

УДК 624.15.001

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАМОКЛИХ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАМОЧЕННЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ**

**DETERMINATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SATURATED LOESS SOILS**

**Шаповал В.Г., д.т.н., проф., Легенченко В.А., асп.** (Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ), **Шаповал А.В., к.т.н., доц., Крисан В.В., асп.** (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпропетровськ), **Винников Ю.Л., д.т.н., проф., Мірошніченко І.В., асп.** (Полтавський національний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

**Шаповал В.Г., д.т.н., проф., Легенченко В.А., асп.** (Национальный горный университет, г. Днепропетровск), **Шаповал А.В., к.т.н., доц., Крисан В.В., асп.** (Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск), **Винников Ю.Л., д.т.н., проф., Мірошніченко І.В., асп.** (Полтавский национальный университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

**Shapoval V.G, doctor of technical sciences, prof., Legenchenko V.A., postgraduate student** (National Mining University, Dnipropetrovsk), **Shapoval A.V., candidate of technical sciences, assistant prof., Krysan V.V., postgraduate student** (Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipropetrovsk), **Vynnykov Y.L., doctor of technical sciences, prof., Miroshnychenko I.V., postgraduate student** (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)

Представлено матеріали досліджень, спрямовані на визначення реологічних властивостей глинистих основ набивних палів у пробитих свердловинах у складі стрічкових ростверків. Виявилося, що в даному випадку повзучість ґрунту з високим ступенем точності може бути описана рівнянням Вольтерра другого роду з експоненціальним ядром.

Представлены материалы исследований, направленные на определение реологических свойств глинистых оснований набивных свай в пробитых скважинах в составе ленточных ростверков. Оказалось, что в данном случае ползучесть ґрунта с высокой степенью точности может быть

описана уравнением Вольтерра второго рода с разностным экспоненциальным ядром.

**Investigations results taking into account base rheological properties at clay bases sediments calculations of ramming piles in punched holes composed of tape grillages. It turned out that in this case the creepage ground with a high degree of accuracy can be described as a Volterra equation with the difference exponential kernel.**

**Ключевые слова:**

Реологічні властивості, осідання фундаменту, ґрунтова основа, замоклі лесові ґрунти, геодезичні спостереження.

Реологические свойства, осадка фундамента, ґрунтового основание, замоченные лесовые ґрунты, геодезические наблюдения.

Rheological properties, foundation settlement, foundation soil, saturated loess soils, geodetic observations.

**Введение.** Набивные сваи в пробитых скважинах (НСПС) рационально использовать в лессовых макропористых ґрунтах природной влажности при возведении жилых зданий с ленточными ростверками. Эти ґрунты распространены на 65 – 70% территории Украины преимущественно на надпойменных и водораздельных террасах рек. Однако из-за повышения уровня ґрунтовых вод и замачивания массивов «сверху» на значительных, особенно в городе, территориях лесса «деградируют» и снижают свои механические свойства [1].

**Анализ последних источников исследований и публикаций.** Водонасыщенные лессовые ґрунты проявляют реологические свойства, которыми нельзя пренебрегать, прогнозируя осадки и крены зданий и сооружений. В настоящей работе представлены материалы исследований, направленные на определение реологических свойств замоченных глинистых (лессовых) оснований НСПС в составе ленточных ростверков.

Одно из известных направлений определения реологических свойств ґрунтовых оснований базируется на предположении, что взаимосвязь между деформациями основания и действующими в нем напряжениями описывается с использованием уравнений интегральных Вольтерра второго рода [2 – 5].

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Однако, корректность этого направления для прогноза во времени осадок зданий на НСПС в составе ленточных ростверков, основанием которых являются замоченные лессовые ґрунты, пока не проверялась.

Отсюда **цель** настоящих исследований – определение реологических свойств замоченных лессовых оснований НСПС в составе ленточных ростверков.

**Основной материал и результаты.** Исследуемыми натурными объектами, за которыми ведутся длительные геодезические наблюдения (организованные проф. Н.Л. Зоценко), являются жилые здания на НСПС в составе ленточных ростверков, расположенные в г. Полтава по ул. Курчатова, 17 и по ул. Степного Фронта, 29 [6].

При определении осадок фундаментов нами была использована изложенная в [7] методика и зависимость вида

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

где  $S(t)$  – осадка фундамента в момент времени  $t$ ;  $S^y(t)$  – то же, обусловленная упругими свойствами основания;  $K(t, \tau)$  – ядро ползучести грунтового скелета;  $\tau$  – параметр, имеющий размерность времени.

Поскольку нагрузка на основание имеет вид неубывающей функции, в ходе обработки экспериментальных данных ядро ползучести было принято в виде

$$K(t, \tau) = K(t - \tau). \quad (2)$$

Для удобства анализа представленные на рис. 1 и рис. 2 зависимости были представлены в безразмерном виде (рис. 3 и рис. 4).

Для того, чтобы установить насколько отличаются грунтовые условия на различных площадках строительства, представленные на рисунках 3 и 4 данные были сведены вместе (рис. 5).

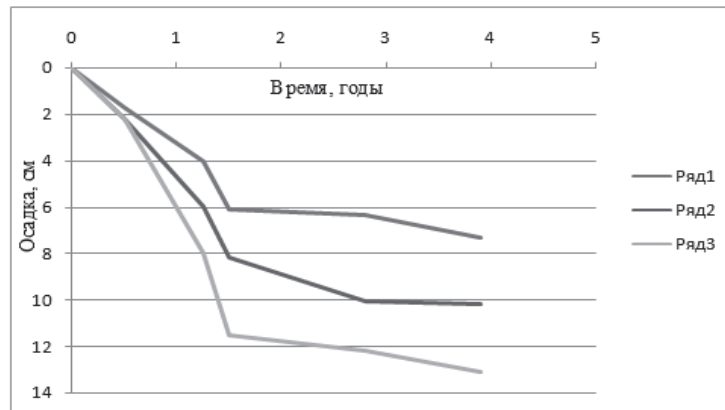


Рис. 1. Графики развития минимальных (ряд 1), средних (ряд 2) и максимальных (ряд 3) осадок стеновых марок 9-ти этажного общежития, ул. Курчатова, 17 в г. Полтава (фрагмент)

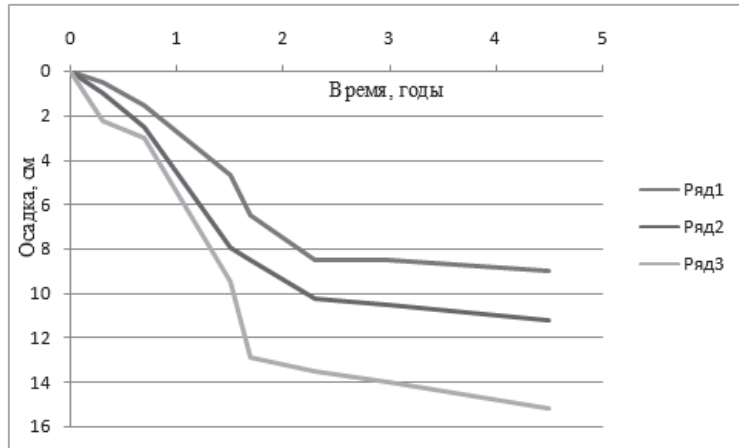


Рис. 2. Графики развития минимальных (ряд 1), средних (ряд 2) и максимальных (ряд 3) осадок стеновых марок 9-ти этажного общежития, ул. Степного Фронта, 29 в г. Полтава (фрагмент)

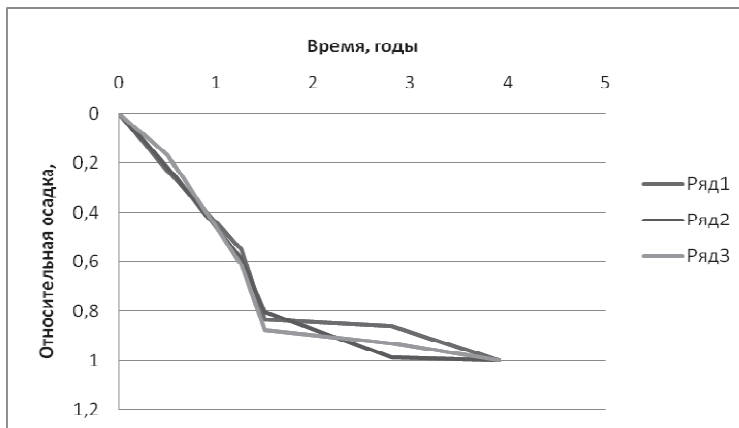


Рис. 3. Графики развития минимальных (ряд 1), средних (ряд 2) и максимальных (ряд 3) относительных осадок стеновых марок 9-ти этажного общежития, ул. Курчатова, 17 в г. Полтава (фрагмент)

Примечание. Настоящий рисунок читать совместно с рисунком 1.

Для этой цели нами была использована формула вида

$$\bar{S}(t) = S(t)/S_{\max} , \quad (3)$$

где  $S(t)$  – абсолютная осадка марки в момент времени  $t$ ;  $\bar{S}(t)$  – то же, относительная, а  $S_{\max}$  – максимальная осадка за период наблюдений.

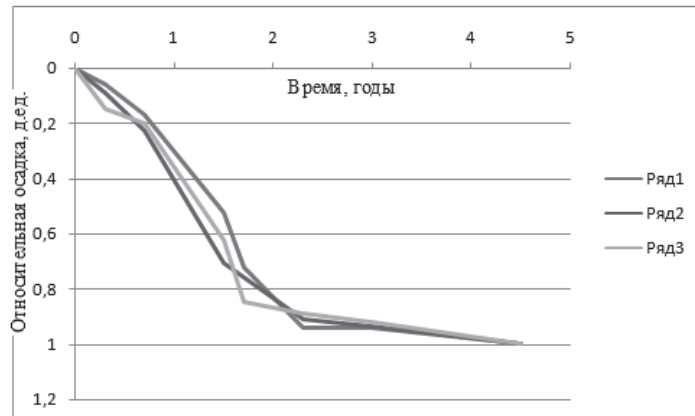


Рис. 4. Графики развития минимальных (ряд 1), средних (ряд 2) и максимальных (ряд 3) относительных осадок стеновых марок 9-ти этажного общежития, ул. Степного Фронта, 29 в г. Полтава (фрагмент)  
Примечание. Настоящий рисунок читать совместно с рисунком 2.

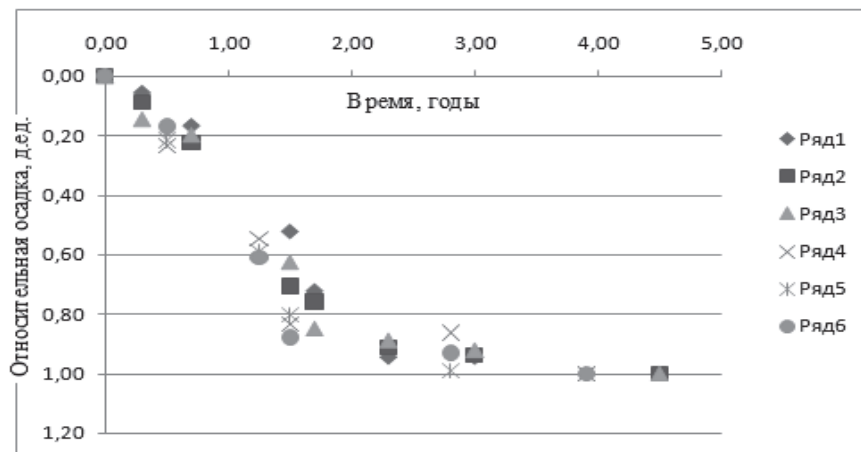


Рис. 5. Графики развития относительных осадок стеновых марок  
Примечание. Настоящий рисунок читать совместно с рисунками 3 и 4

Ядро ползучести основания было принято в виде

$$K(t - \tau) = \delta \cdot \exp[-\delta_1 \cdot (t - \tau)] , \quad (4)$$

где  $\delta$  и  $\delta_1$  – подлежащие определению параметры ползучести имеют размерность 1/год.

Зависимость «упругая осадка – время» была принята в виде

$$S^y(t) = \left\{ \frac{S_0^y}{t_c} \cdot t - \text{при } t \leq t_c; \quad S_0^y - \text{при } t > t_c. \right\} , \quad (5)$$

где  $S_0^y$  – максимальная упругая осадка основания;  $t_c$  – время строительства сооружения (точнее, время приложения к основанию нагрузки).

Далее подставим (5) в уравнение (1). Имеем

$$S(t) = S_0^y \cdot \left\{ \begin{array}{l} \left[ \frac{t}{t_c} + \delta \cdot \frac{\delta_1 \cdot t + \exp(-\delta_1 \cdot t)}{t_c \cdot \delta_1^2} \right] \cdot [1 - U(t - t_c)] + \\ U(t - t_c) \cdot \left\{ \frac{t_c \cdot \delta_1^2 - \delta + t \cdot \delta \cdot \delta_1^2 + \delta \cdot \exp(-\delta_1 \cdot t)}{t_c \cdot \delta_1^2} \right. \\ \left. + \frac{\delta \cdot [1 - \exp(-\delta_1 \cdot (t - t_c))]}{\delta_1} \right\} \end{array} \right\} , \quad (6)$$

где  $U(t)$  – единичная ступенчатая функция Хэвисайда.

Параметры ядра ползучести  $\delta$  и  $\delta_1$ , а также упругая компонента осадки  $S_0^y$  определялись по методике, изложенной в работе [3].

Для этой цели равенство (6) было представлено в виде

$$S(t) = A \cdot f_1(t) + B \cdot f_2(t); \quad A = S_0^y; \quad B = \delta \cdot S_0^y; \quad (7)$$

$$f_1(t) = U(t - t_c) + \frac{t}{t_c} \cdot [1 - U(t - t_c)]; \quad (8)$$

$$f_2(t) = U(t-t_c) \cdot \left[ \frac{1 - e^{-\delta_1(t-t_c)}}{\delta_1} + \frac{-1 + t_c \cdot \delta_1 + e^{-\delta_1(t_c)}}{t_c \cdot \delta_1^2} \right] + [1 - U(t-t_c)] \cdot \frac{-1 + t \cdot \delta_1 + e^{-\delta_1(t_c)}}{t_c \cdot \delta_1^2} \quad (9)$$

Далее определялись параметры  $S_0^y$ ,  $\delta$  и  $\delta_1$ .

Они оказались равными

$$S_0^y = 0,532 \text{ д.ед.}; \quad \delta = 0,338 \frac{1}{\text{год}}; \quad \delta_1 = 0,515 \frac{1}{\text{год}}. \quad (10)$$

Далее была выполнена проверка на адекватность полученных нами теоретических параметров (10). Для этой цели нами были использованы формулы (7 – 9). На рисунке 6 теоретическая кривая представлена сплошной линией, а экспериментальные данные – точками.

Из рисунка вытекает, что расчетные и фактические зависимости осадок грунтовых марок от времени практически совпадают. Это позволило нам сделать вывод о том, что установленные нами реологические параметры ядра ползучести  $\delta$  и  $\delta_1$ , а также упругая составляющая осадки  $S_0^y$  являются достоверными.

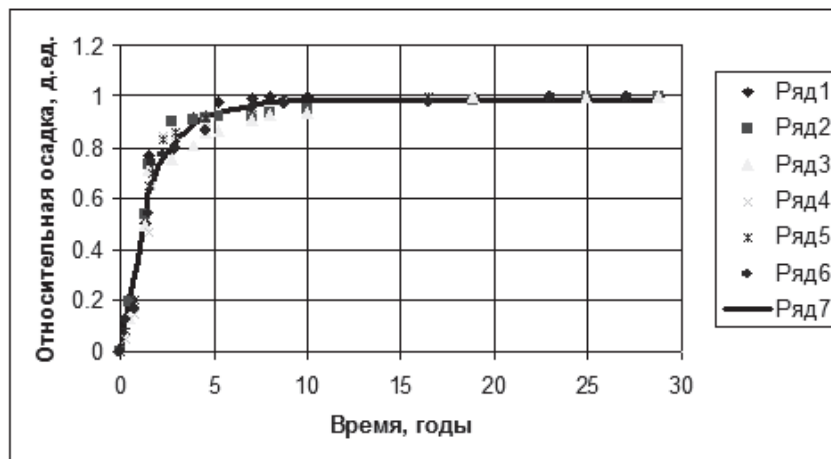


Рис. 6. Зависимости относительных осадок (формула 3) от времени  
Ряды 1...6 – эксперимент; ряд 7 – теория

**Вывод.** Полученные результаты могут быть корректно использованы для решения инженерных задач, в частности прогноза во времени осадок зданий на НСПС в составе ленточных ростверков, основанием которых являются замоченные лессовые грунты. На наш взгляд, материалы исследований представляют интерес и в том смысле, что упругая компонента осадки и реологические свойства таких оснований на базе наблюдений за деформациями конкретных объектов получены, по-видимому, впервые.

1. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. – Дн-ськ: „Пороги”. – 2012. – 196 с.
2. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений / В. Вольтерра. – М.: Наука, 1982. – 304 с.
3. Флорин В.А. Основы механики грунтов / В.А. Флорин. – Т. 2. – Л.-М.: Гостройиздат, 1961. – 543 с.
4. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов / Ю.К. Зарецкий. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1989. – 608 с.
5. Шаповал А.В. Теория взаимосвязанной фильтрационной консолидации: Монография / А.В. Шаповал, В.Г. Шаповал. – Дн-вск: Пороги, 2009. – 311 с.
6. Винников Ю.Л. Результаты тривалих геодезичних спостережень за осіданнями будівель на набивних палях у пробитих свердловинах за умов замочених лесових ґрунтів / Ю.Л. Винников, І.В. Мірошніченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вып. 61. – Дн-вск.: ПГАСА, 2011. – С. 88 – 93.
7. Шаповал А.В. Теория взаимосвязанной фильтрационной консолидации: Монография / А.В. Шаповал, В.Г. Шаповал. – Дн-вск: Пороги, 2009. – 311 с.