

*О.В. Гранько, к.т.н., доцент*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ОПОРУ ГРУНТУ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД НА ЛЕСОВИХ ЗАМОКЛИХ ГРУНТАХ ЗА РІЗНИМИ МЕТОДИКАМИ**

*Наведено порівняльний аналіз результатів визначення розрахункового опору ґрунту тривало обтиснених замочлих лесових основ фундаментів будівель при їх реконструкції за різними методиками.*

**Ключові слова:** *тривало обтиснений замочлий лесовий ґрунт, розрахунковий опір.*

*Е.В. Гранько, к.т.н., доцент*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ЛЕССОВЫХ ЗАМОЧЕННЫХ ГРУНТАХ ПО РАЗНЫМ МЕТОДИКАМ**

*Приведен сравнительный анализ результатов определения расчетного сопротивления ґрунта длительно обжатых замоченных лессовых оснований фундаментов зданий при их реконструкции по разным методикам.*

**Ключевые слова:** *длительно обжатый замоченный лессовый ґрунт, расчетное сопротивление.*

*O.V. Granko, Ph.D., Ass. prof.*

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **FEATURES DETERMINE THE CALCULATED RESISTANCE OF SOIL WHEN RECONSTRUCTION OF BUILDINGS ON THE LOESS SOILS SOAKED BY DIFFERENT METHODS**

*The comparative analysis of the results of determining the design resistance of the soil long crimped soaked loess foundations of buildings at their reconstruction by different methods.*

**Keywords:** *long-rolled soaked loess soil, the calculated resistance.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Достовірна оцінка роботи ґрунтової основи при розробленні проектів реконструкції має велике значення для прийняття найбільш ефективних рішень із забезпечення надійної експлуатації будівлі та мінімізації затратених на це коштів.

Відповідно до нормативних документів усі без винятку основи фундаментів перевіряють на деформативність. Цей розрахунок базується на принципі лінійної деформації ґрунтів. Критерієм, що обмежує прямо пропорційну залежність осідання від тиску, є розрахунковий опір ґрунту  $R$ .

Як підтверджує практика, основи існуючих будівель і споруд після тривалого обтиснення ущільнюються, а значення фізико-механічних властивостей ґрунту підвищуються [1 – 3]. Також при реконструкції можуть змінюватися параметри будівлі, що впливає на значення коефіцієнтів умов роботи при визначенні  $R$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми.** Починаючи із 70-х років, різні автори розробили низку методик визначення розрахункового опору ґрунту  $R'$  після тривалого обтиснення під подошвою фундаменту. Їх можна поділити на п'ять груп, виходячи з особливостей підвищуючих коефіцієнтів до розрахункового опору природного ґрунту.

До групи 1 віднесемо методи (В.А. Зурнаджі [3, 4], В.К. Соколова [1, 5], Є.А. Сорочана [6, 7]), у яких підвищуючий коефіцієнт  $K$  враховує вид ґрунту, його вологість і час експлуатації будівлі  $t$ . Але на думку самих авторів ці методи можуть розглядатися тільки як орієнтовні (надалі при кількісному порівнянні вони не розглядатимуться).

У групу 2 – методи (П.О. Коновалова [1, 3, 8, 9], А.І. Поліщука [3]), що враховують ефект обтиснення (ущільнення) основи під подошвою фундаментів, а також частку осідання будівлі за час експлуатації від граничної величини [12].

До групи 3 – запропонований також П.О. Коноваловим [1, 10] розрахунок  $R'$  для лесових ґрунтів, який залежить від її вологості ґрунту та часу експлуатації будівлі.

Група 4 (ДБН В.3.1-1-2002 [8]) має такі ж недоліки, як і попередні. Її особливість у визначенні нових значень показників міцності за залежностями Е.3 та Е.6 (додаток Е) [8]. У цих виразах враховують час  $t$  і ступінь обтиснення ґрунту  $p/R$  (співвідношення середнього тиску під подошвою фундаменту до розрахункового опору природного ґрунту). Значення коефіцієнтів  $\alpha_c$ ,  $\alpha_\phi$ ,  $\alpha_E$  отримують залежно від виду ґрунту. Не зрозуміло, однак, теоретичне обґрунтування цих показників.

В останню групу 5 віднесемо методика, запропоновану (А.В. Яковлевим та Ю.Л. Винниковим [11]) та вдосконалену автором [2], що базується на формулі (Е.1) ДБН В.2.1-10-2009 [12]. Новизною є використання наведених величин питомого зчеплення  $c_t$  та кута внутрішнього тертя ґрунту  $\phi_t$ , які отримують за емпіричними виразами залежно від ступеня обтиснення  $p/R \geq 0,65$ . Ці вирази у свою чергу отримано за результатами відбору зразків із-під подошви фундаменту будівель, що тривалий час експлуатуються.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Відсутній порівняльний аналіз визначення розрахункового опору ґрунту  $R'$  при реконструкції будівель за різними методиками урахування змінності параметрів основи при тривалому обтисненні.

**Мета роботи** – порівняння значень розрахункового опору ґрунту будівель, що підлягають реконструкції, визначених різними методами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо детально залежності, для яких проведемо порівняння.

Методика №1 (Коновалов П.О. [1])

$$R' = R \cdot m \cdot K_s, \quad (1)$$

де  $R$  – розрахунковий опір ґрунту без урахування ущільнення, визначений за формулою (Е.1) ДБН В.2.1-10-2009 [12];  $m$  – коефіцієнт, що враховує зміни фізико-механічних властивостей ґрунту (ступінь обтиснення основи) під подошвою фундаменту при експлуатації будівлі;  $K_s$  – коефіцієнт, що враховує ступінь реалізації допустимого осідання фундаменту за період експлуатації.

Методика №2 (Поліщук А.І. [3])

$$R' = R \cdot K_s, \quad (2)$$

де  $R$  – розрахунковий опір ґрунту, визначений за формулою

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \left[ M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} \cdot K_\gamma + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II} \cdot K_c \right],$$

де  $\gamma_{c1}$  і  $\gamma_{c2}$  – коефіцієнти умов роботи;  $k$  – коефіцієнт, що залежить від способу визначення характеристики ґрунту;  $M_\gamma$ ,  $M_q$ ,  $M_c$  – коефіцієнти, що приймаються за таблицею (Е.8) ДБН В.2.1-10-2009 [12] залежно від кута внутрішнього тертя ґрунту ущільненої основи ( $\bar{\varphi}_{\text{в}} = \varphi_{\text{II}} \cdot K_\varphi$ , де  $\varphi_{\text{II}}$  – кут внутрішнього тертя природного ґрунту основи,  $K_\varphi$  – коефіцієнт, що враховує зміни характеристик  $\varphi_{\text{II}}$  за період експлуатації будівлі);  $k_z$  – коефіцієнт, що залежить від ширини фундаменту;  $b$  – ширина подошви фундаменту, м;  $\gamma_{\text{II}}$  – усереднене розрахункове значення питомої ваги ґрунтів, що залягають нижче подошви фундаменту,  $\text{kH/m}^3$ ;  $\gamma'_{\text{II}}$  – те саме, що залягають вище подошви;  $c_{\text{II}}$  – розрахункове значення питомого зчеплення ґрунту, що залягає безпосередньо під подошвою фундаменту,  $\text{kPa}$ ;  $d_1$  – глибина закладання фундаментів;  $\gamma_{\text{cf}}$  – розрахункове значення питомої ваги конструкції підлоги підвалу,  $\text{kH/m}^3$ ;  $d_b$  – глибина підвалу, м;  $K_\gamma$ ,  $K_c$  – коефіцієнти, що враховують зміни щільності  $\rho$  та питомого зчеплення  $c$  ґрунтів під фундаментом за період експлуатації будівлі;  $K_s$  – коефіцієнт, що враховує ступінь реалізації граничного осідання фундаменту за період експлуатації будівлі.

Методика №3 (Коновалов П.О. [1])

$$R' = R_0 \cdot m_1, \quad (3)$$

де  $R_0$  – відповідно розрахунковий опір ґрунту та коефіцієнт  $m_1$ , що залежать від зміни вологості ґрунту та часу експлуатації.

Методика №4 (ДБН В.3.1-1-2002 [8])

$$R' = R_0 + (R_{0t} - R_0) \frac{E_t^{\text{max}}}{E_0}, \quad (4)$$

де  $R_0$  – розрахунковий опір ґрунту основи,  $\text{kPa}$ , за ДБН В.2.1-10-2009 [12] при значеннях кута внутрішнього тертя  $\varphi_{\text{II}} = \varphi_0$ , град. і питомого зчеплення  $c_{\text{II}} = c_0$ ,  $\text{kPa}$ , що відповідають ненавантаженій основі;  $E_0$  – модуль деформації ґрунту ненавантаженої основи,  $\text{MPa}$ ;  $E_t^{\text{max}}$  – максимальний модуль деформації ґрунту тривало навантаженої основи,  $\text{MPa}$ , при середньому тиску під подошвою  $P_0$ ,  $\text{kPa}$ ;  $R_{0t}$  – розрахунковий опір ґрунту основи за ДБН В.2.1-10-2009 при характеристиках міцності ґрунту  $\varphi_{\text{II}} = \varphi_t$  і  $c_{\text{II}} = c_t$ , що відповідають тривало навантаженій основі,  $\text{kPa}$ .

Методика №5 (ПолтНТУ [2])

$$R' = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \left[ M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{\text{II}} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{\text{II}} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{\text{II}} + M_c \cdot c_t \right], \quad (5)$$

де  $c_t$  – значення питомого зчеплення ( $\text{kPa}$ ) після його тривалого обтиснення фундаментом

$$c_t = c \cdot K_c, \quad (6)$$

де  $c$  – те ж для природного ґрунту в замкломому стані;  $K_c$  – коефіцієнти зростання питомого зчеплення, що дорівнюють

$$K_c = 0,69 + 0,60 \cdot (p/R). \quad (7)$$

Інші значення такі ж самі, як у формулі (Е.1) ДБН В.2.1-10-2009 [12].

Для порівняльного аналізу візьмемо чотириповерхову цегляну будівлю з підвалом, зведену 20 років тому, що підлягає реконструкції в м. Полтаві. Категорія будівлі за станом І. Фундаменти – стрічкові, залізобетонні, монолітні, із шириною подошви  $b = 1,2$  м і глибиною закладання  $d = 2,5$  м. Інженерно-геологічні умови (табл. 1): ІГЕ-1 – насипні ґрунти потужністю 1,8 м; ІГЕ-2 (несучий шар) – суглинок лесовий, важкий пілуватий, тугопластичний потужністю 3,1 м; ІГЕ-3 – суглинок лесовий, легкий пілуватий, текучопластичний потужністю 3,4 м; ІГЕ-4 – суглинок важкий пілуватий, тугопластичний потужністю 5,0 м. РГВ розташовано на глибині 3,7 м від

рівня планування. Значення середнього тиску під подошвою фундаменту: до реконструкції  $p=223,75$  кПа.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості ґрунтів ділянки

	$w$	$W_L$	$W_P$	$I_L$	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$e$	$S_r$	$\Phi_{II}$ , град.	$c_{II}$ , кПа	$E$ , МПа
ПГЕ-2	0,28	0,40	0,23	0,31	1,38	0,97	0,80	19	22,0	3,5
ПГЕ-3	0,28	0,29	0,21	0,93	1,44	0,86	0,87	24	11,0	4,5
ПГЕ-4	0,27	0,38	0,22	0,28	1,54	0,75	0,95	22	33,0	10,0

За діючими нормами ДБН В.3.1-1-2002 [8] розрахунковий опір ґрунту  $R'$  під подошвою існуючого фундаменту з урахуванням ущільнення тиском від фундаменту повинен визначатися, якщо можна, за фактичними характеристиками показників питомого зчеплення, кута внутрішнього тертя та питомої ваги несучого шару ґрунту із зразків, відібраних під подошвою фундаментів на глибині до 0,5 м, і лише у разі неможливості цього за вище перерахованими методиками. Тому за найбільш достовірне значення приймемо такий розрахунковий опір ґрунту ( $R''$ ), який визначений за характеристиками зразків, відібраних під подошвою фундаменту. Характеристики несучого шару ґрунту з-під подошви фундаменту зазначено в табл. 2.

Таблиця 2 – Властивості ґрунту несучого шару з-під фундаменту

Показники ґрунту	$w$	$W_L$	$W_P$	$I_L$	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$e$	$S_r$	$\Phi_{II}$ , град.	$c_{II}$ , кПа	$E$ , МПа
З-під фундаменту	0,27	0,40	0,23	0,25	1,42	0,89	0,81	19	29,0	4,9

Отримані результати представлено на рис. 1.

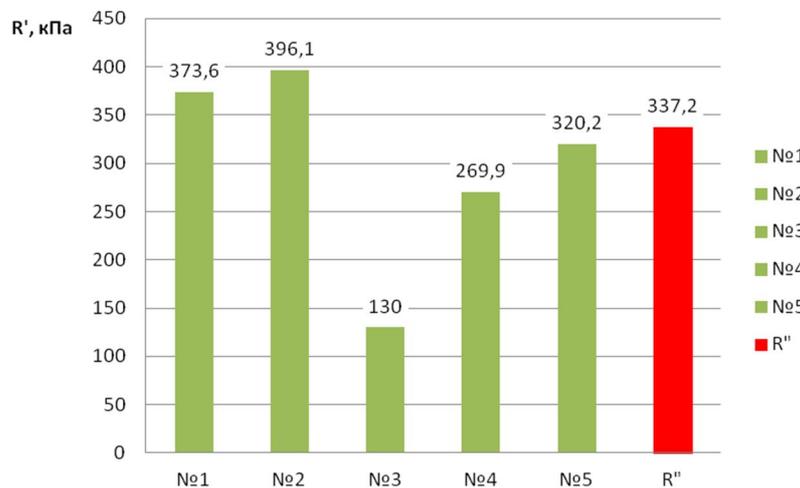


Рисунок 1 – Значення розрахункового опору ґрунту  $R'$  після тривалого обтиснення, визначеного за різними методиками: №1 - Коновалов П.О., формула (1); №2 – Поліщук А.І., формула (2); №3. – Коновалов П.О., формула (3); №4 – ДБН В.3.1-1-2002, формула (4); №5 – ПолтНТУ, формула (5);  $R''$  – розрахунковий опір ґрунту, визначений за характеристиками, відібраними з-під подошви фундаменту

Аналізуючи отримані дані, можна стверджувати, що методика, запропонована фахівцями ПолтНТУ для визначення  $R'$ , дала найбільш наближений до достовірного результат. Розрахунковий опір ґрунту, визначений за цією методикою, менше еталонного (значення, отриманого за даними характеристик ґрунту з-під подошви

фундаменту) лише на 5%. За методикою №1 перевищення становило 10%, за методикою №2 – 15%. Значення, отримані за методиками №3 та 4, нижче еталонного на 61% та 20% відповідно.

**Висновки.** Під час проведення реконструкцій будівель значення розрахункового опору ґрунту слід, якщо можна, визначати за даними фізико-механічних властивостей ґрунту, відібраного з-під подошви фундаменту. У разі неможливості відбору зразків у межах ущільненої зони для лесових тривало обтиснених замочених ґрунтів їх слід приймати за емпіричними залежностями, розробленими фахівцями ПолтНТУ, бо вони дають найбільш наближений до достовірного значення результат.

#### Література

1. Коновалов, П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий: монография / П.А. Коновалов, В.П. Коновалов. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. – 384 с.
2. Гранько, О.В. Модель тривало обтисненого замоченого лесового ґрунту / О.В. Гранько // Світ геотехніки. – 2010. – Вип. 2(26). – С.10–15.
3. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий / А.И. Полищук – Томск: Нортхэмптон STT, 2004. – 476 с.
4. Зурнаджи, В.А. Усиление оснований и фундаментов при ремонте зданий / В.А. Зурнаджи, М.П. Филатова – М.: Стройиздат, 1970. – 96 с.
5. Соколов, В.К. Модернизация жилых зданий / В.К. Соколов – М.: Стройиздат, 1986. – 151 с.
6. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / [М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под. ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г.Трофименкова]. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
7. Сорочан, Е.А. Фундаменты промышленных зданий / Е.А. Сорочан – М.: Стройиздат, 1986. – 303 с.
8. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд. – К.: Держ. комітет України з будівництва і архітектури, 2003. – 82 с.
9. Фундаменти будівель і споруд / Ю.Л. Винников, В.А. Муха, А.В. Яковлєв, О.В. Андрієвська, С.В. Біда. – К.: Урожай, 2002. – 432 с.
10. Винников, Ю.Л. Практикум з експлуатації основ і фундаментів сільських будівель / Ю.Л. Винников, А.В. Яковлєв, В.М. Мукосєєв – К.: Урожай, 1995. – 144 с.
11. Яковлєв, А.В. Досвід проектування надбудов будинків Полтави та їх подальшої експлуатації / А.В. Яковлєв, Ю.Л. Винников // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтав. держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Вип. 6. Ч.2. – Полтава: ПолтДТУ, 2000. – С. 163 – 167.
12. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К., 2009. – 105с.

Надійшла до редакції 01.10.2012

© О.В. Гранько