0,925
152	0,0422	0,0449	0,942
202	0,0429	0,0464	0,925
263	0,0451	0,0477	0,904
329	0,0433	0,0489	0,885

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что отношение экспериментальных значений ползучести $\epsilon_{cl, \text{эксп}}$ к данным ϵ_{cl} , вычисленным по соотношениям (8) и (9), практически является постоянным для всей продолжительности опыта. Это говорит о том, что точность аппроксимации экспериментальных данных ползучести одномерного уплотнения по степенному соотношению (5) является практически постоянной для этого периода времени. Следовательно, полученные из относительно кратковременных опытов ползучие свойства одномерного уплотнения глинистых грунтов могут быть использованы для прогноза более длительных деформаций, чем продолжительность эксперимента, при применении выражения (5) в качестве аппроксимирующей функции кривых ползучести.

Нам представляется, что эти работы должны быть продолжены с целью определения того минимального времени экспериментирования, которое еще позволит экстраполировать данные кратковременных опытов на значительно длительное время.

Ереванский государственный университет

Կավային գետնահողերի միաշափ խտացման սողի կորերի ապրոֆսիմացիան և դրանց տեղական ձևափոխության կանխատեսումը կարճատև փորձերի արդյունքների հիման վրա

Հողվածում բերված է ավազակավի սողքի շափի փորձառական կորի գրանցումը շորս տարբեր առնչություններով և ցույց է տրված, որ այդ կորը լավ է գրանցվում լողարիթմական և աստիճանական ֆունկցիաներով:

Բերված են համեմատարար կարճատև (մինչև 130 օր տևողությամբ) փորձերից ստացված երկու տարբեր կավային գետնահողերի միաշափ խտացման սողքի առնչությունները, որտեղ սողքի շափը ներկայացված է աստիճանային ֆունկցիայի տեսքով: Մինչև 329 օր շարունակված փորձից ստացված արդյունքների և հիշյալ առնչություններով ստացված սողքի ձևափոխությունների համեմատությունից պարզված է, որ աստիճանային ֆունկցիան հնարավորություն է ընձեռում բավականին մեծ ճշտությամբ կանխագուշակել կավային գետնահողերի տեղական սողքը կարճատև փորձերից որոշված առնչությունների միջոցով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Н. Х. Арутюнян, Некоторые вопросы теории ползучести, Гостехтеоретиздат, М.—Л., 1952. ² С. Р. Месчян, Ползучесть глинистых грунтов, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1967. ³ С. Р. Месчян, Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения, Недра, М., 1974. ⁴ С. Р. Месчян, Труды третьего Всесоюзного симпозиума по реологии грунтов, Изд. Ереванского ун-та, Ереван, 1980.