

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕСОВИХ ГРУНТІВ, ЩО ЗАЗНАЛИ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

**П. П. Личов, канд. техн. наук, А. Л. Ган, С. П. Бєлих, аспіранти,
Є. А. Загоруйко, магістр (НТУУ “КПІ”)**

Приведены результаты исследований лесовых грунтов, отобранных из шурфа, который пройден в подвале 7-го корпуса НТУУ “КПИ”. Определены физико-механические характеристики этих грунтов в природном состоянии и заинъектированных цементно-силикатными и другими растворами.

Проблема забезпечення надійності будівель та споруд, зведених на лесових просідаючих грунтах, набула актуальності у 30-х рр. ХХ століття, коли на Україні було розпочате масове будівництво промислових підприємств та інженерних споруд. У деяких випадках ці споруди отримували небезпечні деформації внаслідок великих раптових нерівномірних осадок, які отримали назву “просідання” або “просадка”. Це спричинило інтенсивне вивчення особливостей лесових грунтів і методів будівництва на цих грунтах [1–3].

Були розроблені способи оцінки просадочних властивостей грунтів і методи отримання відповідних характеристик цих грунтів при інженерно-геологічних пошуках. Встановлено, що просідання відбувається внаслідок замочування ґрунту під спорудами. Лесові ґрунти характеризуються високою пористістю при відносно низькому зчепленні між частинками та агрегатами, яке легко порушується при замочуванні. На основі цих досліджень були розроблені рекомендації по зведенню будівель та споруд на лесових просідаючих грунтах [4]. Завдяки цим рекомендаціям на території України, 70 % якої складено лесовими просідаючими грунтами, було здійснене будівництво великої кількості крупних та відповідальних споруд, що успішно експлуатуються і по цей час [5].

Фундаменти корпусу № 7 НТУУ “КПІ” протягом останніх років зазнають додаткових нерівномірних просадок, що призвело до порушення цілісності будівлі і появи прогресуючих тріщин. Для встановлення причин виникнення просадок були проведені дослідження фізико-механічних характеристик лесових грунтів, які є основою частини фундаментів корпусу. У підвалі корпусу було пройдено шурф глибиною 4,5 м і відібрано моноліти грунтів непорушеної структури з відміток 2,5 м (відмітка низу підшви фундаменту); 3; 3,5; 4 і 4,5 м.

В результаті визначення гранулометричного складу цих грунтів аерометричним методом встановлено, що вони належать до алевритів, тобто пилуватих утворень, і по вмісту фракцій мають такий склад: піщаних частинок розміром більше 0,25 мм – 1 %; розміром 0,25...0,1 мм – 5,3 %; пилуватих частинок розміром 0,1...0,05 мм – 88,98 %; 0,05...0,01 мм – 0,08 %; розміром 0,01...0,005 мм – 0,01 %; глинистих частинок розміром більше 0,005 мм – 4,63 %.

Фізико-механічні характеристики цих грунтів наведені у таблиці.

Механічні характеристики лесових ґрунтів у природному стані і закріплених цементно-сілікатними та іншими розчинами при початковому коефіцієнті пористості $e = 0,844$

Найменування	Коефіцієнт фільтрації K_{10} , м/добу	Опір ґрунтів зрізу τ , МПа	Кут внутрішнього тертя ϕ , град.	Питоме зчеплення C , МПа	Модуль деформації E , МПа		Відносна просадочність ϵ_f	Початковий просадочний тиск P_0 , МПа
					у природному стані	у водонасиченому стані		
Зразки у водонасиченому стані, заін'єктовані цементно-сілікатним розчином із вмістом силікату натрію:								
1 %, при тиску 0,1 МПа	0,028	0,150	39	0,076	13,98	5,77	0,0048	—
1 %, при тиску 0,2 МПа	0,023	0,249	39	0,076	13,98	5,77	0,0210	0,165
1 %, при тиску 0,3 МПа	0,020	0,314	39	0,076	13,98	5,77	0,0280	0,190
3 %, при тиску 0,1 МПа	0,029	0,163	37	0,095	13,28	6,02	0,0053	—
3 %, при тиску 0,2 МПа	0,014	0,250	37	0,095	13,28	6,02	0,0105	0,200
3 %, при тиску 0,3 МПа	0,013	0,310	37	0,095	13,28	6,02	0,0273	0,190
5 %, при тиску 0,1 МПа	0,028	0,168	40	0,090	16,40	6,58	0,0050	—
5 %, при тиску 0,2 МПа	0,016	0,275	40	0,090	16,40	6,58	0,0116	0,190
5 %, при тиску 0,3 МПа	0,015	0,344	40	0,090	16,40	6,58	0,0314	0,215
Зразки у водонасиченому стані, заін'єктовані цементно-сілікатним розчином із вмістом силікату натрію 3 % та 0,1 % FeB МІХ:								
при тиску 0,1 МПа	0,024	0,171	39,5	0,0976	15,5	6,52	0,0057	—
при тиску 0,2 МПа	0,016	0,264	39,5	0,0976	15,5	6,52	0,0117	0,190
при тиску 0,3 МПа	0,014	0,333	39,5	0,0976	15,5	6,52	0,0311	0,215
Зразки у водонасиченому стані, заін'єктовані бентонітовим розчином:								
при тиску 0,1 МПа	0,013	0,099	21	0,051	6,98	3,45	0,0113	0,085
при тиску 0,2 МПа	0,011	0,126	21	0,051	6,98	3,45	0,0252	0,100
при тиску 0,3 МПа	0,004	0,163	21	0,051	6,98	3,45	0,0541	0,110
Зразки у природному стані:								
при тиску 0,1 МПа	0,034	0,069	19	0,043	6,48	2,41	0,0129	0,085
при тиску 0,2 МПа	0,033	0,122	19	0,043	6,48	2,41	0,0270	0,085
при тиску 0,3 МПа	0,027	0,138	19	0,043	6,48	2,41	0,0593	0,090
Зразки із проміжною вологістю:								
14 %	—	0,164	19,2	0,043	6,48	—	—	—
22 %	—	0,148	18,1	0,021	—	2,78	—	—
24 %	—	0,134	17,6	0,017	—	2,41	—	—

Дослідження стійкості ґрунтів проводили за схемою “двох кривих” і методом одноплощинного зрізу за допомогою польової лабораторії ППЛ-9. Зразки ґрунтів, що знаходились у компресійних різальних кільцях діаметром 5,62 см і площею 25 см², закріплювали шляхом ін’єктування розчинів за допомогою шприц-ін’єкторів у попередньо просвердлені отвори (20–30 отворів з кроком 10–15 мм в кожному зразку).

Для приготування розчинів застосовували побутовий змішувач. Заін’єктовані зразки витримували протягом 7 діб у вологому середовищі, щоб забезпечити твердіння цементно-силікатних розчинів не менш ніж на 75 %. Після затвердіння розчинів до потрібної міцності заін’єктовані зразки випробували на просадочність (компресійне стиснення) і на одноплощинний зріз.

Оскільки щільність застосованих розчинів становила 1,47...1,62 г/см³, тобто була близькою до щільності природного ґрунту, умовно прийняли, що фізичні характеристики заін’єктованих зразків такі ж, як у ґрунтів природного стану, що підтвердили результати контрольного визначення щільності заін’єктованих ґрунтів.

Дослідження відносної просадочності заін’єктованих зразків (рис. 1) і випробування на одноплощинний зріз (рис. 2) показали:

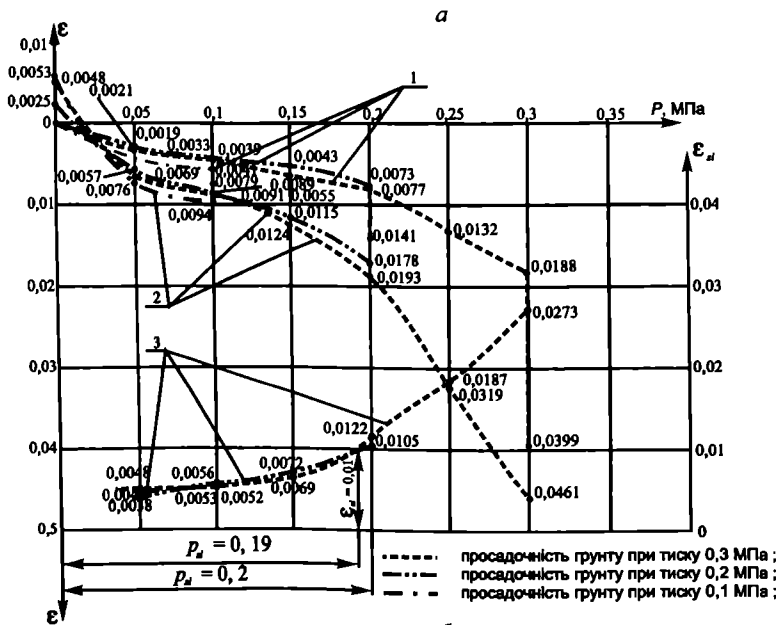
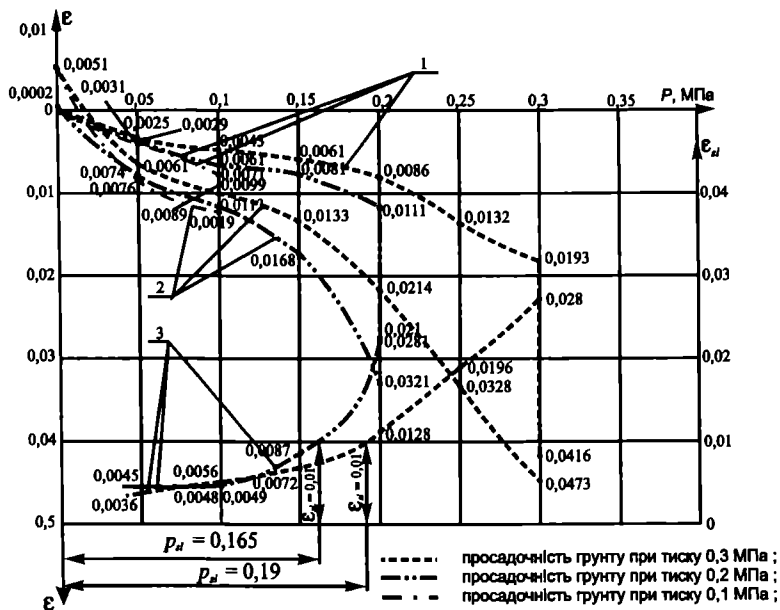
1) для зразків, заін’єктованих цементно-силікатним розчином з вмістом 1 % силікату натрію, відносна просадочність ϵ_{s1} становить: при тиску 0,3 МПа – 0,0416...0,0473, при 0,2 МПа – 0,0214...0,032, при 0,1 МПа – 0,0048...0,0056; початковий тиск просідання P_{s1} становить 0,165...0,19 МПа; компресійний модуль деформації ґрунтів у природному стані $E = 13,98$ МПа, у водонасиченому стані $E_{sat} = 5,77$ МПа; кут внутрішнього тертя для водонасичених ґрунтів $\varphi = 39^\circ$; питоме зчеплення $C = 0,076$ МПа (див. рис. 1, а);

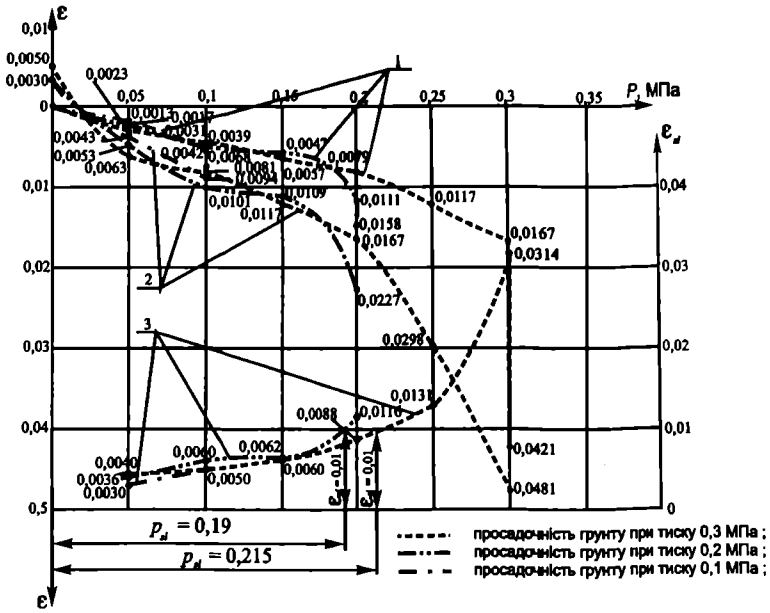
2) для зразків, заін’єктованих цементно-силікатним розчином з вмістом 3 % силікату натрію, відносна просадочність ϵ_{s1} становить: при тиску 0,3 МПа – 0,0399, при 0,2 МПа – 0,0105...0,0122, при 0,1 МПа – 0,0052...0,0056; $P_{s1} = 0,19...0,2$ МПа; $E = 13,28$ МПа; $E_{sat} = 6,02$ МПа; $\varphi = 37^\circ$; $C = 0,0995$ МПа (див. рис. 1, б);

3) для зразків, заін’єктованих цементно-силікатним розчином з вмістом 5 % рідкого скла, ϵ_{s1} становить: при тиску 0,3 МПа – 0,0314, при 0,2 МПа – 0,0116...0,0088, при 0,1 МПа – 0,005...0,006; $P_{s1} = 0,19...0,215$ МПа; $E = 16,41$ МПа; $E_{sat} = 6,58$ МПа; $\varphi = 40^\circ$; $C = 0,09$ МПа (див. рис. 1, в);

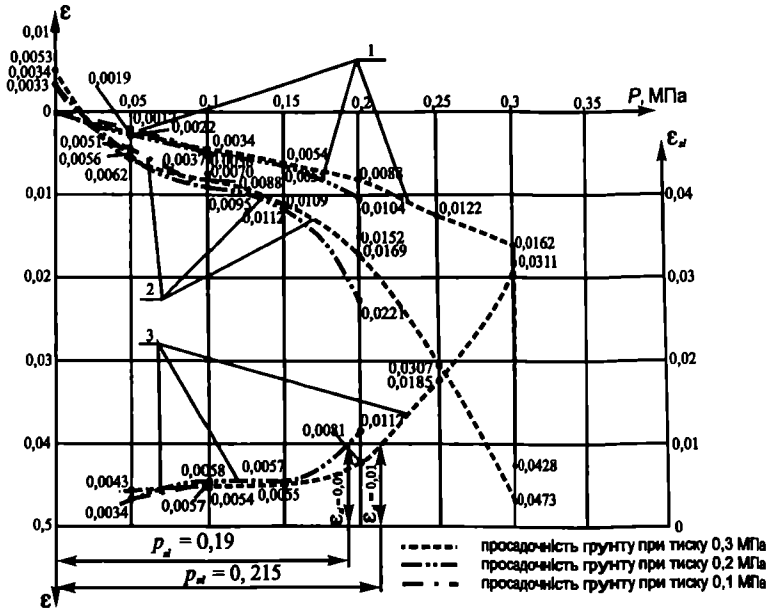
4) у зразках, заін’єктованих цементно-силікатним розчином з вмістом 3 % силікату натрію та з домішкою 0,1 % суперпластифікатора ФЕВ МІХ ϵ_{s1} , E , C і φ практично такі ж, як у зразках ґрунту без добавки ФЕВ МІХ (див. рис. 1, з);

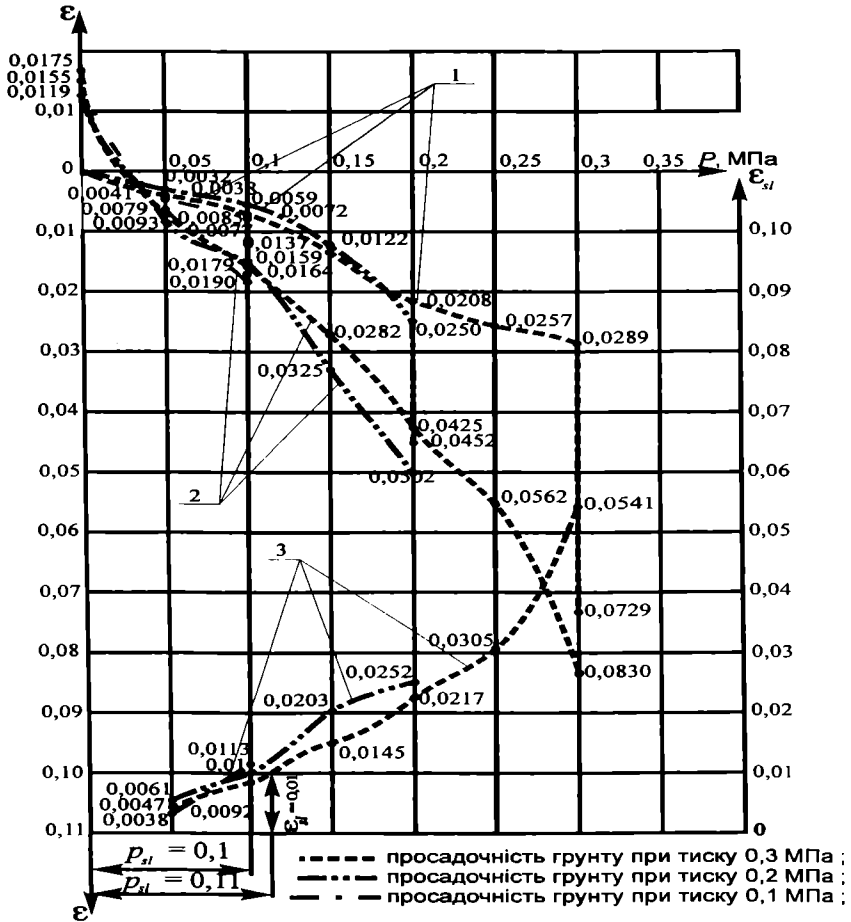
5) зразки, заін’єктовані бентонітовим розчином, за відносною просадочністю і модулем деформації наближаються до зразків природної структури, але питоме зчеплення для них становить 0,051 МПа, а кут внутрішнього тертя – 21° . Відмічається також незначне зростання початкового тиску просідання P_{s1} до 0,1...0,11 МПа (див. рис. 1, д).





в





д

Рис. 1. Графіки просадочності ґрунту, заін'єктованого цементно-силікатним розчином з вмістом 1 % силікату натрію (а), 3 % силікату натрію (б) і 5 % силікату натрію (в); з вмістом 0,1 % FEB MIX та 3 % силікату натрію (г); заін'єктованого бентонітовим розчином (д): 1 і 2 – відносне стиснення ґрунту відповідно з природною вологістю та у водонасиченому стані; 3 – залежність відносної просадочності від тиску; P_{st} – початковий просадочний тиск

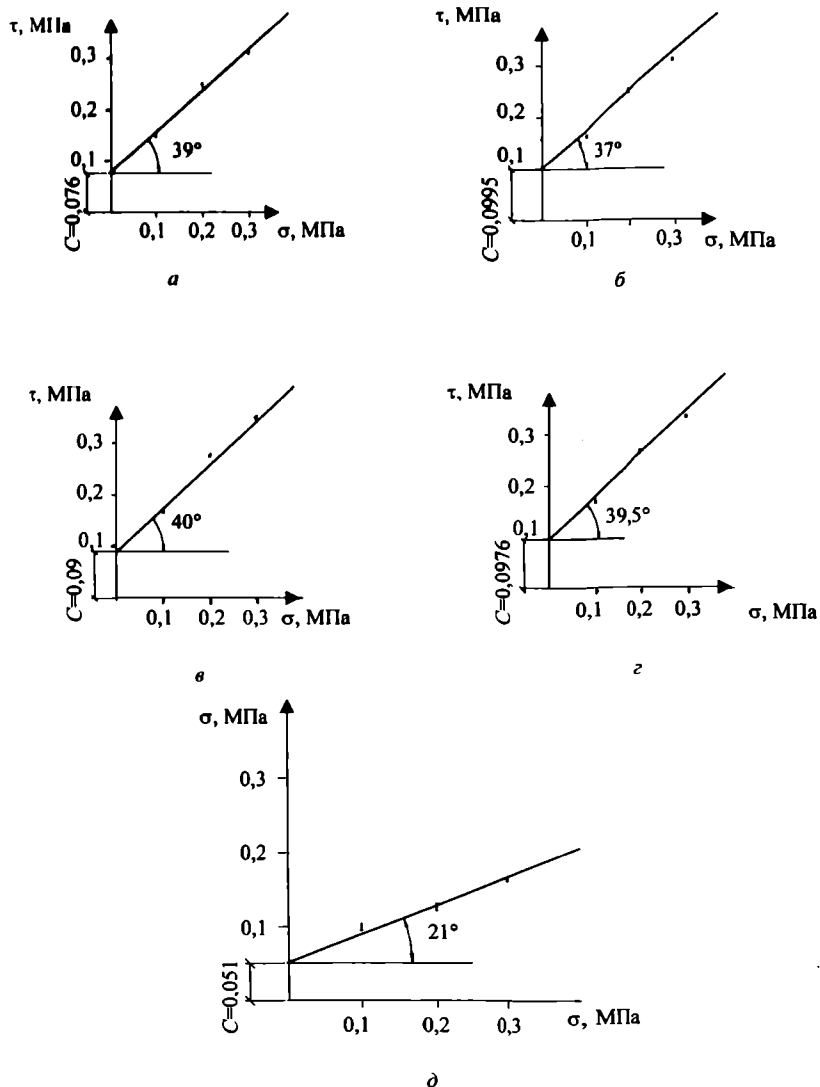


Рис. 2. Залежності $\tau=f(\sigma)$ при випробуванні ґрунту методом одноплосинного зрізу у зволоженому стані: а – заін'єктованого цементно-силікатним розчином з вмістом силікату натрію 1 %; б – заін'єктованого цементно-силікатним розчином з вмістом силікату натрію 3 %; в – заін'єктованого цементно-силікатним розчином з вмістом силікату натрію 5 %; г – заін'єктованого цементно-силікатним розчином з вмістом 0,1 % FEB MIX та 3 % силікату натрію; д – заін'єктованого бентонітовим розчином

Висновки

За даними проведених лабораторних досліджень встановлено:

1) введення цементно-силікатних розчинів майже в два рази зменшує відносну просадочність та модуль загальної деформації ґрунтів як у природному, так і у водонасиченому стані (див. таблицю); майже в два рази зростає кут внутрішнього тертя і суттєво (у 4...4,5 рази) підвищується питоме зчеплення для водонасичених ґрунтів;

2) заін'єктовані цементно-силікатним розчином зразки лесового ґрунту у природному стані не піддаються зсуву при одноплощинному зрізі;

3) добавка суперпластифікатора FEB MIX (0,1 %) у цементно-силікатний розчин підвищує його пластичність, але не змінює основних механічних характеристик;

4) застосування бентонітового розчину в три рази зменшує коефіцієнт фільтрації (до 0,004 м/добу); інші механічні властивості лесових ґрунтів при цьому суттєво не змінюються;

5) коефіцієнт фільтрації ґрунтів, заін'єктованих цементно-силікатними розчинами, змінюється несуттєво.

Таким чином, ін'єктування у фундаменти цементно-силікатного розчину дасть змогу створити під фундаментами корпусу структурно-армовані елементи і зменшити деформаційні властивості ґрунтів основи. Це дозволить запобігти подальшим нерівномірним просадкам і припинити розвиток тріщин. Цей метод є надійним, дешевим і не потребує відриву від урбового процесу.

1. Камбефор А. Инъекция ґрунтов. Принципы и методы. – М.: Энергия, 1971. – 335 с.

2. Ржаницин Б. А. Химическое закрепление ґрунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 263 с.

3. Литвинов И. М. Укрепление и уплотнение просадочных ґрунтов в жилищном и промышленном строительстве. – К.: Будівельник, 1977.

4. Корниенко Н. В. Просадочность и строительные классификации лесовых ґрунтов некоторых пунктов УССР: Автореф. дис... канд. техн. наук / Киевский инж.-строит. ин-т. – К., 1967. – 21 с.

5. Абелев М. Ю. Оценка просадочности ґрунтового массива из лесовых ґрунтов // Основания, фундаменти и механика ґрунтов. – 2001. – № 6. – С. 18–21.