

УДК 624.131.382

ПЕРЕВІРКА МОЖЛИВОСТІ СКОРОЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ КРОКІВ ТИСКУ В КОМПРЕСІЙНОМУ ВИПРОБУВАННІ

ГРАБОВЕЦЬ О.М.^{1*}, *к.т.н.*

^{1*} Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562) 46-93-43, e-mail: ksushagrabovec@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8890-9811

Анотація. Мета. Експериментально перевірити можливість скорочення кількості кроків тиску у компресійному випробуванні при збереженні якості одержаних результатів. **Методика.** Випробувалися піщані, глинясті і лесовидні ґрунти як природної будови, так і штучні, зразки яких були виготовлені за нормами в приладах стандартного ущільнення об'ємом 1000 і 200 см³ із заданими фізичними характеристиками (W , ρ_d). Перевірка полягала у визначенні різниці деформацій за тиском 400 кПа для двох варіантів навантаження – за шістьма кроками в одній серії зразків-близнюків і двома – у другій (150, 400 кПа). **Результати.** Тривалість процесу консолідації глинистих ґрунтів змусила дослідників шукати способи зменшення часу компресійних дослідів. Найбільш простий з них – це швидке навантаження зразка проектним тиском з метою одержати одразу відповідне обтиснення без будування всієї компресійної кривої, але при цьому виникають великі градієнти порового тиску та більш інтенсивно порушується будова ґрунту. Відомі співставлення компресійних випробувань трьох пар зразків-близнюків лесових ґрунтів м. Грозного, Новокузнецька та Запоріжжя (Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев), в котрих один зразок випробували кроками по 10 кПа від нуля до 300 кПа, а другий – по 50 кПа. У першому випадку ґрунт деформувався, як підкреслюють Ю.М. Абелев і М.Ю. Абелев, систематично більше і розходження складало у середньому 41 %, причому максимальні відхилення приходилися на області найменших та найбільших тисків. Ці дослідження цікаві для нашої задачі, але малий об'єм досліджень (шість зразків без повторень у однорідному випробуванні) не дають впевненості у кінцевому висновку. Пропозиція заміни 6-крокового навантаження на 2-крокове ґрунтується як на наших даних, так і на висновках В.М. Веселовського, що тривалість процесу осідання дослідженого у компресійному приладі зразка ґрунту не залежить від величини тиску та для дослідженого ґрунту певної потужності є постійною величиною. Тому ми вважаємо, що це є прийнятним і може бути застосованим у створенні нової методики визначення деформаційних характеристик дисперсних ґрунтів. **Наукова новизна.** Експериментально підтверджено можливість скорочення кількості кроків тиску у компресійному дослідженні на прикладі 144 зразків ґрунту (м. Днепропетровськ), якщо необхідно знати деформацію тільки за тиском 300 кПа. **Практична значущість.** Підтверджена можливість скорочення кроків тиску до двох при збереженні якості одержаних результатів. Це суттєво зменшує витрати часу і коштів на компресійні випробування.

Ключеві слова: скорочення кроків тиску; компресійні випробування; кроки навантаження.

ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СТУПЕНЕЙ НАГРУЖЕНИЯ В КОМПРЕССИОННОМ ПРИБОРЕ

ГРАБОВЕЦЬ О.Н.^{1*}, *к.т.н.*

^{1*} Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск 49600, Украина, тел. +38(0562) 46-93-43, e-mail: ksushagrabovec@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8890-9811

Аннотация. Цель. Экспериментально проверить возможность сокращения количества ступеней нагружения в компрессионном испытании при сохранении качества полученных результатов. **Методика.** Испытывались песчаные, глинистые и лесовидные ґрунты как природного строения, так и искусственные, образцы которых были изготовлены в соответствии с нормами в приборах стандартного уплотнения объемом 1000 и 200 см³ с заданными физическими характеристиками (W , ρ_d). Проверка состояла в определении разности деформации при давлении 400 кПа при двух вариантах нагружения – при шести ступенях в одной серии образцов-близнецов и двумя (150, 400 кПа). **Результаты.** Длительность процесса консолидации глинистых ґрунтов заставила исследователей искать способы уменьшения времени компрессионных испытаний. Наиболее простой из них – это быстрое нагружение образца проектным давлением с целью получения сразу соответствующим обжатием без строительства всей компрессионной кривой, но при этом возникают большие градиенты порового давления и более интенсивно разрушается структура ґрунта. Известны сопоставления компрессионных испытаний трех пар образцов-близнецов лесовых ґрунтов г. Грозного, Новокузнецка и Запорожья (Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев), в которых один образец ґрунта испытывали шагами по 10 кПа от нуля до 300 кПа, а второй – по 50 кПа. В первом случае ґрунт деформировался, как подчеркивают Ю.М. Абелев и М.Ю. Абелев, систематично больше и расхождение составило в среднем 41 %, причем максимальное отклонение приходилось на области наименьших и наибольших давлений. Эти исследования интересны, но маленький объем (шесть образцов без повторений) не дают уверенности в результатах. Предложение замены шести ступеней нагружения на две ступени базируется как на наших данных, так и на выводах В.М. Веселовского, что продолжительность процесса осадки исследуемого в компрессионном приборе образца ґрунта не зависит от величины давления для исследуемого ґрунта определенной мощности величина постоянная. Поэтому мы считаем, что это соответствует действительности и может быть использовано для дальнейшей разработки методики определения

деформационных характеристик дисперсных грунтов. *Научная новизна.* Экспериментально подтверждена возможность сокращения количества ступеней давления в компрессионном испытании на примере 144 образцов грунтов (г. Днепропетровск), если необходимо знать деформацию только при давлении 300 кПа (400 кПа). *Практическая значимость.* Подтверждена возможность сокращения шагов давления до двух при сохранении качества полученных результатов. Это существенно уменьшает затраты времени и денег на компрессионные испытания.

Ключевые слова: сокращение шагов нагружения, компрессионные испытания, ступени нагружения.

VERIFICATION OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE NUMBER OF THE STEPS OF PRESSURE IN A COMPRESSION TRIAL

GRABOVEC O. M.^{1*}, *candidate of science (Tech.)*,

^{1*} Department of Bases and Foundation, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel.: +38(0562) 46-93-43, e-mail: ksushagrabovec@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8890-9811

Annotation. Purpose. Verify experimentally the possibility of reducing the number of the steps of pressure in a compression trial with a preservation of the quality of obtained results. **Methodology.** The sandy soils, clayey soils and loessial soils both as a natural building and artificial were tested; their samples were made at rates in the apparatus of standard compacting with a volume 1000 i 200 cm³ with the prescribed physical characteristics (W , ρ_d). Verification was consisted in determination of the difference of deformations to the pressure 400 kPa for two variants of loading – by six steps in first series of sample-twins and by two steps – in second series (150, 400 kPa). **Results.** Continuance of process of the consolidation of clayey soils compelled the researches to seek for the methods of time decrease of the compression trials. The easiest method among them is the quick loading of a sample with designed pressure for the purpose of immediate obtaining of the corresponding squeezings without plotting the entire compression curve, but for all that the big gradients of the interstitial pressure appear and the structure of soil is disturbed more intensively. The famous comparisons of compression trials for three pairs of the sample-twins of loessial soils in Grozny, Novokuznetsk and Zaporozhye (Abelev Y.M., Abelev M.Y.), in which the first sample was tested by the steps on 10 kPa from zero until 300 kPa, and the second – on 50 kPa. In the first case the soil was systematically more deformed, according to Abelev Y.M. and Abelev M.Y., and the deviation was on average 41%, and besides the maximal deviations fell on the domains of minimal and maximal pressures. These researches are interesting for our problem, but the small volume of researches (six samples without repetition in the similar trial) don't give the assurance in the terminal conclusion. A suggestion of the replacement of 6-step loading on the 2-step is based both on our data and on the conclusions of Veselovsky V.M. The continuance of the sedimentation of a sample of soil, that was studied in the compression apparatus, don't depend on the value of pressure and is a constant for the soil under test of some thickness. Therefore we adhere to the opinion that it is reasonable and can be used in the creation of new method of the determination of the deformative characteristics of dispersible soils. **Originality.** The possibility of reducing the number of the steps of pressure was confirmed experimentally in a compression trial by the example of 144 samples of soil (city Dnipropetrovsk), if it is necessary to know the deformation just for the pressure 300 kPa. **Practical value.** The possibility of reducing the steps of pressure was confirmed up to two steps with a preservation of the quality of obtained results. It will appreciably decrease the loss of time and resources on the compression trials.

Keywords: reducing of the steps of pressure, compression trials, steps of loading.

Вступ

В статті наведені результати компресійних випробувань піщаних, глинястих і лесових ґрунтів – як природної будови, так і штучних, зразки яких були виготовлені за вимогами норм [1] за допомогою приладів стандартного ущільнення ґрунтів [2, 3, 4] об'ємом 1000 і 200 см³ із заданими вологістю W та густиною сухого ґрунту ρ_d . Грансклад ґрунтів наведено на рис. 1. Вологість і густину ґрунту визначали за стандартами [5, 6, 7, 8, 9].

Мета

Експериментально перевірити можливість скорочення кількості кроків тиску у компресійному випробуванні при збереженні якості одержаних результатів.

Методика

Перевірка полягала у визначенні різниці деформацій за тиском 400 кПа для двох варіантів навантаження – за шістьма кроками в одній серії зразків-близнюків і двома – у другій.

Потім сім поодиноких значень перевіряли на наявність екстремальних [1, 10, 11], а середні арифметичні використали для обчислення та побудування графіків (рис. 2, рис. 3).

Результати

На підставі результатів випробування 144 зразків піщаного і лесового ґрунту можна зробити висновок, що середні в серіях зразків відхилення деформацій за тиском 400 кПа при 11 кроках тиску (0-50-100-150-200-300-400 кПа) порівняно з двома (0 – 150 – 300 кПа) становлять в поодиноких випадках від мінус 1,0 до плюс 13,7 % при середньому для всіх 144 зразків ґрунту 8,8 % (менше 10 %), що є цілком припустимим у геотехнічних розрахунках. Звідси витікає, що заміна схеми компресійного випробування із шістьма кроками тиску на схему із двома (наприклад, 0-150-300 кПа) призводить до підвищення одержаної деформації зразка ґрунту, а це веде до зменшення обчисленого модуля деформації ґрунту і спричинить

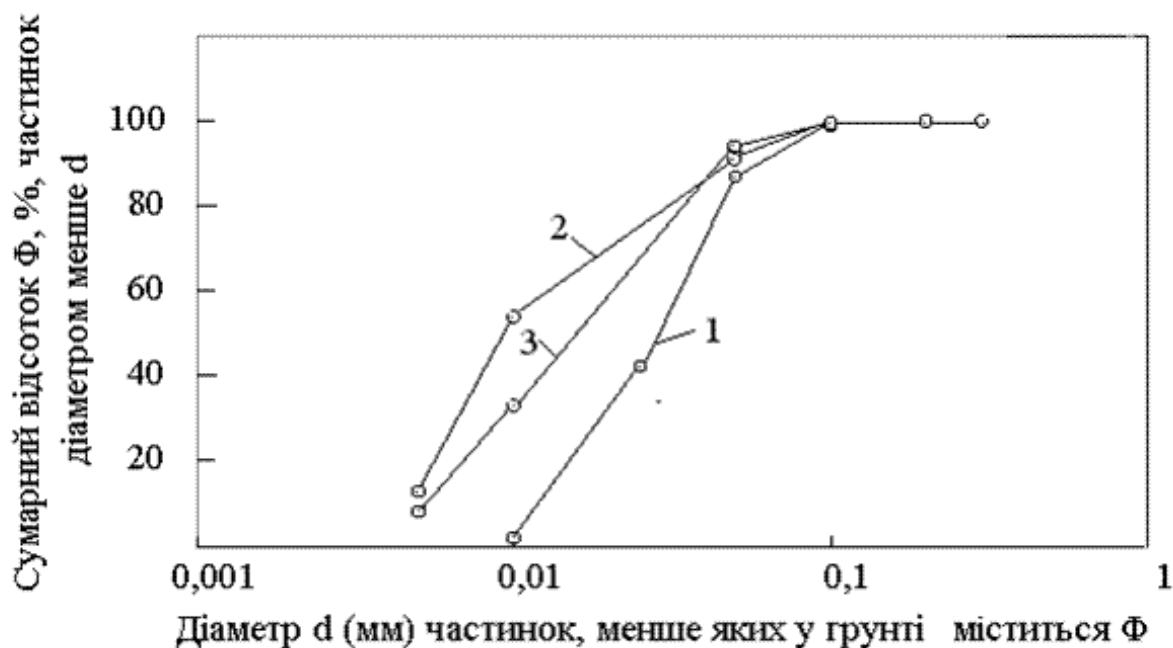


Рис. 1 – Кумулятивна крива гранскладу піску та лесовидних ґрунтів Дніпропетровська: 1 – пісок, 2 – лесові суглинки, зразки яких відібрано з глибини 2 і 3 м, 3 – лесовий супісок, зразки якої відібрані з глибини 1 м / Cumulative curve sand and loess soils of Dnepropetrovsk: 1 – sand, 2 – loess loam from depths of 2 and 3 m, 3 – sandy loam loess from a depth of 1 m

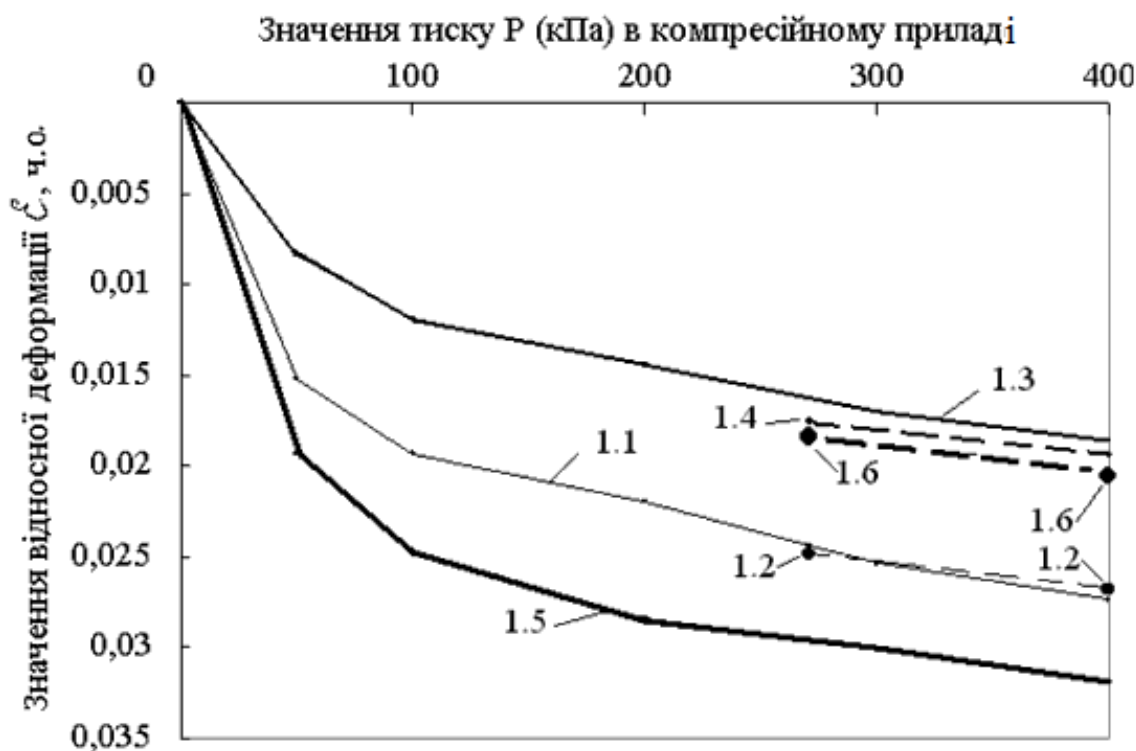


Рис. 2 Результати експериментальних випробувань піщаних зразків штучної будови: 1.1, 1.2 – шифри зразків за середніми значеннями вологості $W=0,0705$ та густини сухого ґрунту $\rho_d=1520 \text{ кг/м}^3$; 1.3, 1.4 – $W=0,11$, $\rho_d=1834 \text{ кг/м}^3$; 1.5, 1.6 – $W=0,1830$, $\rho_d=1520 \text{ кг/м}^3$ / The results of experimental tests of sand samples of artificial structures: 1.1, 1.2 – codes of samples in average moisture content $W=0,0705$ and density of dry soil $\rho_d=1520 \text{ kg/m}^3$; 1.3, 1.4 – $W=0,11$, $\rho_d=1834 \text{ kg/m}^3$; 1.5, 1.6 – $W=0,1830$, $\rho_d=1520 \text{ kg/m}^3$.

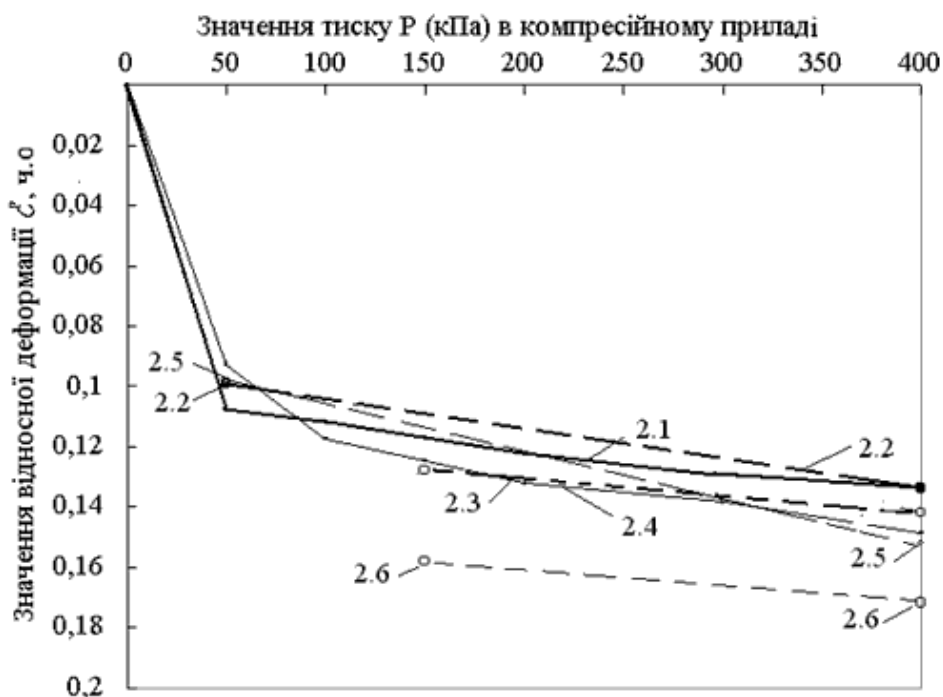


Рис. 3 Результати компресійних випробувань зразків лесового суглинка штучної будови: 2.1, 2.2, 2.3 – шифри зразків за середніми значеннями вологості $W=0,225$ та густини сухого ґрунту $\rho_d=1773 \text{ кг/м}^3$; 2.4, 2.5, 2.6 – $W=0,29$, $\rho_d=1530 \text{ кг/м}^3$ / The results of compression tests of samples of loess loam artificial structures: 2.1, 2.2, 2.3, codes of samples in average moisture content $W=0,225$ and density of dry soil $\rho_d=1773 \text{ kg/m}^3$; 2.4, 2.5, 2.6 – $W=0,29$, $\rho_d=1530 \text{ kg/m}^3$

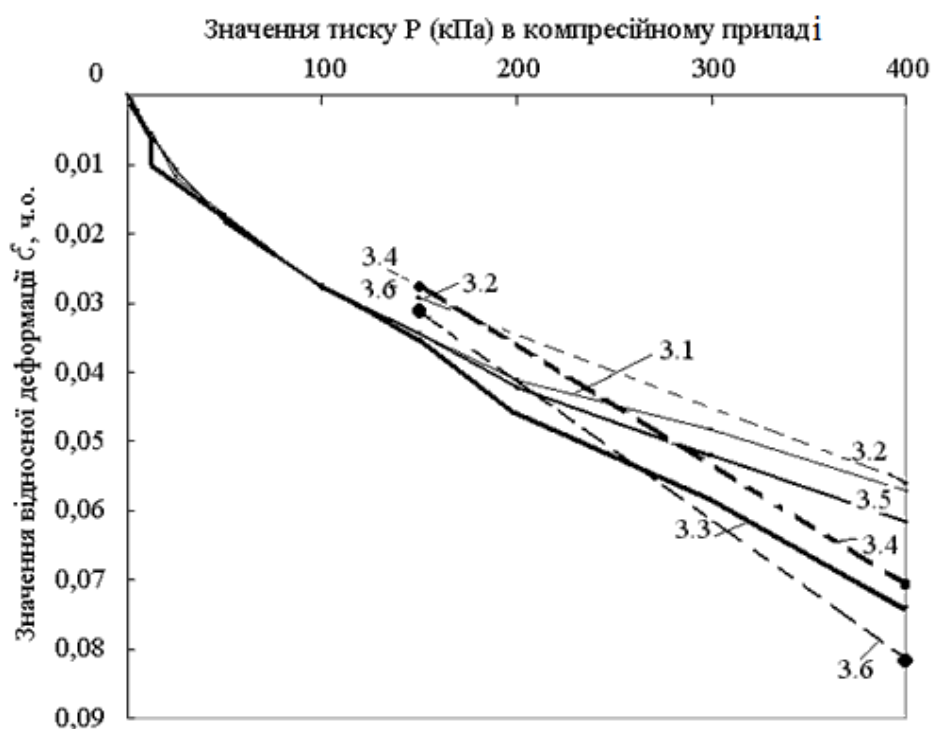


Рис. 4 Результати компресійних випробувань зразків суглинка та супіску не порушеної будови з семи-десяти кратним повторенням: 3.1, 3.2 – шифри зразків супіску з середніми значеннями вологості $W=0,0441$ та густини сухого ґрунту $\rho_d=1435 \text{ кг/м}^3$; 3.3, 3.4 – суглинок $W=0,0875$, $\rho_d=1394 \text{ кг/м}^3$; 3.5, 3.6 – суглинок $W=0,119$, $\rho_d=1158 \text{ кг/м}^3$ / The results of compression tests of samples of loam and sandy loam undisturbed buildings from seven to ten fold repetition: 3.1, 3.2, codes samples of sandy loam with average humidity values $W=0,0441$ and density of dry soil $\rho_d=1435 \text{ kg/m}^3$; 3.3, 3.4 – loam $W=0,0875$, $\rho_d=1394 \text{ kg/m}^3$; 3.5, 3.6 – loam $W=0,119$, $\rho_d=1158 \text{ kg/m}^3$

Таблиця 1

Розбіг значень деформації зразків ґрунту за тиском 400 кПа у компресійному випробуванні з шістьма і двома кроками тиску / The run values of the deformation of soil samples with a pressure of 400 kPa at a compression test with six and two pressure steps

Ґрунт	Фізичні характеристики		Відносна деформація (‰) за тиском 400 кПа		Відхилення деформації (%) при 400 кПа	
Пісок дрібний, зразки штучної будови	0,78	0,25	27,4	26,8	2,19	13,7
	0,78	0,25	18,6	19,4	4,30	
	0,78	0,65	31,9	20,6	34,7	
Суглинок лесовий, зразки штучної будови	0,52	0,71	134	134	0	-1,00
	0,52	0,71	149	152	-2,01	
Лесовий супісок, зразки природної будови	0,88	0,14	57,2	56,1	1,92	1,92
Суглинок лесовий, зразки природної будови	0,94	0,25	74,0	70,7	4,46	18,5
	1,33	0,24	61,7	81,8	32,6	
Середнє					8,8	

більшу за розміром розраховану деформацію ґрунтової основи під фундаментами споруд. Проектувальники фундаментів будуть розраховувати на трохи менш міцний і більш деформований ґрунт, що дасть додатковий запас надійності розрахунку по ґрунту.

Практична значущість. Заміна схеми навантаження зразка ґрунту з шістьма кроками тиску на схему з двома кроками веде до деякого підвищення запасу надійності споруди за ґрунтом і зменшує витрати на відбір зразків і їх компресійне випробування, тому заміну вважаємо коректною, корисною і приймаємо до використання у подальших дослідженнях як один із елементів нової методики.

Висновки

Тривалість процесу консолідації глинистих ґрунтів змусила дослідників шукати способи зменшення часу компресійних дослідів. Найбільш простий з них – це швидке навантаження зразка проектним тиском з метою одержати одразу відповідне обтиснення без будування всієї компресійної кривої, але при цьому виникають великі градієнти порового тиску та більш інтенсивно порушується будова ґрунту. Більш інтенсивний спосіб – завантажити ступенями тиску за стандартом з тривалістю проміжних кроків тиску 1-2 години, а розрахункове значення тиску дотримувати до закінчення консолідації. Цей шлях був би можливий у випадку, якщо режим тиску не впливав би на кінцевий результат [11, 12].

Що стосується величини кроку тиску, то відомі співставлення компресійних випробувань трьох пар зразків-близнюків лесових ґрунтів м. Грозного, Новокузнецька та Запоріжжя (Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев, [13]), в котрих один зразок випробували кроками по 10 кПа від нуля до 300 кПа, а другий – по 50 кПа. У першому випадку ґрунт деформувався, як підкреслюють Ю.М. Абелев і М.Ю. Абелев, систематично більше і розходження складало у середньому 41 %, причому максимальні відхилення приходилися на області найменших та найбільших тисків. Ці дослідження цікаві для нашої задачі, але малий об'єм досліджень (шість зразків без повторень

у однорідному випробуванні) не дають впевненості у кінцевому висновку.

Прискорена методика компресійних випробувань ґрунтів на принципі швидкого навантаження зразка проектним тиском була запропонована та детально розпрацьована В. М. Веселовським за участі М.М. Герсєванова у багаторічній праці Загальносоюзного науково-дослідницького інституту підвалин та фундаментів при лабораторних дослідженнях зразків ґрунту з висотою до 8 см. Було встановлено наступне [14]:

- тривалість процесу осідання дослідженого у компресійному приладі зразка ґрунту не залежить від величини тиску та для дослідженого ґрунту певної потужності є постійною величиною;
- через незначний проміжок часу після навантаження (2-4 % часу повної стабілізації деформації) осідання становить 85-95 % його кінцевої величини;
- звичайне тривале навантаження до стабілізації деформації може бути замінено навантаженням через невеликий проміжок часу;
- час, необхідний для ущільнення зразка ґрунту до 85-95 % осідання, пропорційне висоті стисливого шару та при висоті зразка від 2 см та менше коливається в межах від 1 години до 20 хвилин.

За звичайних обставин з дотриманням на кожному ступені навантаження повної стабілізації деформації, тобто доки за останні 20 годин показання індикатора не перестануть змінюватися, використаний час на дослідження рахується не годинами, а добами або у десятки разів більше, ніж потребує для встановлення 85-95 % кінцевої деформації.

Враховуюче вище сказане, В.М. Веселовський запропонував прискорений метод побудови компресійних кривих, який дає приблизно ті ж самі результати, що і стандартний метод, але вимагає значно меншої витрати часу.

Ідея методу: не чекаючи повної стабілізації деформації, зразок навантажують через більш короткий проміжок часу (через одну або кілька годин), достатній для плавного повороту кривої на

згасання деформації. До повної стабілізації дотримуються лише останній крок навантаження.

В.М. Веселовський стверджує, що для більш точного побудування компресійного графіку необхідно внести ще один додатковий крок з повною стабілізацією. Але практично достатньо використовувати компресійну криву, яку побудували за допомогою лише однієї кінцевої ступені, дотриманої до стабілізації деформації, бо навіть у несприятливих умовах розходження становить між стандартним та спрощеним методом 1-4 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ/ REFERENCES

1 ДСТУ Б.В.2.1-4-96 Державний стандарт України. Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. – К.: Держ. комітет у справах містобудуван. і архітек. – 1997. – 102 с. / DSTU B.V.2.1-4-96 State standard of Ukraine. The Soil. Laboratory methods for determining the strength and deformability. – Kiev : Ministry of regional development and construction of Ukraine, 1997. – 102 p. – (National standard of Ukraine)

2 ГОСТ 22733-77 Стандарт СССР. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 10с. / GOST 22733-77 The standard of the USSR. The soils. Laboratory method for determining the maximum density. – Moscow : Standartinform Publ., 1981. – 10 p.

3 Писаненко В.П., Лавров С.Н. Полевые испытания деформационных свойств грунтов методом контролируемых перемещений / Известия вузов: Строительство и архитектура – 1990. – № 5 – С. 130 – 133. / Pisarenko V. P., S. N. Lavrov. Field test of deformation properties of soils by the method of controlled movements / Izvestiya vuzov: Construction & architecture – 1990. - No. 5 - P. 130 - 133.

4 Попова З.А. Исследование грунтов для дорожного строительства (лабораторные и практические работы): Уч. пособ. для техн. – М.: Наука, 1979. – 164 с. / Popova Z. A. Study of soils for road construction (laboratory and practical work). - Moscow: Nauka, 1979. - 164 p.

5 ГОСТ 5180-84. Стандарт СССР. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 37с. / GOST 5180-84. The standard of the USSR. The soils. Laboratory determination of physical characteristics. – М.: Publishing house of standards, 1985. – 37 p.

6 ДСТУ БВ.2.1-3-96. Державний стандарт України. Грунти. Лабораторні випробування. Загальні положення. –

Таким чином, наша пропозиція заміни 6-крокового навантаження на 2-крокове ґрунтується як на наших даних, так і на висновках В.М. Веселовського [14], що тривалість процесу осідання дослідженого у компресійному приладі зразка ґрунту не залежить від величини тиску та для дослідженого ґрунту певної потужності є постійною величиною. Тому ми вважаємо, що це є прийнятним і може бути застосованим у створенні нової методики визначення деформаційних характеристик дисперсних ґрунтів.

К. 1996 – 76 с. / DSTU BV.2.1-3-96. Derjavnij standard of Ukraine. The soils. Laboratory researches. General position. – K. 1996 – 76 p.

7 Hunt Roy E. Geologic hazards: a field guid for geotechnical engineers / by Roy E. Hunt – London : Taylor and Francis Group, 2006. – 334 p.

8 Landslide Science and Practice. Vol. 2: Early Warning, Instrumentation and Monitoring / editors C. Margottini, P. Canuti, K. Sassa. – London : Taylor and Francis Group, 2013. – 685 p.

9 Landslides and engineered slopes. From the past to the future / editor Zuyn Chen. – London Taylor and Francis Group, 2010. – 525 p.

10 ДСТУ Б В.2.1-5-96 (ГОСТ 20522-96). Державний стандарт України. Грунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. – К.: Держ. Комітет у справах містобудуван. і архітек. – 1996. – 24 с. / DSTU B V. 2.1-5-96 (GOST 20522-96). State standard of Ukraine. The soil. Statistical researches of test results. - K.: the State Committee for urban planning and architecture. - 1996. - 24 p.

11 Литвинов И.С. Исследование грунтов в полевых условиях. – Москва – Харьков: Углетехиздат, 1951. – 196 с. / Litvinov I.S. Soil testing in the field. - Moscow – Kharkov: Ugletehizdat, 1951. – 196 p.

12 Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с. / Lomtadze V.D. Engineering geology. Engineering geodynamics / Lomtadze V. D. – Lviv : Nedra, 1977. – 479 p.

13 Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. – М.: Стройиздат, 1979. – 281 с. / Abelev Y.M, Abelev M. Y. Fundamentals of design and construction for collapsible macroporous soils. - Moscow: Stroyizdat, 1979. – 281 p.

14 Веселовский В.М. Осадки сооружений во времени. М.: Стройиздат, 1940 – 125 с. / Veselovsky, V. M. Precipitation structures in time. Moscow : Stroyizdat, 1940 - 125 p.

Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. Егоровым Е.А. (Украина) и д-ром. техн. наук, проф. Сединым В.Л. (Украина).

Статья поступила в редколлегию 07.04.2015г.