

О.П. Новицький, аспірант  
Сумський національний аграрний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХЛИВОСТІ ГРУНТОЦЕМЕНТУ

Описано фактори, що впливають на рухливість ґрунтоцементу під час улаштування ґрунтоцементних паль. Наведено дослідження рухливості водоцементного розчину, також досліджено вплив використання пластифікуючої добавки на рухливість ґрунтоцементної суміші.

**Ключові слова:** ґрунтоцемент, рухливість розчину, пластифікуючі добавки.

А.П. Новицький, аспірант  
Сумской национальной аграрный университет

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВИЖНОСТИ ГРУНТОЦЕМЕНТА

Описаны факторы, которые влияют на подвижность ґрунтоцемента во время устройства ґрунтоцементных свай. Приведены исследования подвижности водоцементного раствора, также исследовано влияние пластифицирующих добавок на подвижность ґрунтоцементной смеси.

**Ключевые слова:** ґрунтоцемент, подвижность раствора, пластифицирующие добавки.

А.Р. Novitskiy, graduate  
Sumy National Agrarian University

## ANALYSIS OF SOIL-CEMENT FLOWABILITY

This article describes factors that affect flowability of soil-cement, during mixing technology. The method of cement mortar flowability's analysis is explained. Also analysis of influence plasticizing additions on soil-cement is explored.

**Keywords:** soil-cement, cement mortar flowability, plasticizing additions.

**Вступ.** Використання ґрунтоцементу як матеріалу для фундаментобудування набуває все більшого розповсюдження в останні роки. Улаштування ґрунтоцементних паль та підсилення основи ґрунтоцементними елементами, що виготовляються за бурозмішувальною технологією, дозволяє зменшити витрати на транспортування будівельних матеріалів та прискорити процес будівництва [1, 6].

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Повномасштабні дослідження із закріплення ґрунтів цементом та використання ґрунтоцементу широко розкрито в працях А.Н. Токіна [8].

Питання використання ґрунтоцементу як матеріалу паль та укріплення основи будівель протягом останніх років вивчають учені Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка, зокрема д.т.н., професор М.Л. Зоценко, к.т.н І.І. Ларцева, к.т.н. Р.В. Петраш, к.т.н М.В. Петруняк та інші.

У наукових працях М.Л. Зоценка зазначено ефективність улаштування ґрунтоцементних паль та особливості використання бурозмішувальної технології [2 – 5]. У працях М.В. Петруняк описано дослідження міцності ґрунтоцементу на стиск протягом тривалого періоду твердіння в лабораторних умовах [7].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.**Через особливості виготовлення ґрунтоцементних палів за бурозмішувальною технологією майже неможливо відстежити наявність розривів та порожнин у стовбурі палі. Останні можуть виникати у в'язких ґрунтах при недостатній вологості для самоущільнення або через помилки при бурінні.

**Метою** проведених досліджень є визначення мінімальної вологості ґрунту, необхідної для забезпечення литої суміші ґрунтоцементу. Оскільки ґрунтоцемент не має крупних заповнювачів, його можна прирівняти до розчину. Згідно з вимогами норм [9] для розчинів лита суміш відповідає марці за рухливістю П14. Необхідно визначити також ефект використання пластифікуючої добавки.

Усі дослідження проводяться відповідно до рекомендацій нормативного документа [10].

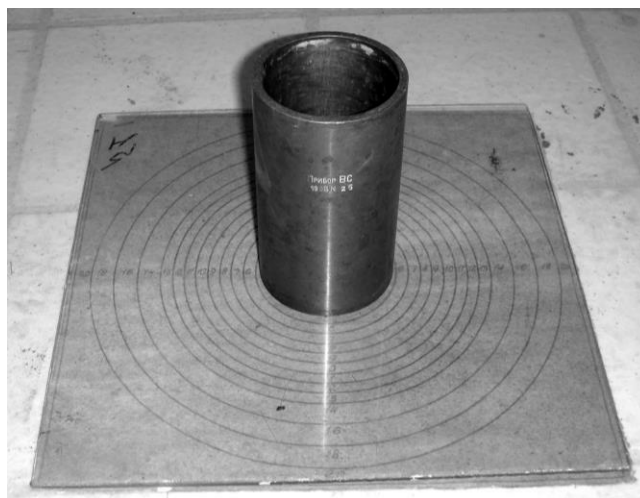
**Основний матеріал і результати.** Ґрунт, що використовувався для досліджень, був відібраний на будівельному майданчику 10-поверхового житлового будинку по вул. Новомістенській, 23 (м. Суми) з глибини 2,3 м.

Джерелом для визначення характеристик ґрунту був Технічний звіт з інженерно-геологічних вишукувань по об'єкту «Будівництво 10-поверхового житлового будинку по вул. Новомістенській у м. Суми», виконаний Сумською філією УкрНДПНТВ. Згідно з технічним звітом ґрунт є суглинком лесовим палевим, високопористим, твердим, просадочним.

Фізико-механічні розрахункові характеристики ґрунтів:

- питома вага  $\gamma_{II}=14,29$  кН/м<sup>3</sup>;
- питоме зчеплення  $c_{II}=9$  кПа ;
- кут внутрішнього тертя  $\phi_{II}=25^\circ$ ;
- модуль загальної деформації  $E=15,7$  МПа;
- коефіцієнт фільтрації  $k_f=0,35$  м/добу.

Головним показником цементного розчину є водоцементне (В/Ц) відношення, яке безпосередньо впливає на рухливість розчину. Чим більшу кількість води додано до цементу, тим більша рухливість розчину, але в процесі подальшого твердіння зайва вода знижує механічну міцність матеріалу.



*Рис. 1. Віскозиметр Суттарда*

Для визначення рухомості розчину в лабораторних умовах було застосовано віскозиметр Суттарда (рис. 1), котрий являє собою мідний циліндр висотою 10 см та внутрішнім діаметром 5 см.

Діаметр розпливу вимірюється безпосередньо після підняття циліндра лінійкою у двох перпендикулярних напрямках з похибкою, не більшою ніж 5 мм, і визначається середнє арифметичне значення.

Вимогою до водоцементного розчину, який використовується при бурозмішувальній технології виготовлення ґрунтоцементних паль, є можливість вільно, без застосування зайвих зусиль, подавати його через шланги, вертлюг та труби. Експериментально-дослідним методом на будівельному майданчику було визначено мінімальне водоцементне відношення 0,6.

Тому за мінімальну прийнято рухливість водоцементного розчину при співвідношенні 0,6. У процесі приготування розчину у воду, згідно з рекомендаціями виробника, додавалися добавки. Для отриманої суміші визначалася рухливість [11].

Поступово зменшуючи кількість води, що додається, визначили мінімальне водоцементне співвідношення для розчину з добавкою та необхідну кількість добавки. При цьому рухливість суміші не була меншою за мінімально необхідну.

У процесі виготовлення ґрунтоцементних паль за бурозмішувальною технологією наконечник одночасно розпушує масив ґрунту та перемішує з водоцементним розчином. Без уведення крупних заповнювачів ґрунтоцемент є розчином, що для литої суміші прирівнюється до марки за рухливістю П14 [9].

Рухомість розчинної суміші характеризується вимірюваною в сантиметрах глибиною занурення в неї еталонного конуса Скрамтаєва.

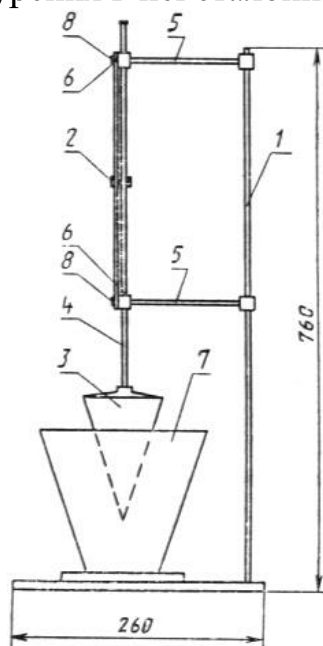


Рис. 2. Схема приладу для визначення рухливості розчинної суміші:  
1 – штатив; 2 – шкала; 3 – еталонний конус; 4 – штанга; 5 – тримачі; 6 – напрямні;  
7 – посудина для розчинної суміші; 8 – гвинт

Для проведення випробувань застосовуємо прилад для визначення рухомості (рис. 2), сталевий стрижень діаметром 12 мм, довжиною 300 мм і кельму.

Глибину занурення конуса визначаємо як середнє арифметичне значення за результатами двох випробувань на різних пробах розчинної суміші одного замісу. Різниця в показниках окремих випробувань не повинна перевищувати 20 мм. Якщо вона виявиться більшою ніж 20 мм, то випробування повторюємо на новій пробі розчинної суміші [10].

З використанням віскозиметра Суттарда визначено мінімально допустиму рухливість водоцементного тіста, яка обумовлюється технологічною необхідністю.

Провівши серію випробувань, визначили, що мінімальний діаметр плями розпливу тіста складає 24,1 см для цементу ПЦ-500-Н-1 та 22,4 см для цементу ПЦ-400-П/Б-Ш. Отримані дані вказують на мінімально необхідну рухливість водоцементного розчину, які використовувалися для визначення впливу пластифікуючих добавок.

Визначення впливу пластифікуючих добавок на рухливість водоцементного розчину відштовхувалося від мінімального діаметра розпливу (рис. 3).

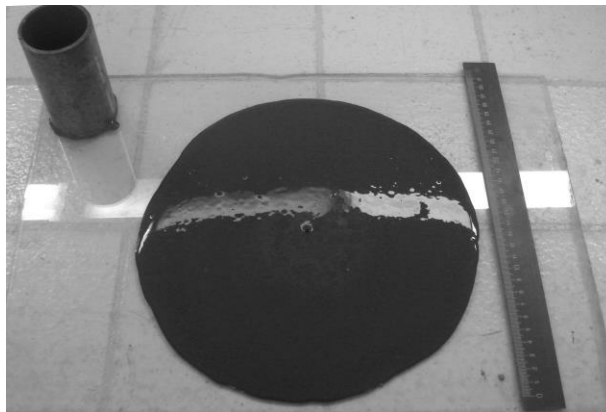


Рис. 3. Пляма розпливу водоцементної суміші з використанням добавок

Для експерименту використовувалися добавка суперпластифікатор Coral Master Silk та пластифікатор для фундаментів Coral Master Bazze. Кількість добавки взято за результатами проведених випробувань на міцність зразків ґрунтоцементу в розмірі 0,6 % у перерахунку на суху речовину [11]. Результати експерименту наведено в таблиці 1.

**Таблиця 1. Розплив водоцементного розчину**

| Вид цементу | В/Ц | Добавка у розмірі 0,6% на суху речовину |       | Середній діаметр розпливу, см |
|-------------|-----|---|-------|-------------------------------|
|             |     | Silk                                    | Bazze |                               |
| ПЦ-500-Н-1  | 0,6 | -                                       | -     | 24,1                          |
|             | 0,3 | -                                       | -     | 11,8                          |
|             | 0,3 | +                                       | -     | 26,0                          |
|             | 0,3 | -                                       | +     | 24,4                          |

|                 |     |   |   |      |
|-----------------|-----|---|---|------|
| ПЦ-400-ІІ/Б-ІІІ | 0,6 | - | - | 22,4 |
|                 | 0,4 | - | - | 15,0 |
|                 | 0,4 | + | - | 29,8 |
|                 | 0,4 | - | + | 26,8 |

Аналізуючи наведені результати, можна зробити висновок, що добавки, введені у кількості 0,6% у перерахунку на суху речовину, збільшили рухливість водоцементного розчину. З добавкою суперпластифікатором Coral Master Silk рухливість зростає в 1,99–2,16 рази, з добавкою пластифікатором Coral Master Bazze в 1,79 – 2,02 рази.

Рухливість ґрунтоцементу найбільше залежить від рухливості ґрунту, його рухливість у свою чергу залежить від вологості, тому для набуття ґрунтоцементом заданої марки за рухливістю підбір виконували, відштовхуючись від вологості.

Додаванням розрахованої кількості води ґрунту задавалася вологість на верхній межі пластичності, потім вона поетапно збільшувалася на 5%. Ґрунт перемішувався з водоцементним розчином з мінімально допустимим вмістом води, тобто В/Ц складало 0,6.

Також проведено випробування рухливості ґрунтоцементу (рис. 4) при додаванні водоцементної суміші з використанням добавки, причому В/Ц складало 0,3 для цементу ПЦ-500-1-Н, а для ПЦ-400-ІІ/Б-ІІІ – 0,4. Використовувалася добавка суперпластифікатор Coral Master Silk у кількості 0,6 % у перерахунку на суху речовину.

Результати підбору ґрунтоцементу з маркою П14 зазначено в таблиці 2.

Аналізуючи дані таблиці, можна відзначити, що при використанні водоцементного розчину з добавкою суперпластифікатором рухливість ґрунтоцементу збільшується на 3,2 %.



Рис. 4. Визначення рухливості ґрунтоцементу зануренням конуса

**Таблиця 2. Грунтоцемент з маркою рухливості П14**

| Вологість ґрунту, % | Занурення конуса, см |              | Марка за рухливістю | Добавка суперпластифікатор, % |
|---------------------|----------------------|--------------|---------------------|-------------------------------|
|                     | ПЦ-500-1-Н           | ПЦ-400-П/Б-Ш |                     |                               |
| 44                  | 12,4                 | -            | П14                 | -                             |
| 44                  | 12,8                 | -            |                     | 0,6                           |
| 49                  | -                    | 13,6         |                     | -                             |
| 49                  | -                    | 14,0         |                     | 0,6                           |

Результатом проведених експериментів було те, що визначено необхідну кількість води, якою потрібно зволожити ґрунт для отримання ґрунтоцементу заданої марки рухливості.

При використанні водоцементного розчину на основі цементу ПЦ-500-1-Н вологість ґрунту повинна бути не меншою ніж 44 %, а при ПЦ-400-П/Б-Ш – 49 %.

**Висновки.** Після виконання серії випробувань визначено, що розрахунок необхідної кількості води поділяється на дві складові:

- 1) вода, яка витрачається для подачі водоцементного розчину;
- 2) вода, необхідна для доведення ґрунту до вологості, придатної для виготовлення ґрунтоцементу марки П14.

З урахуванням виконаних досліджень, перша складова визначається з водоцементного відношення залежно від маси цементу. Так, для ПЦ-500 та ПЦ-400 без застосування добавки В/Ц=0,6. Із застосуванням добавки суперпластифікатора В/Ц=0,3 для ПЦ-500, а для ПЦ-400 В/Ц=0,4.

Дослідно підтверджено рекомендацію виробника щодо дозування добавки Coral Master Silk. Витрата її розраховується залежно від маси цементу і складає 0,6 % в перерахунку на суху речовину.

Вологість ( $W_n$ ), яку повинен мати ґрунт для того, щоб бути придатним для виготовлення ґрунтоцементу, визначено експериментально:

- при ПЦ-500-1-Н дорівнює  $W_n = 44$  %;
- при ПЦ-400-П/Б-Ш дорівнює  $W_n = 49$  %.

Розрахунок необхідної кількості води відбувається за формулою

$$m_s = (W_n - W) \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot L \cdot \rho_d,$$

де  $m_s$  – маса необхідної кількості води;  $d$  – діаметр свердловини, м;  $L$  – глибина свердловини, м;  $W$  – вологість ґрунту, виражена в частках одиниці.

Визначено, що добавки, введені у кількості 0,6 %, у перерахунку на суху речовину, збільшили рухливість водоцементного розчину. З додаванням суперпластифікатора Coral Master Silk рухливість зросла в 1,99 – 2,16 разу, пластифікатора Coral Master Basse в 1,79 – 2,02 разу.

Доведено, що при використанні водоцементного розчину з додаванням суперпластифікатора рухливість ґрунтоцементу збільшується на 3,2 %.

### Література

1. Новицький, О.П. Вплив пластифікуючих добавок на міцність ґрунтоцементу / О.П. Новицький, О.С. Солонін // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – № 4 (34) т.2. – С. 171 – 177.
2. Економія енергоресурсів при влаштуванні ґрунтоцементних паль як фундаментів будівель і споруд / М.Л. Зоценко, М.О. Коришунів, Р.В. Петраш, С.С. Петраш // Економіка і регіон: наук. вісник. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – № 2 (13). – С. 51 – 54.
3. Зоценко, М.Л. Бурозмішувальна технологія влаштування паль і штучних основ / М.Л. Зоценко, Р.В. Петраш // Каталог сучасних наукових розроблень. – Полтава: ПолтНТУ, 2005.
4. Зоценко, Н.Л. Закрепление оснований цементацией буросмесительным методом / Н.Л. Зоценко, И.И. Ларцева, В.И. Марченко // Труды Международ. конф. по геотехнике «Геотехнические проблемы мегаполисов». Т. 5. – М.: ПИ «Геореконструкция», 2010. – С. 1781 – 1788.
5. Зоценко, М.Л. Ґрунтоцементні основи та фундаменти / М.Л. Зоценко // Будівельні конструкції. – 2011. – № 75 кн. 1 – С. 447 – 457.
6. Петраш, О.В. Забезпечення ефективної роботи підземних конструкцій інженерних споруд, які виготовлені з ґрунтоцементу // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – № 4 (34) т.2. – С. 178 – 183.
7. Петруняк, М.В. Методика виготовлення та дослідження ґрунтоцементу в лабораторних умовах / М.В. Петруняк // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво.. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 4 (34). Т.2. – С. 29 – 34.
8. Токин, А.Н. Фундаменты из цементогрунта. – М.: Стройиздат, 1984. – 182 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-23-95. Розчини будівельні. Загальні технічні умови. – 26 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-239:2010 (EN 1015-11:1999, NEQ). Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Методи випробувань. – 25 с.
11. ТУ У В.2.7-24.6-35365973-001:2008. Добавки комплексні для бетонів, будівельних розчинів та цементів «Coral» різних марок, суперпластифікатор «С-3».

Надійшла до редакції 27.09.2013

© О.П. Новицький