

В.Г. Шаповал, д.т.н., професор,

А.В. Шаповал, к.т.н., доцент

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

В.І. Марченко, аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПРОГНОЗУВАННЯ ОСІДАНЬ АРМОВАНИХ ОСНОВ ЗЕРНОСХОВИЩ У ЧАСІ З УРАХУВАННЯМ МЕХАНІЧНИХ І РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ

Викладено методику визначення осідань армованих основ плитних фундаментів зерносховищ з урахуванням механічних і реологічних параметрів пружно-в'язко-пластичної моделі водонасиченого глинистого ґрунту при циклічному режимі навантаження.

Ключові слова: *армована основа, водонасичений ґрунт, реологічні властивості, пружно-в'язко-пластична модель, циклічне навантаження.*

В.Г. Шаповал, д.т.н., професор

А.В. Шаповал, к.т.н., доцент

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

В.И. Марченко, аспирант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСАДОК АРМИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ ЗЕРНОХРАНИЛИЩ ВО ВРЕМЕНИ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТА

Изложена методика определения осадок армированных оснований плитных фундаментов зернохранилищ с учетом механических и реологических параметров упруговязкопластической модели водонасыщенного глинистого грунта при циклическом режиме нагрузки.

Ключевые слова: *армированное основание, водонасыщенный грунт, реологические свойства, упруговязкопластичная модель, циклическая нагрузка.*

V.G. Shapoval, DrSc.

A.V. Shapoval, PhD.

Prydneprovska State Academy of Construction and Architecture

V. Marchenko, postgraduate student

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

SETTLEMENT PREDICTION OF REINFORCED BASES OF GRANARIES WITH THE LAPSE OF TIME SUBJECT TO MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL

The settlement determination method of reinforced bases of plate foundation bases of granaries subjected to cyclic loading taking into account mechanical and rheological parameters of elasto-visco-plastic model of saturated soil.

Keywords: *reinforced base, saturated soil, rheological properties, elasto-visco-plastic model, cyclic loading.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Вимоги до проектування будівель і споруд

передбачають надійну експлуатацію протягом всього періоду їх функціонування. Тому існує необхідність урахування зміни напружено-деформованого стану (НДС) основ фундаментів будівель і споруд, що впливає на їх експлуатацію. Така зміна характерна при використанні для будівництва ділянок, складених слабкими глинистими ґрунтами, які проявляють реологічні властивості, а також при циклічних навантаженнях на основи, притаманних резервуарам, зернохосвищам, складам тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми. На необхідність урахування реологічних властивостей слабких глинистих основ указують дослідження С.С. Вялова, Ю.К. Зарецького, В.Г. Шаповала [1 – 3]. Ці та інші науковці розглядали розвиток деформацій основ у часі з позицій теорій консолідації та повзучості. Розроблено моделі, що дозволяють ураховувати реологічні властивості, які реалізовано як аналітично, так і чисельними методами [5 – 7]. Однією з таких моделей є пружно-в'язко-пластична модель водонасиченого ґрунту, яка розглядає ґрунт з позиції взаємозв'язаної теорії консолідації з одночасним урахуванням фільтраційної консолідації та повзучості скелета ґрунту на базі залежностей теорії спадкової повзучості [3]. Головною перевагою цієї моделі є адекватне врахування складного режиму навантаження, при якому проявляються пружні (відновлювальні), пластичні (невідновлювальні) та в'язкі (із запізненням у часі) деформації основи [8, 9].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Однак урахування реологічних і механічних параметрів указаної моделі для прогнозування осідань армованих ґрунтоцементним елементами (ГЦЕ) основ поки не обґрунтовано.

Тому за мету дослідження прийнято удосконалення методики прогнозування в часі осідань армованих основ плитних фундаментів з урахуванням реологічних і механічних параметрів пружно-в'язко-пластичної моделі водонасиченого ґрунту.

Викладення основного матеріалу дослідження. Пропозиції щодо вдосконалення методики прогнозування осідань армованих ГЦЕ основ розроблені на базі результатів геодезичних спостережень за осіданнями природних і армованих за бурозмішувальною технологією основ плитних фундаментів зернохосвищ силосного типу, зведених у с. Івківці Прилуцького р-ну Чернігівської обл. Інженерно-геологічні умови ділянки представлені товщею пілуватих супісків і легких пілуватих суглинків, яка підстилається флювіогляціальними супісками (рис. 1 і табл. 1). Значення модуля деформації лесових ґрунтів через підтоплення переважно не перевищують 5 МПа. Спостереження за осіданнями природних основ плитних фундаментів зернохосвищ виявили розвиток їх у часі та зміну швидкостей деформування через циклічний режим навантаження [10].

Згідно з моделлю пружно-в'язко-пластичного водонасиченого ґрунту деформацію визначають з позиції взаємозв'язаної теорії консолідації

$$S(t) = S^{\phi}(t) + \int_0^t K(t, \tau) \cdot S^{\phi}(\tau) \cdot d\tau, \quad (1)$$

де $S^{\phi}(t)$ – фільтраційне осідання основи; t – час.

При цьому вплив повзучості скелета ґрунту враховують за складеним ядром повзучості

$$K(t, \tau) = K_1(t - \tau) + K_2(\tau) = \gamma \cdot \exp[-\gamma_{1,0} \cdot (t - \tau)] + \delta \cdot \exp[-\delta_{1,0} \cdot (t, \tau)], \quad (2)$$

перша частина якого $K_1(t - \tau)$ враховує пружно-в'язкі, а друга $K_2(\tau)$ – в'язко-пластичні деформації.

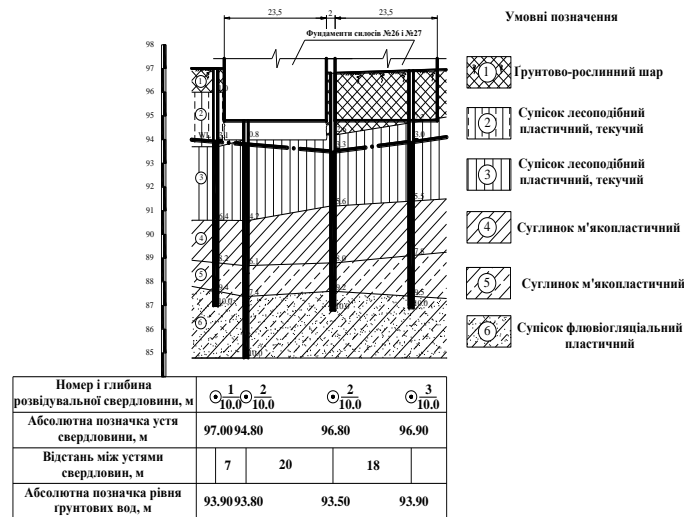


Рисунок 1 – Інженерно-геологічний розріз ділянки

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів ділянки

№	Найменування шару ґрунт	ρ , г/см ³	w	W_L	W_p	φ , °	c , кПа	E , МПа	k_{ϕ} , м/добу
1	Ґрунтово-рослинний шар	1,5	-	-	-	-	-	-	-
2	Супісок пластичний	1,82	0,24	0,26	0,20	22	12	3	0,5
3	Супісок текучий	1,92	0,26	0,26	0,21	22	10	4	0,5
4	Суглинок м'якопластичний	1,88	0,31	0,34	0,22	16	21	3,5	0,1
5	Суглинок м'якопластичний	1,94	0,27	0,29	0,21	22	18	6,5	0,1
6	Супісок флювіогляціальний	2,03	0,22	0,24	0,20	27	15	17	0,5

Зважаючи на відносно великі значення коефіцієнтів фільтрації ґрунтів у межах стисливої товщі ($k_{\phi} = 1,16 \cdot 10^{-4} \dots 5,8 \cdot 10^{-4}$ см/с), процес фільтраційної консолідації протікає достатньо швидко, а тому його умовно врахуємо у складі умовно-миттєвої пружної деформації (S^{np}), яка реалізується відразу після прикладення навантаження.

З урахуванням сказаного зміну деформацій у часі пропонується визначати за наступною залежністю:

$$S(t) = S^{np}(t) + \int_0^t K(\tau) \cdot S^{np}(\tau) \cdot d\tau, \quad (3)$$

де $S^{np}(t)$ – пружна частина деформації, яка реалізується миттєво після прикладення деформації в момент часу t ; $S^{np}(\tau)$ – пружна частина деформації, що запізнюється у часі; $K(\tau)$ – ядро повзучості, яке враховує пластичні деформації, що запізнюються в часі.

Визначення складової $S^{np}(t)$ раціонально проводити аналітично методом пошарового сумування, приймаючи замість модулів загальної деформації величини модулів пружності ґрунту, чи методом скінченних елементів з аналогічною заміною модулів деформації модулями пружності. У цьому випадку значення модулів пружності з досвіду проектування та геодезичних спостережень визначали шляхом збільшення величин модулів загальної деформації у 10 разів для слабких ґрунтів і в 5 разів для інших ґрунтів у межах стисливої товщі.

Визначені за нормативним методом пошарового сумування осідання природної основи силосу на кожній стадії його експлуатації наведено на рисунку 2 (графік 2), який показує завищення відновлюваних деформацій основи на стадіях розвантаження,

що виключає використання цього методу для прогнозування осідань на різних етапах експлуатації силосів. Тому для прогнозування використаємо залежність (3).

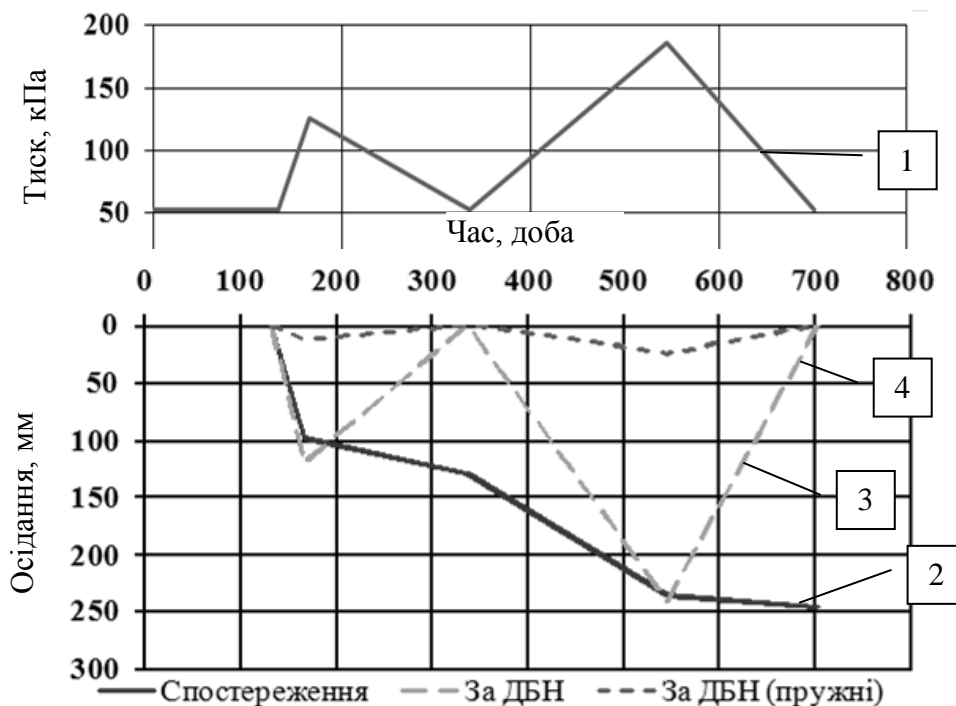


Рисунок 2 – Осідання природної основи плитного фундаменту силосу в часі при тискові (1) за: 2 – геодезичними спостереженнями; 3 – методом пошарового сумування з використанням модулів загальної деформації ґрунтів; 4 – те ж, з використанням модулів пружності

Визначені осідання з використанням модулів пружності наведено на рисунку 2 (графік 3).

Приймаємо вид ядра повзучості $K(\tau)$ у вигляді степеневої функції

$$K(\tau) = \sum_{i=1}^{19} \delta_i \cdot (\tau)^{\delta_{1i}}, \quad (3)$$

де δ_i і δ_{1i} – параметри ядра повзучості, які необхідно визначити.

З використанням підстановки $t^* = \frac{t-132}{702-132}$ $t^* = (t-132)/(702-132)$ приводимо графіки на рисунку 2 до виду рисунка 3.

Далі з використанням методики А.В. Шаповала [8] визначаємо параметри ядра повзучості шляхом оброблення даних геодезичних спостережень за осіданнями силосу на природній основі (рис. 2 (графік 1)). Результати визначення параметрів ядра повзучості зведені в таблицю 2.

Для прогнозування осідань армованих ГЦЕ основ плитних фундаментів силосів розраховано осідання з використанням середньозважених модулів пружності цих основ за методом пошарового сумування. Далі з використанням залежності (3) інтегруванням при застосуванні параметрів ядра повзучості (табл. 2) визначаємо загальні осідання, які складаються з пружних, що реалізуються миттєво $S^{np}(t)$ (рис. 2 і 3), та з пружних і пластичних деформацій, які запізнюються в часі. За результатами цих визначень побудовано графіки розвитку осідань, прогнозованих у часі за удосконаленою методикою для силосу на армованій основі (рис. 4).

Відносний час t^*

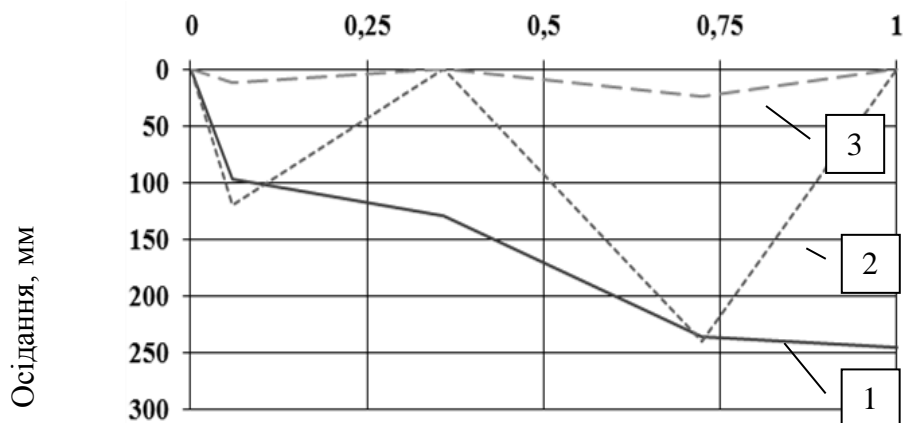


Рисунок 3 – Графіки осідань природної основи плитного фундаменту силосу у координатах «відносний час – осідання» за: 1 – геодезичними спостереженнями; 2 – методом поширювального сумування з використанням модулів загальної деформації ґрунтів; 3 – те ж, з використанням модулів пружності

Таблиця 2 – Результати визначення параметрів ядра повзучості

i	$\delta(i)$	$\delta_1(i)$
1	599,96	-0,05
2	-135,79	-0,1
3	-286,69	-0,15
4	-173,19	-0,2
5	133,97	-0,25
6	-59,87	-0,3
7	-408,80	-0,35
8	130,47	-0,40
9	286,58	-0,45
10	-210,10	-0,50
11	58,89	-0,55
12	-94,14	-0,60
13	184,52	-0,65
14	116,11	-0,70
15	-280,04	-0,75
16	295,33	-0,80
17	-36,91	-0,85
18	-131,49	-0,90
19	37,19	-0,95

При відомому режимі навантаження з використанням параметрів ядра повзучості (табл. 1) та викладеної методики можливо прогнозувати осідання армованих основ плитних фундаментів означених зернохосовищ на будь-якому етапі їх експлуатації.

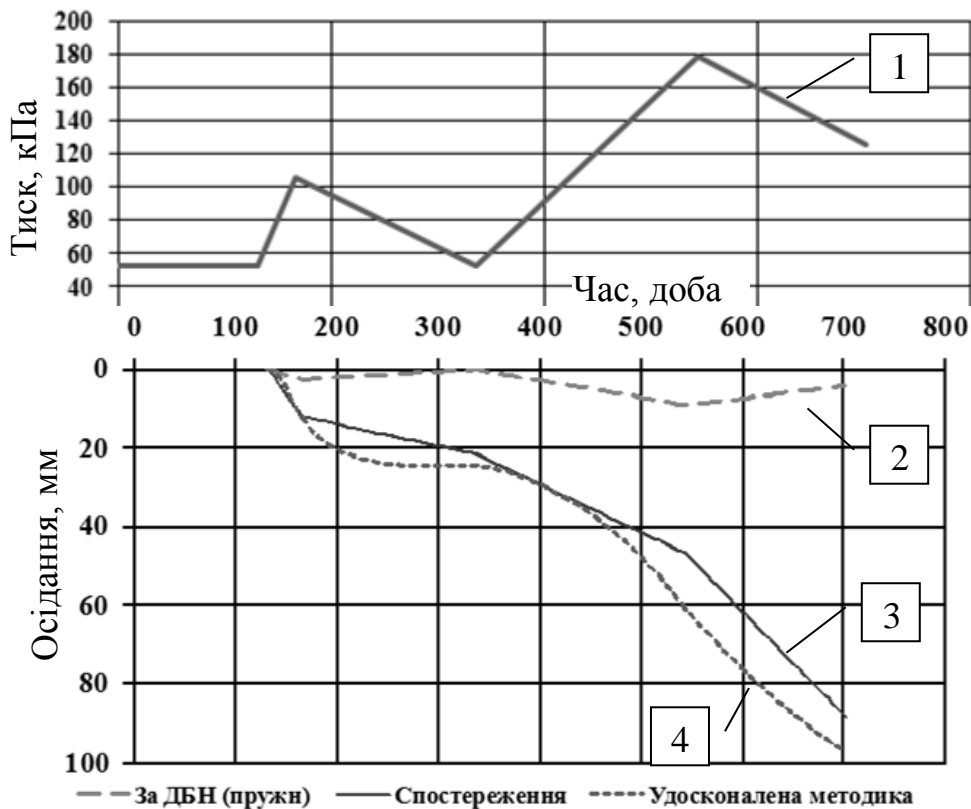


Рисунок 4 – Розвиток осідань армованої основи силосу при тискові (1), визначений за: 2 – методикою ДБН із використанням модулів пружності ґрунтів; 3 – натурними геодезичними спостереженнями; 4 – удосконаленою методикою прогнозування

Висновки. Отже, встановлено, що результати визначення осідань армованих основ плитних фундаментів зерносховищ за удосконаленою методикою прогнозування у часі близькі до зафіксованих геодезичними спостереженнями. Розходження у величинах вимірених і прогнозованих осідань становить від 10 до 20%, що можливо пояснити недостатньо точними даними про режими завантаження силосів (відомо завантаженість лише на момент спостережень за осіданнями), припущенням про умовне збільшення модулів деформації для ґрунтів у 10 разів для визначення їх модулів пружності. Крім того, не виключений вплив сусідніх споруд на деформування основ. Тому ще існує необхідність удосконалення методики подальшими дослідженнями.

Література

1. Вялов, С.С. Реология мерзлых грунтов / С.С. Вялов. – М.: Стройиздат, 2000. – 464 с.
2. Зарецкий, Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений / Ю.К. Зарецкий. – М.: Стройиздат, 1988. – 350 с.
3. Шаповал, А.В. Теория взаимосвязанной фильтрационной консолидации: монография / А.В. Шаповал, В.Г. Шаповал. – Д.: Пороги, 2009. – 311 с.
4. Шаповал, В.Г. Особенности взаимодействия весомого водонасыщенного основания с расположенными на нем зданиями и сооружениями / В.Г. Шаповал, П.Н. Нажа, А.В. Шаповал. – Д.: Пороги, 2010. – 251 с.
5. Парамонов, В.Н. Конечноеэлементное моделирование нестационарных задач геомеханики / В.Н. Парамонов, Н.И. Стеглянникова // Сб. тр. научн.-техн. конф. «Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции». – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – С. 218 – 223.
6. Numerical modelling of creep in soft soils / Martino Leoni, Pieter A. Vermeer // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, 2009). – Amsterdam: IOS Press, 2009. – P. 578 – 581.

7. *Karaoulanis, F.E. Elasto-viscoplastic modeling of soft rock time dependent behavior / F.E. Karaoulanis, Th. Chatzigogos // Proc. of the 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Athens, 2011). – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P. 551 – 556.*

8. *Шаповал, А.В. Определение деформационных и реологических характеристик водонасыщенного глинистого грунта / А.В. Шаповал, В.И. Марченко // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Харків: ХНАМГ, 2012. – Вип. 105. – С. 242 – 250.*

9. *К вопросу моделирования упруговязкопластического поведения грунта под изменяющейся во времени нагрузкой / А.В. Шаповал, В.Г. Шаповал, В.В. Крысан, Е.В. Нестерова, Ю.Л. Винников, В.И. Марченко // Тр. XII междунар. симпозиума по реологии грунтов. – Казань: КГАСУ, 2012. – С. 27 – 32.*

10. *Винников, Ю.Л. Порівняння осідань природних і армованих основ плитних фундаментів зернохосовищ / Ю.Л. Винников, І.І. Ларцева, В.І. Марченко // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб. – К.: НДІБК, 2011. – Вип. 75. – Кн. 2. – С. 45 – 52.*

Надійшла до редакції 11.10.2012

© В.Г. Шаповал, А.В. Шаповал, В.І. Марченко