

АНАЛІЗ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ ПІД ДІЄЮ СУФОЗІЇ НА СТЕНДОВОМУ ПРИЛАДІ

Наведено результати лабораторних досліджень зміни фізико-механічних характеристик глинистих ґрунтів у результаті дії суфозійних процесів. Запропоновано метод визначення показника інтенсивності суфозії та зміни механічних і деформативних характеристик для глинистих ґрунтів залежно від числа пластичності.

Ключові слова: суфозія, стендовий прилад, механічні властивості, показник інтенсивності суфозії.

Вступ. При забудові й експлуатації в районі стародавніх поселень спостерігаються значні деформації будівель і споруд, пов'язані з наявністю підземних виробок. У більшості випадків підземні виробки давно перестали експлуатуватися і засипані глинистими ґрунтами. Деформації будівель, розташованих на таких територіях, протікають повільно у часі, але можуть привести до руйнування споруд. Пояснюється це тим, що підземні ходи засипані пухким ґрунтом. У ґрунтах таких підземних виробок накопичуються тимчасові ґрунтові води, які негативно впливають на стан ґрунтів основ фундаментів будівель і споруд, зволожуючи їх. Але, крім зволоження, такі води можуть створювати підземні потоки, які при відповідному напірному градієнті викликають суфозію та руйнують ґрунти основи, що стає причиною деформування конструкцій будівель, а інколи їх руйнування [1].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Процес суфозії може виникати у ґрунтах певного складу та структури, коли рух води відбувається по порах, повністю заповнених водою. Однак необхідною умовою є наявність відповідного напірного градієнта. Вивчення суфозійних явищ в основному пов'язано з визначенням значень критичних напірних градієнтів, з перевищенням яких починаються суфозійні процеси. Незважаючи на порівняну ясність умов виникнення і розвитку суфозійних явищ, це питання вивчене мало, при чому дослідження стосувалися в основному піщаних ґрунтів [2]. Дослідження з визначення руйнівного напірного градієнта для глинистих ґрунтів у лабораторних умовах виконувались на незначних за розмірами зразках [3].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Однак досвід експлуатації зсувних і зсувонебезпечних схилів показує, що суфозійні процеси істотно впливають на стан і властивості ґрунтів, які складають схил. Тому за **мету роботи** прийнято дослідження зміни механічних характеристик глинистих ґрунтів під впливом суфозії. Для досягнення поставленої мети проводилися лабораторні дослідження глинистих ґрунтів з різним числом пластичності.

Основний матеріал і результати. З метою вивчення фізико-механічних властивостей ґрунтів, що заповнюють підземні виробки з урахуванням впливу на них суфозійних процесів, були проведені лабораторні дослідження з використанням спеціального стендового пристрою. Для відтворення природних умов стендовий пристрій заповнювався ґрунтом заданої щільності, який насичували водою. Потім ґрунт піддавався тривалій дії фільтраційного потоку води з постійним напірним градієнтом. Після закінчення суфозійних випробувань у стендовому приладі з ґрунту вирізалися зразки для подальших досліджень. Зрушення зразків ґрунту проводилося за схемою «швидкого»

неконсолідованого дренажного випробування відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1-4-96. За вимогами норм тривалість зрушення не перевищувала двох хвилин. Ураховуючи, що опір зрушенню залежить від часу випробувань, тривале значення опору зрушення визначалося за допомогою обробки результатів зрушення у логарифмічних координатах « $lg \tau - lg \Delta l$ ».

Результати випробувань оброблялися методом найменших квадратів з визначенням нормативних та розрахункових значень кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення за другою групою граничних станів.

Результати визначень характеристик ґрунтів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Нормативні значення фізико-механічних властивостей ґрунту

Руйнівний напірний градієнт I_{pic}	Число пластичності I_p	Показники фізичних властивостей				Показники механічних властивостей					
		Коефіцієнт пористості e		Питома вага γ , кН/м ³		Кут внутрішнього тертя φ , град		Питоме зчеплення c , кПа		Модуль деформації E , МПа	
		До суфозії	Після суфозії	До суфозії	Після суфозії	До суфозії	Після суфозії	До суфозії	Після суфозії	До суфозії	Після суфозії
0,5	0,16	1,40	1,55	17,0	16,6	3	1,5	12	8	2	0,7
0,6		1,31	1,42	17,3	16,9	4	2	15	11	3	1
0,8		1,20	1,30	17,6	17,3	5	3	18	13	4	1,5
1,0		1,10	1,22	18,0	17,6	6	3	20	16	5	2
0,5	0,11	1,20	1,35	17,7	17,2	7	5	7	4	2	1
0,6		1,14	1,27	1,79	17,4	8	5	9	5	3	1,5
0,8		1,00	1,18	18,4	17,7	9	6	11	6	4	2
1,0		0,90	1,12	1,89	18,0	10	7	13	7	5	2,5
0,5	0,04	1,10	1,45	18,1	16,9	13	10	4	1,5	4	3
0,6		1,00	1,25	18,5	17,6	14	11	5	2	4	3
0,8		0,83	1,10	19,3	18,1	15	12	7	3	5	3,5

Проаналізувавши результати, легко відзначити, що після закінчення дослідів у стендовому приладі коефіцієнт пористості збільшується, а щільність ґрунтів зменшується.

Порівнюючи результати випробувань зразків ґрунту з різним числом пластичності, можна відзначити, що суфозійні процеси при випробуванні ґрунту із $I_p=0,16$ протікали повільніше. У суглинку ($I_p=0,11$) суфозійні процеси проходили більш інтенсивно, а найбільш інтенсивно – у супісках ($I_p=0,04$).

Для кількісного оцінювання зміни показників фізико-механічних властивостей ґрунтів у процесі суфозії запропоновано такі поняття:

- показник інтенсивності суфозійних процесів, який визначається як співвідношення коефіцієнтів пористості після і до проведення дослідів, $\eta=e_c/e_0$;
- коефіцієнт зниження кута внутрішнього тертя, що визначається як співвідношення значень кута внутрішнього тертя після і до проведення дослідів, $k_\varphi=\varphi_c/\varphi_0$;
- коефіцієнт зниження питомого зчеплення, який визначається як співвідношення значень питомого зчеплення після і до проведення дослідів, $k_c=c_c/c_0$;
- коефіцієнт зниження модуля деформації, котрий визначається як співвідношення значень модуля деформації після і до проведення дослідів, $k_E=E_c/E_0$.

Указані коефіцієнти, визначені за результатами дослідів, зведені в таблиці 2.

Характер інтенсивності суфозійних процесів можна оцінювати за графіком залежності показника інтенсивності суфозії η від числа пластичності I_p (рис. 1).

Таблиця 2 – Показники та коефіцієнти зниження фізико-механічних властивостей ґрунтів у процесі суфозії

Руйнівний напірний градієнт I_{pne}	Число пластичності I_p	Показник інтенсивності суфозійних процесів, $\eta = e_c/e_0$	Коефіцієнт зниження кута внутрішнього тертя, $k_\varphi = \varphi_c/\varphi_0$	Коефіцієнт зниження питомого зчеплення, $k_c = c_c/c_0$	Коефіцієнт зниження модуля деформації, $k_E = E_c/E_0$
0,5	0,16	1,107	0,5	0,67	0,35
0,6		1,08	0,50	0,733	0,333
0,8		1,08	0,6	0,722	0,37
1,0		1,11	0,5	0,80	0,40
0,5	0,11	1,12	0,71	0,57	0,5
0,6		1,11	0,62	0,55	0,5
0,8		1,18	0,66	0,545	0,5
1,0		1,24	0,70	0,548	0,5
0,5	0,04	1,32	0,77	0,375	0,75
0,6		1,25	0,78	0,40	0,75
0,8		1,32	0,80	0,43	0,7

Аналізуючи графік залежності $\eta=f(I_p)$, можна дійти до висновку, що зі збільшенням числа пластичності інтенсивність суфозії зменшується. Пояснюється це гранулометричним складом ґрунтів, адже у супісках пилюватих частинок більше, ніж у суглинках, а саме вони виносяться водою при механічній суфозії.

Суфозійні процеси знижують механічні властивості ґрунтів. Характер зниження кута внутрішнього тертя φ , питомого зчеплення c та модуля деформації E наведено на графіках залежності цих показників від числа пластичності I_p .

Аналіз графіка залежності коефіцієнта зниження кута внутрішнього тертя k_φ від числа пластичності I_p показує більш інтенсивне зменшення кута внутрішнього тертя у супісках, ніж у суглинках (рис. 2, а). Пояснюється це тим, що тертя у ґрунтах відбувається в основному між піщаними та пилюватими частинками, які більш інтенсивно виносяться з ґрунту при механічній суфозії, що і викликає зниження кута внутрішнього тертя.

$$y = -1,6892x + 1,3585$$

$$R^2 = 0,8185$$

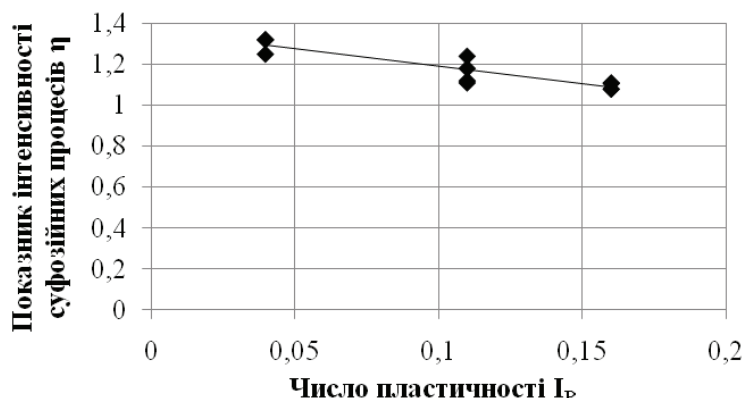


Рисунок 1 – Графік залежності показника інтенсивності суфозії η від числа пластичності I_p

Графік залежності коефіцієнта зниження питомого зчеплення k_c від числа пластичності I_p , навпаки, показує більш інтенсивне зменшення питомого зчеплення у суглинках, ніж у супісках (рис. 2, б). Сили зчеплення у глинистих ґрунтах порушеної структури обумовлені

водно-колоїдними зв'язками, які виникають в основному між глинистими частинками. У суглинках їх більше, ніж у супісках, тому зменшення питомого зчеплення при суфозії у суглинках відбувається інтенсивніше, ніж у супісках. Цим пояснюється протилежний нахил лінії залежності коефіцієнта зниження питомого зчеплення k_c від числа пластичності I_p .

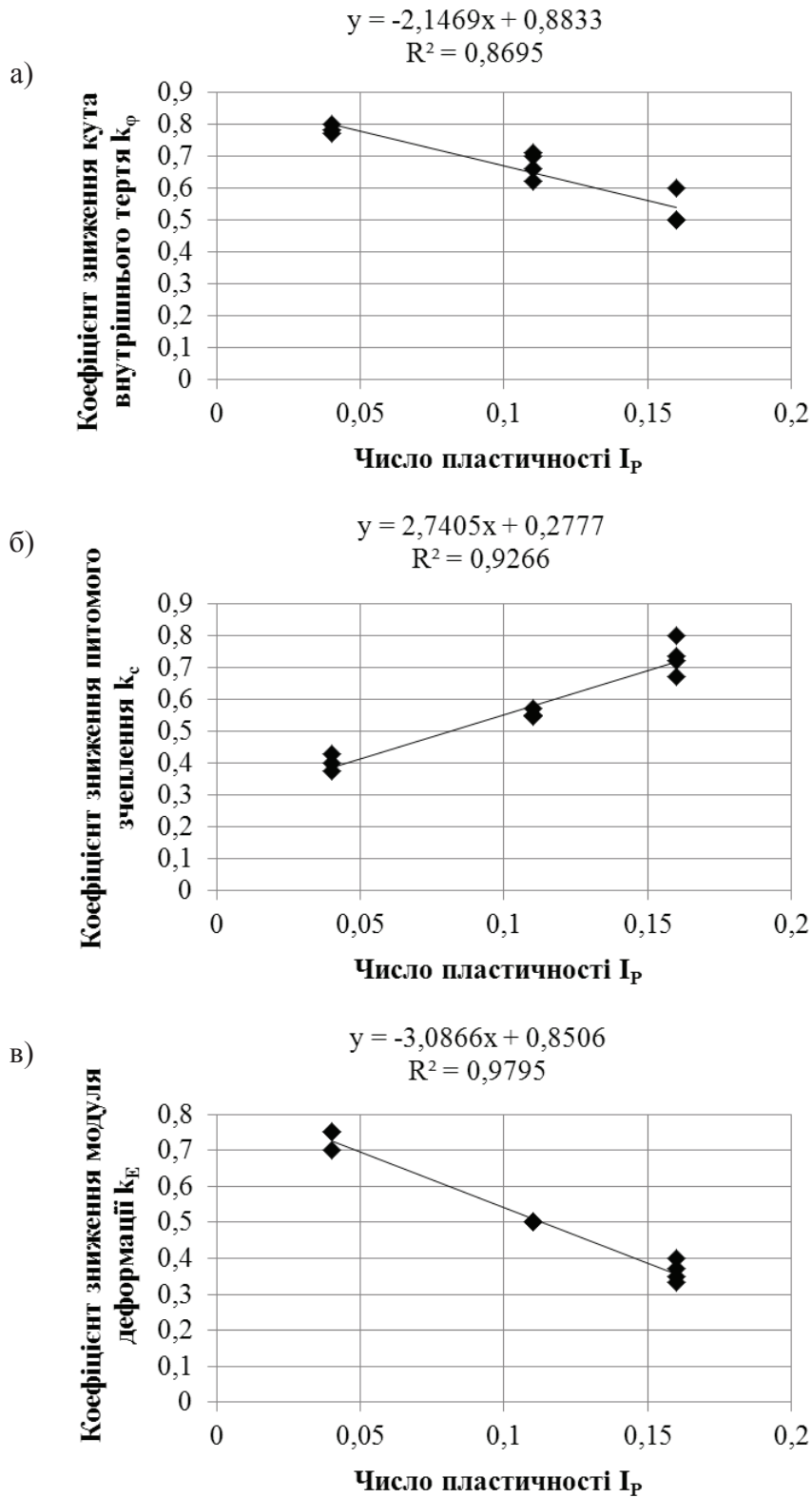


Рисунок 2 – Графіки залежності коефіцієнта зниження кута внутрішнього тертя k_ϕ (а), коефіцієнта зниження питомого зчеплення k_c (б) та коефіцієнта зниження модуля деформації k_E (в) від числа пластичності I_p

Характер інтенсивності зниження модуля деформації наведено на графіку залежності $k_E=f(I_p)$ (рис. 2, в), який збігається з характером інтенсивності зниження показника інтенсивності суфозійних процесів $\eta=f(I_p)$ і пояснюється більш інтенсивним суфозійним збільшенням пористості у супісках, ніж у суглинках.

Після статистичної обробки результатів досліджень, наведених у таблиці 2, отримано такі рівняння, що характеризують залежності $\eta=f(I_p)$, $k_\phi=f(I_p)$, $k_c=f(I_p)$ та $k_E=f(I_p)$ (з указаними коефіцієнтами кореляції):

$$\eta = -1,6892 I_p + 1,3585; \quad R=0,905; \quad (1)$$

$$k_\phi = -2,1469 I_p + 0,8833; \quad R=0,932; \quad (2)$$

$$k_c = 2,7405 I_p + 0,2777; \quad R=0,963; \quad (3)$$

$$k_E = -3,0866 I_p + 0,8506; \quad R=0,990. \quad (4)$$

Значення коефіцієнтів кореляції свідчать про високу кореляційну залежність між вказаними параметрами. Отримані залежності можна використовувати для попереднього оцінювання механічних властивостей ґрунтів порушеної структури після суфозійних процесів.

Висновки. Проведені дослідження підтвердили, що більш інтенсивно суфозія відбувається у глинистих ґрунтах з меншим числом пластичності, та дозволили встановити таке:

1. Зниження кута внутрішнього тертя й модуля деформації при суфозії проходить інтенсивніше в супісках. І навпаки, інтенсивність зниження питомого зчеплення вища у суглинках.

2. Запропоновані показники та коефіцієнти зниження фізико-механічних властивостей ґрунтів дозволяють оцінити і проаналізувати характер зменшення міцності та деформативності ґрунтів під дією суфозії.

3. Отримані результати можуть також бути використані для оцінювання напружено-деформованого стану основи фундаментів на територіях з підземними виробками.

Література

1. Вплив підземних споруд на деформування будівлі Полтавського краєзнавчого музею / С.В. Біда, Ю.І. Великодний, М.Л. Зоценко, В.А. Титаренко, А.М. Ягольник, А.Ю. Пащенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 2. – С. 23–28.
2. Справочник по инженерной геологии. – 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. М.В. Чуринова. – М.: Недра, 1981. – 325 с.
3. Рекомендации по методике лабораторных испытаний ґрунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость. – Л.: ВНИИГ, 1983. – 40 с.

С.В. Беда, к.т.н., доцент
Ю.И. Великодний, к.т.н., профессор
А.Ю. Пащенко, аспирант
А.Н. Ягольник, к.т.н., доцент
А.В. Веденисов, ассистент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СУФФОЗИИ НА СТЕНДОВОМ ПРИБОРЕ

Приведены результаты лабораторных исследований изменения физико-механических характеристик глинистых ґрунтов в результате действия суффозионных процессов. Предложен метод определения показателя интенсивности суффозии и изменения механических и деформационных характеристик для глинистых ґрунтов в зависимости от числа пластичности.

Ключевые слова: суффозия, стендовый прибор, механические свойства, показатель интенсивности суффозии.

*S.V. Bida, Ph.D. in Engineering Science, Associated Professor
Y.J. Velykodnyj, Ph.D. in Engineering Science, Professor
A.Y. Paschenko, Post-graduate Student
A.M. Yagolnyk, Ph.D. in Engineering Science, Associated Professor
A.V. Vedenisov, Assistant Lecturer
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

THE ANALYSIS OF COHERENT SUBSOILS CONVERSION AFFECTED BY SUFFUSION ON THE BENCH-TOP APPARATUS

This paper presents the results of laboratory research in changes of physical and mechanical characteristics of clay soils affected by underwashing. There is provided the method for determination of the suffusion rate factor and of the changes in mechanical and nonrigid characteristics for clay soils depending on the plasticity number.

Keywords: *suffusion, bench-top apparatus, mechanical characteristics, suffusion rate factor.*

Надійшла до редакції 15.10.2014

© С.В. Біда, Ю.Й. Великодний, О.Ю. Пащенко, А.М. Ягольник, А.В. Веденісов