

## Вплив ефекту зім'яття глинистих ґрунтів при компресійних випробуваннях на визначення осідання основи

Олександр П'ятков<sup>1</sup>, Вероніка Жук<sup>2</sup>, Ольга Полухович<sup>3</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,  
<sup>1</sup>av.pyatkov@gmail.com, orcid.org/ 0000-0001-8797-151X  
<sup>2</sup>zhuk.vv@knuba.edu.ua, orcid.org/ 0000-0002-1114-3192  
<sup>3</sup>olia813@ukr.net

DOI: 10.32347/0475-1132.40.2020.83-90

**Анотація.** Експериментально досліджено вплив «компресійної похибки» - ефекту зім'яття зразків пілувато-глинистих ґрунтів при компресійних випробуваннях.

Для цього проведено компресійні випробування супісків і суглинків на спеціальному компресійному приладі з площею кільця  $A=360 \text{ см}^2$  і висотою  $h_k=7 \text{ см}$ .

Другою відмінністю цього приладу є наявність у верхньому штампі отворів діаметром до 5 мм для встановлення гвинтових марок, які розміщувалися в зразках глинистого ґрунту на відстані до 5 мм від контактної поверхні між штампом і ґрунтом.

Модуль деформації є головною деформаційною механічною характеристикою ґрунту. З практики відомо, що більш достовірні значення цієї характеристики можна отримати при випробуваннях ґрунтових основ штампами в польових умовах. Однак при проектуванні фундаментів неглибокого закладання, як правило, застосовують одометричні випробування ґрунтів в лабораторних умовах, на стандартних компресійних приладах площею кільця  $60 \text{ см}^2$  і висотою  $h_k=25 \text{ мм}$  за методикою 2-х кривих [6]. Для отримання розрахункових величин компресійні модулі корегують за допомогою перехідних коефіцієнтів [7, 4].

А найголовніше те, що при визначенні величин одометричних лабораторних модулів, з використанням стандартних компресійних приладів, на результат впливає «компресійна похибка». Тобто вихідні дані для розрахункових модулів деформації інженерно-геологічних елементів основи можуть бути значно занижені, що багато разів практично підтверджувалось комплексними парними (штамп-одометр) дослідженнями ґрунтів на стиск.



**Олександр П'ятков**  
доцент кафедри  
геотехніки  
к.т.н., доц.



**Вероніка Жук**  
доцент кафедри  
геотехніки  
к.т.н., доц.



**Ольга Полухович**  
магістр кафедри  
геотехніки

Дослідження стиску ґрунтів в компресійних умовах, проведені в лабораторії основ і фундаментів КНУБА [2], доводять можливість покращення результатів одометричних випробувань ґрунтів на стиск, наближаючи їх до штампових.

**Ключові слова.** Компресійні випробування, одометр, модуль деформації, штамп, польові умови, ефект зім'яття, осідання основи, складні ґрунтові умови.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Достовірні значення розрахункових модулів загальної деформації ґрунтів -  $E$  відповідно до вимог ДБН [1] безпосередньо впливають на розрахунки осідання фундаментів будинків і споруд.

Величини одометричних модулів  $E_{oed}$  отримані за уточненою методикою, з урахуванням ефекту зім'яття, значно наближені до величин  $E$ , отриманих за методикою польових досліджень деформацій ґрунтів при випробуваннях штампами -  $E_{pet}$  [5]. Визначення більш точних значень деформацій ґрунтів при компресійних випробуваннях є важливим фактором при розрахунках осідання фундаментів неглибокого закладання.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З досліджень проф. А.К. Ларіонова і Л.В. Кисловой [3] відомо, що на результати компресійних випробувань ґрунтів можуть впливати близько 30 факторів. Значної частини з них можна уникнути, але деякі є системними за рахунок конструктивних особливостей приладів (одометрів).

Попередні дослідження деформації зразка ґрунту в компресійному приладі [2, 5, 8] показали, що на їх величину має найбільший вплив зім'яття ґрунту на контактні штампи одометра. Це призводить до зниження величин модуля деформації  $E_{oed}$  в декілька разів порівняно з величинами модулів при польових дослідженнях штамповими випробуваннями тих же ґрунтів [4, 5].

## МЕТА РОБОТИ

На основі експериментального дослідження встановити кількісний вплив ефекту зім'яття ґрунту при компресійному стиску супісків і суглинків на визначення величин модуля деформації та розрахунку осідання в основі стрічкових фундаментів 4-х поверхової житлової будівлі.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відомо, що фундаменти неглибокого закладання розраховують за другим граничним станом: тобто по деформаціям ґрунтової основи, з виконанням умов:  $\sigma_{mi} \leq R$ ;  $S \leq S_u$  [1].

Найбільше значення при визначенні величин осідання має метод пошарового під-

сумування:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zpi} - \sigma_{z\gamma i}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma i} \cdot h_i}{E_{e,i}}$$

Відповідно до норм [1] визначення величини осідання  $S$  можна провести за спрощеною формулою:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zpi} \cdot h_i}{E_i}, \text{ якщо глибина менше 5 м.}$$

Величини одометричних модулів деформації розраховуються за формулою:

$$E_{oed} = \frac{1 + e_0}{C_c} \cdot \beta, \text{ яка напряму залежить від}$$

значень коефіцієнта стиску  $C_c$ ,  $1/MPa$ , який в свою чергу визначається для заданого інтервалу тиску -  $P$  і залежить від змінних величин коефіцієнта пористості ґрунту  $e_i$ :

$$C_c = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i} = tg\alpha; e_i = e_0 - \frac{\Delta h}{h} (1 + e_0)$$

Таким чином дослідження величин відносних деформації зразка ґрунту на ступенях навантаження при компресійному стиску є ключовим при побудові залежностей  $e=f(P)$  і саме за рахунок уточнення величин  $\Delta h/h$  можна отримати більш достовірні модулі  $E_{oed}$  і більш точні розрахунки осідання  $S$ , які будуть наближені до даних при штампових випробуваннях ґрунтів основи.

Досліджувались супіски світло-жовтого до жовто-бурого кольору, тверді, пилюваті в підшві шару опіщанені з рідкими плямами буроватого кольору (ПГЕ-2) з глибин 4, 6, 8 метрів та суглинки жовто-бурого кольору, пилюваті тверді (ПГЕ-3) з глибини 12 метрів.

На Рис. 1 представлена схема компресійного кільця з можливістю вимірювання деформацій  $\Delta h$  як по верхньому штампі ( $A_1, A_2$ ), так і по гвинтовим маркам ( $B_1, B_2$ ).

Дані для побудови графіків компресійних кривих  $e=f(P)$  див. Рис. 2, Рис. 3, Рис. 4, Рис. 5 з замірами деформацій по штампі і маркам для зразків №1, 2, 3, 4 приведені в таблицях Табл. 2, Табл. 3, Табл. 4, Табл. 5.

Величини коефіцієнтів стиску і одометричних модулів деформації для всіх зразків ґрунту в інтервалі тиску 200-300 кПа представлено в таблиці Табл. 6.

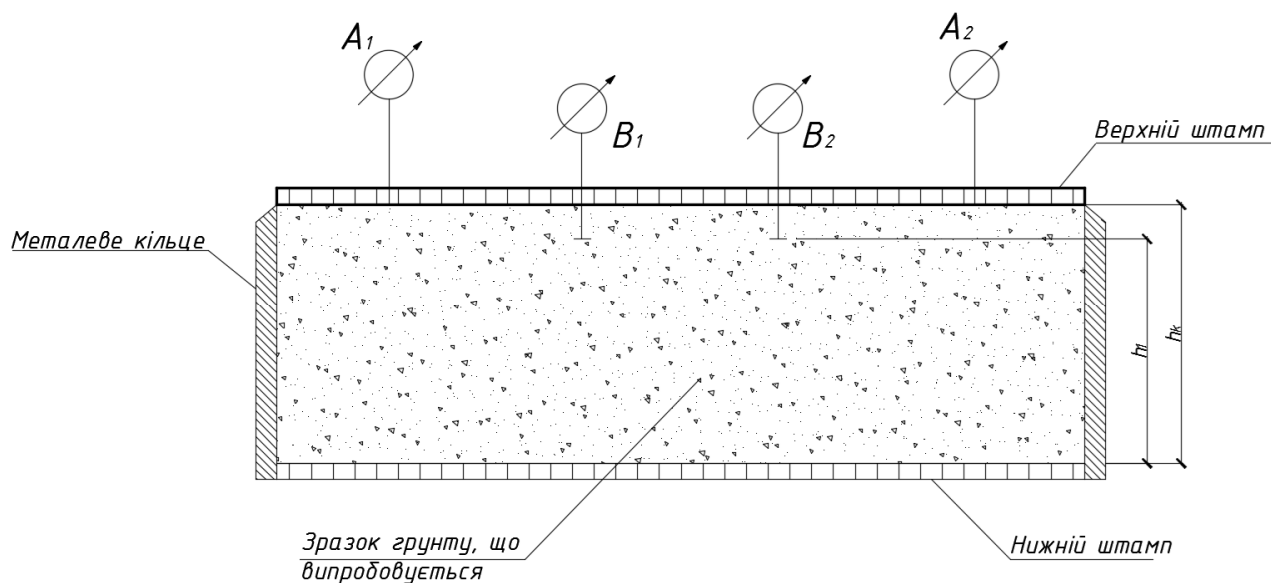


Рис.3. Схема компресійного приладу.  
Fig.3. Scheme of the compression device.

Табл. 1. Фізичні характеристики ґрунтів  
Table 1. Physical characteristics of soils

Глибина відбору зразків ґрунту (№1, 2, 3, 4)	№1 глиб. 4м	№2 глиб. 6м	№3 глиб. 8м	№4 глиб. 12м
Природна вологість ґрунту, W	0,15	0,14	0,10	0,10
Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	Природного $\rho$	1,51	1,52	1,58
	Сухого $\rho_d$	1,31	1,34	1,44
	Частинок $\rho_s$	2,67	2,66	2,66
Коефіцієнт пористості, $e_0$	1,035	0,985	0,852	0,874
Ступінь водо насичення, $S_r$	0,39	0,36	0,31	0,32
Границі	Тежучості, $W_L$	0,27	0,26	0,25
	Пластичності, $W_P$	0,20	0,20	0,21
Число пластичності, $I_P$	0,07	0,06	0,04	0,10
Показник тежучості, $I_L$	<0	<0	<0	<0

Табл. 2. Результати компресійних випробувань для зразка ґрунту №1 (h=4 м)  
Table 2. Compression test results for soil sample №1 (h=4 m)

Тиск (P), кПа	По штампам (h=7см)			По маркам (h=6.5см)		
	$\Delta h$	$\Delta h/h$	$e_i$	$\Delta h$	$\Delta h/h$	$e_i$
50	0,042	0,0060	1,023	0,020	0,0031	1,028
100	0,083	0,0118	1,011	0,042	0,0064	1,022
150	0,185	0,0264	0,981	0,120	0,0184	0,997
200	0,324	0,0462	0,941	0,239	0,0367	0,960
300	0,561	0,0801	0,872	0,444	0,0683	0,896

Табл. 3. Результати компресійних випробувань для зразка ґрунту №2 (h=6 м)  
Table 3. Compression test results for soil sample №2 (h=6 м)

Тиск (P), кПа	По штампу (h=7см)			По маркам (h=6.5см)		
	$\Delta h$ ,	$\Delta h/h$	$e_i$	$\Delta h$ ,	$\Delta h/h$	$e_i$
50	0,085	0,0121	0,961	0,038	0,0058	0,973
100	0,171	0,0244	0,936	0,119	0,0183	0,948
150	0,372	0,0531	0,879	0,279	0,0429	0,899
200	0,539	0,077	0,832	0,330	0,0507	0,884
300	0,788	0,1126	0,761	0,550	0,0846	0,817

Табл. 4. Результати компресійних випробувань для зразка ґрунту №3 (h=8 м)  
Table 4. Compression test results for soil sample №3 (h=8 м)

Тиск (P), кПа	По штампу (h=7см)			По маркам (h=6.5см)		
	$\Delta h$ ,	$\Delta h/h$	$e_i$	$\Delta h$ ,	$\Delta h/h$	$e_i$
50	0,068	0,0097	0,834	0,049	0,0075	0,838
100	0,121	0,0173	0,819	0,085	0,0131	0,828
150	0,174	0,0248	0,806	0,131	0,0201	0,815
200	0,225	0,0321	0,792	0,172	0,0264	0,803
300	0,351	0,0501	0,759	0,271	0,0417	0,775

Табл. 5. Результати компресійних випробувань для зразка ґрунту №4 (h=12 м)  
Table 5. Compression test results for soil sample №4 (h=12 м)

Тиск (P), кПа	По штампу (h=7см)			По маркам (h=6.5см)		
	$\Delta h$ ,	$\Delta h/h$	$e_i$	$\Delta h$ ,	$\Delta h/h$	$e_i$
50	0,043	0,0061	0,862	0,032	0,0049	0,865
100	0,078	0,0111	0,853	0,057	0,0087	0,857
150	0,101	0,0144	0,847	0,074	0,0114	0,852
200	0,130	0,0185	0,839	0,096	0,0147	0,846
300	-	-	-	-	-	-

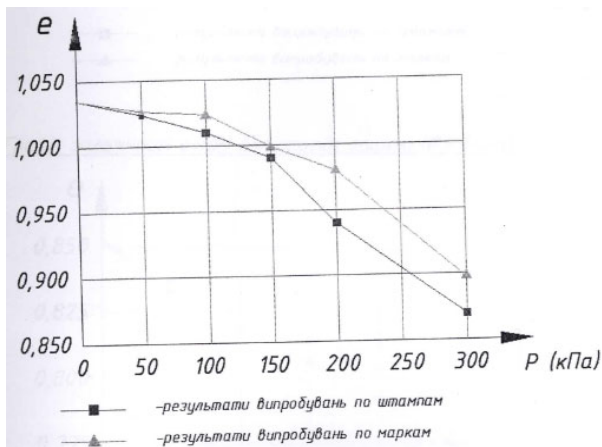


Рис.2 Графік залежності  $e=f(P)$  для зразка ґрунту №1 (h=4 м)  
Fig.2 Graph of dependence  $e=f(P)$  for soil sample №1 (h=4 м)

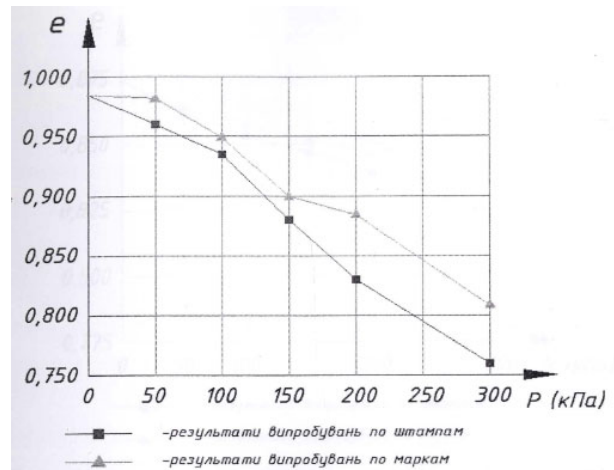


Рис.3 Графік залежності  $e=f(P)$  для зразка ґрунту №2 (h=6 м)  
Fig.3 Graph of dependence  $e=f(P)$  for soil sample №2 (h=6 м)

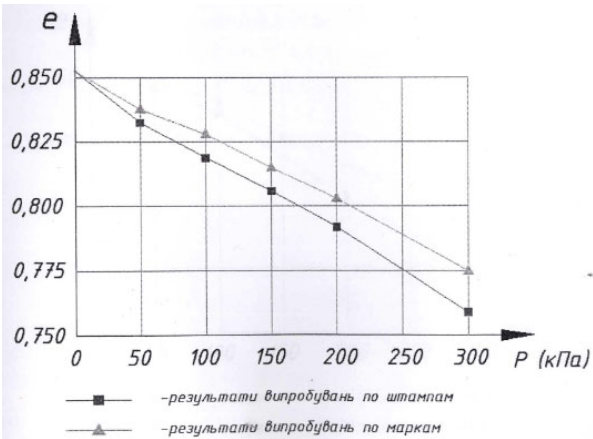


Рис.4 Графік залежності  $e=f(P)$  для зразка ґрунту №3 (h=8 м)  
 Fig.4 Graph of dependence  $e=f(P)$  for soil sample №3 (h=8 м)

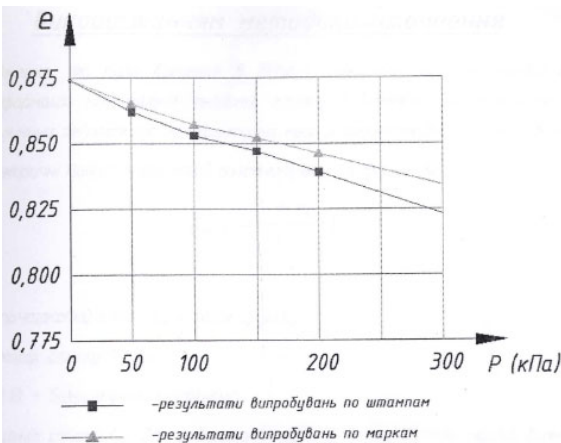


Рис.5 Графік залежності  $e=f(P)$  для зразка ґрунту №4 (h=12 м)  
 Fig.5 Graph of dependence  $e=f(P)$  for soil sample №4 (h=12 м)

Графік залежності  $e=f(P)$  для ІГЕ-2 по усередненим показникам показано на Рис. 6.

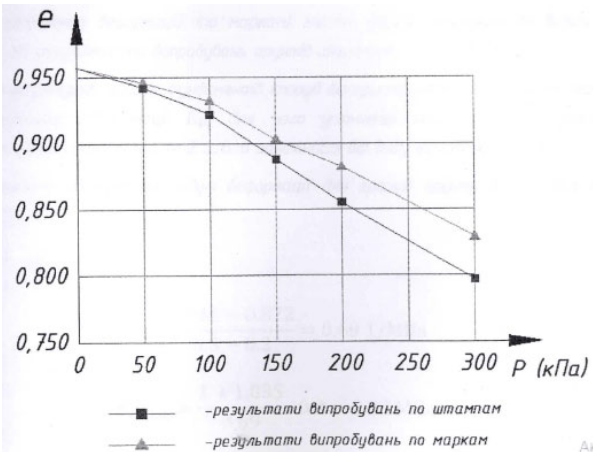


Рис.6 Графік залежності  $e=f(P)$  для ІГЕ-2  
 Fig.6 Graph of dependence  $e=f(P)$  for EGS-2

Табл. 6. Величини коефіцієнтів стиску і одометричних модулів деформації  
 Table 6. Values of compression coefficients and oedometer modules of deformation

№ зразка ґрунту	Характеристики			
	По штампу		По маркам	
	$C_c$ , 1/МПа	$E_{oed}$ , МПа	$C_c$ , 1/МПа	$E_{oed}$ , МПа
1	0,69	2,33	0,64	2,65
2	0,71	2,21	0,67	2,48
3	0,33	4,46	0,28	5,39
4	0,16	9,37	0,12	12,49

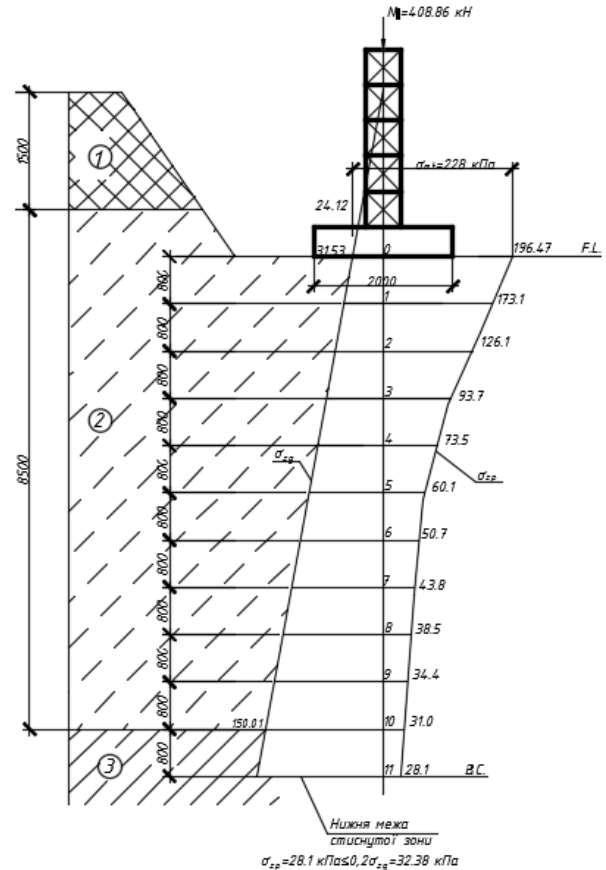


Рис.7 Розрахункова схема для визначення осідання фундаменту  
 Fig.7 Calculation scheme for determining the subsidence of the foundation

Для супіску ІГЕ-2 було визначено усереднене значення  $E_{oed}$ :

- по замірам на штампі-3,0 МПа
- по маркам-3,51 МПа.

Із застосуванням перехідних коефіцієнтів [4, 7] розрахункові значення модуля деформації супіску ІГЕ-2 прийнято  $E_{p,шт.}=7,5$  МПа;  $E_{p.м.}=9,0$  МПа, а для суглинку ІГЕ-3  $E_{p,шт.}=19$  МПа;  $E_{p.м.}=25$  МПа. Величини осідання за методом пошарового під-



## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- підтверджено наявність зони зм'яття ґрунту на межі зі штампом, яка складає 2-3 мм;

- підтверджено ефективність проведення компресійних випробування ґрунтів за уточненою методикою з використанням гвинтових марок;

- доведена можливість підвищення результатів і визначення деформаційних показників ґрунтів і деформацій основ в цілому на 20-25 %.

Для підвищення надійності розрахунків фундаментів неглибокого закладання слід рекомендувати проведення комплексних досліджень ґрунтових умов, їх всебічний аналіз і поглиблення на регіональній основі. Особливо це стосується досліджень лесових просідаючих основ і встановлення перехідних коефіцієнтів до розрахункових модулів деформації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти споруд. ДБН В.2.1.-10-2009-Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2009.-110 с.
2. Пятков А.В. Диссертация. Рациональные фундаменты сельских зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах-Киев-1987.-181 с.
3. Ларионов А.К., Кислова Л.В. К вопросу об изучении ошибок при компрессионных испытаниях грунтов на сжатие. Строительство сооружений на лессовых породах. Воронеж: ВИСИ, 1963.
4. Методичні рекомендації. Підвищення точності визначення модулів деформації ґрунтів основ будівель і споруд. ДП «НДІБК» Київ-2017.-21 с.
5. Особливості визначення деформацій глинистих ґрунтів в умовах компресійного стиску. Праці 2 Міжнародної конференції «Проблеми геотехніки» Київ: КНУБА, 2017 с.138-139.
6. Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформативності. ДСТУ Б.В.2.1-4-96-Київ: ДП «Укрархбудінформ» 1996.-102 с.
7. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83)

НИИОСП им.Герсеванова-М: стойиздат, 1986.-415 с.

## REFERENCES

1. Osnovy ta fundamenti sporud. DBN V.2.1.-10 2009-Kyiv: DP «Ukrarkhbudininform», 2009.-110 (in Ukrainian).
2. Pyatkov A.V. (1987). Dissertatsiya. Ratsional'nyye fundamenti sel'skikh zdaniy i sooruzheniy na lessovykh prosadochnykh gruntakh [Rational foundations of rural buildings and structures on loess subsidence soils]. Kyiv: 181 (in Russian).
3. Larionov A.K., Kislova L.V. (1963). K voprosu ob izuchenii oshibok pri kompressionnykh ispytaniyakh gruntov na szhatiye. Stroitel'stvo sooruzheniy na lessovykh porodakh [On the study of errors in compression tests of soils for compression. Construction of structures on loess rocks]. Voronezh: VISI. (in Russian).
4. Metodichni rekomendatsiyi (2017). Pidvyschennya tochnosti vyznachennya moduliv deformatsiyi hruntiv osnov budivel' i sporud [Improving the accuracy of determining the modules of soil deformation of the foundations of buildings and structures]. DP «NDIBK» Kyiv: 21 (in Ukrainian).
5. Osoblyvosti vyznachennya deformatsiy hlynistykh hruntiv v umovakh kompresiynoho stysku [Features of determination of deformations of clay soils in the conditions of compression compression]. Pratsi 2 Mizhnarodnoyi konferentsiyi «Problemy heotekhniky» Kyiv: KNU-BA, 2017, 138-139 (in Ukrainian).
6. Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennya kharakterystyk mitsnosti i deformatyvnosti [Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformability characteristics]. DSTU B.V.2.1-4-96. Kyiv: DP «Ukrarkhbudininform» 1996, 102 (in Ukrainian).
7. Posobiye po proyektirovaniyu osnovaniy zdaniy i sooruzheniy (k SNiP 2.02.01-83) NII-OSP im.Gersevanova. Moscow: stoyizdat, 1986, 415 (in Russian).

**Influence of the effect of crumpling of clay soils in compression tests on the determination of the subsidence of the base**

*Oleksandr Piatkov,  
Veronika Zhuk  
Olha Poliukhovych*

**Summary.** The effect of "compression error" - the effect of crumpling samples of dusty clay soils in compression tests - has been investigated experimentally.

For this purpose, compression tests of sands and loams were carried out on a special compression device with a ring area  $A = 360 \text{ cm}^2$  and a height  $h_k = 7 \text{ cm}$ .

The second difference of this device is the presence in the upper stamp of holes with a diameter of up to 5 mm for the installation of screw marks, which were placed in clay soil samples at a distance of up to 5 mm from the contact surface between the stamp and the soil.

The modulus of deformation is the main deformation mechanical characteristic of the soil. It is known from practice that more reliable values of this characteristic can be obtained by testing soil bases with stamps in the field. However, when designing the foundations of shallow foundation, as a rule, apply odometer tests of soils in the la-

boratory on standard compression devices with a ring area of  $60 \text{ cm}^2$  and a height of  $h_k = 25 \text{ mm}$  by the method of 2 curves [6]. To obtain the calculated values, the compression modules are corrected using transient coefficients [7, 4].

And most importantly, when determining the values of odometer laboratory modules, using standard compression devices, the result is affected by the "compression error". That is, the initial data for the calculated modules of deformation of the engineering-geological elements of the base can be significantly underestimated, which has been confirmed many times by complex pair (stamp-odometer) studies of soils under compression.

Studies of soil compression in compression conditions, conducted in the laboratory of foundations and foundations of KNUBA [2] prove the possibility of improving the results of odometer tests of soils for compression, bringing them closer to the strain.

**Key words.** Compression tests, odometer, deformation module, stamp, field conditions, crumpling effect, foundation subsidence, difficult soil conditions.