УДК 624.15

А. Б. Кукленко
Ю.М. Колачинський
Н.В. Блащук

ВИКОРИСТАННЯ ГРУНТОЦЕМЕНТУ В ГЕОТЕХНІЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано сучасні методи та області використання грунтоцементу в геотехнічному будівництві. Охарактеризовано основні технології влаштування грунтоцементних елементів: бурозмішувальний метод, струменеву цементацію, струменево-змішувальну цементацію, різально-змішувальний метод та об'ємне закріплення. Запропоновано підхід до раціонального вибору вмісту цементу в залежності від конструктивного призначення грунтоцементу – від жорстких елементів фундаменту до деформованих штучних основ.

Ключові слова: грунтоцемент, об'ємне закріплення грунтів, бурозмішувальний метод, струменева цементація, штучна основа, деформованість.

Abstract

The article analyzes modern methods and areas of using soil-cement in geotechnical construction. The main technologies for the installation of soil-cement elements are characterized: deep soil mixing, jet grouting, jet-mixing technology, cutter soil mixing, and mass stabilization. An approach to the rational selection of cement content depending on the structural purpose of soil-cement is proposed – from rigid foundation elements to deformable artificial footings.

Keywords: soil-cement, mass soil stabilization, deep soil mixing, jet grouting, artificial footing, deformability.

Вступ

Територія України характеризується складними інженерно-геологічними умовами, зокрема поширенням слабких, структурно-нестійких грунтів, таких как лесові просадкові суглинки та супіски, насипні, заторфовані ґрунти та плывуни. Це значно ускладнює та збільшує вартість будівництва через необхідність спеціальних заходів щодо підготовки основ та влаштування фундаментів. Традиційні методи хімічного закріплення (смолизація, бітумізація, силікатизація) є агресивними до навколишнього середовища, тоді як використання цементу для стабілізації місцевих ґрунтів є більш екологічно прийнятним та економічно доцільним.

Грунтоцемент – композитний матеріал, отриманий шляхом змішування місцевого ґрунту з цементом, вапном, гіпсом, шлаками або іншими в'яжучими, часто з додаванням модифікуючих добавок. Він знайшов широке застосування в геотехніці для вирішення різноманітних завдань: від влаштування фундаментів та штучних основ до протифільтраційних завіс та підпірних конструкцій.

Метою даної роботи є систематизація знань щодо сучасних методів використання грунтоцементу в геотехніці, аналіз його властивостей залежно від вмісту цементу та обґрунтування раціональних областей його застосування.

Результати дослідження

Проведений комплексний аналіз сучасних наукових публікацій, нормативно-технічної документації та практичного досвіду будівництва дозволив виявити надзвичайно широкий і диференційований спектр застосування грунтоцементу в геотехнічній практиці. Ця універсальність обумовлена поєднанням технологічної гнучкості матеріалу, його економічної доцільності та екологічної прийнятності в порівнянні з традиційними методами фундаментування. Важливим аспектом є можливість використання місцевих ґрунтів, що значно знижує транспортні витрати та негативний вплив на навколишнє середовище.

Основними та найбільш поширеними областями використання грунтоцементу сьогодні є: влаштування різноманітних типів фундаментів, серед яких особливої уваги заслуговують палі різного типу (набивні, бурозмішувальні), стрічкові фундаменти мілкого закладення для малоповерхових будівель та щілинні фундаменти, що дозволяють ефективно перерозподіляти навантаження; підсилення основи існуючих фундаментів за допомогою вертикальних, похилих або горизонтальних грунтоцементних елементів, що особливо актуально при реконструкції та надбудові споруд; влаштування складних огороджувальних конструкцій котлованів у вигляді стін із січних або дотичних паль; комплексне зміцнення зсувонебезпечних схилів та укосів; створення ефективних протифільтраційних завіс для гідротехнічних споруд; армування основи фундаментів з метою досягнення рівномірної стисливості та зменшення диференційних осідань; закріплення масиву ґрунту від розрідження при динамічних впливах; влаштування дорожнього полотна та залізничних насипів, а також корінне поліпшення будівельних властивостей торф'яних, лесових, насипних та інших слабких грунтів з модулем деформації $E < 5$ МПа. Особливу актуальність ці технології набувають в умовах щільної міської забудови, де традиційні методи фундаментування часто є технічно складними, економічно недоцільними або супроводжуються значними вібраційними та динамічними впливами на існуючі споруди.

Детальне дослідження дозволило системно класифікувати основні сучасні технології влаштування грунтоцементних елементів, кожна з яких має свої чіткі сфери застосування, технологічні особливості та обмеження. Бурозмішувальний метод, що полягає в механічному перемішуванні ґрунту на місці з цементним розчином за допомогою шнека, забезпечує значну економію в'яжучого та гарантує стабільний перетин елемента, проте має суттєві обмеження щодо застосування в щільних та ґравелистих ґрунтах, що вимагає використання спеціалізованого обладнання з великими обертовими моментами. Струменева цементація, що поділяється на три види: однокомпонентна (Jet 1), де розробка ґрунту здійснюється струменем цементного розчину високого тиску; двокомпонентна (Jet 2) з додатковим використанням стисненого повітря для збільшення діаметра елемента; та трикомпонентна (Jet 3) з роздільною подачею в'яжучого, води та повітря, є найбільш універсальним, але й найбільш матеріаломістким методом, що дозволяє працювати практично з будь-якими типами ґрунтів, включаючи важкопрохідні щільні глини та ґрунти з включеннями. Струменево-змішувальна цементація, комбінуючи механічне та гідравлічне розпушування ґрунту, забезпечує високу однорідність суміші та є проміжною ланкою між різними технологіями, дозволяючи досягати оптимального співвідношення між якістю суміші та витратами. Різально-змішувальний метод з використанням фрез є оптимальним для влаштування суцільних грунтоцементних панелей типу «стіна в ґрунті» та створення герметичних огороджень глибоких котлованів, що забезпечує високу просторову жорсткість конструкції. Відносно новою технологією є об'ємне закріплення (Mass Stabilization), при якому в'яжуче у вигляді сухого порошку вноситься в масив ґрунту з подальшим інтенсивним перемішуванням, що особливо ефективно для поліпшення властивостей великих об'ємів слабких ґрунтів на значних площах, наприклад, при будівництві промислових майданчиків, логістичних центрів або для стабілізації основань насипів транспортних магістралей.

Ключовим аспектом дослідження, що визначає економічну ефективність та технічну доцільність застосування грунтоцементу, є раціональний та науково обґрунтований підхід до вибору вмісту цементу, який безпосередньо визначає призначення матеріалу в конструкції та його експлуатаційні характеристики. Експериментальні дослідження та численні чисельні моделювання, проведені у програмних комплексах типу Plaxis, остаточно підтвердили, що при високому вмісті цементу грунтоцемент набуває властивостей жорсткого конструктивного матеріалу з високим модулем деформації та міцністю на стиск і може використовуватися як самостійний несний елемент фундаменту, що сприймає значні навантаження. При послідовному зниженні вмісту цементу деформованість матеріалу закономірно зростає, але одночасно спостерігається значне підвищення його тріщиностійкості, пластичності та здатності до перерозподілу локальних напружень, що є критично важливим для роботи основи в умовах неоднорідних ґрунтів. Такий модифікований грунтоцемент втрачає здатність виконувати роль несного елемента, але надзвичайно ефективно функціонує як штучна основа під фундаменти, забезпечуючи рівномірне перерозподілення навантажень на слабкий природний ґрунтовий масив, значне зменшення абсолютних та диференційних осідань, а також підвищення граничного тиску на основу. Таким чином, вибір оптимальної кількості цементу є складним багатокритеріальним оптимізаційним завданням, що залежить від конкретної геотехнічної задачі: створення жорсткого несного елемента, що працює на стиск та вигин, чи формування деформованої, але рівномірно стискуваної штучної основи, основним завданням якої є перерозподіл напружень. Використання су-

часного високопродуктивного обладнання дозволяє реалізувати найбільш складні та ефективні конструктивні рішення, зокрема, створювати основи з просторово-змінним пошаровим розподілом вмісту цементу для досягнення максимальної ефективності та ресурсозбереження. Цей підхід передбачає, що нижні шари основи, що сприймають більші навантаження та працюють в умовах обмеженої деформації, виконуються з підвищеним вмістом в'яжучого для забезпечення необхідної міцності, тоді як верхні шари, основним завданням яких є амортизація та рівномірний розподіл тиску, формуються зі зниженим вмістом цементу, що забезпечує суттєву економію матеріалів без шкоди для несної здатності та експлуатаційної надійності конструкції в цілому.

Застосування методів штучного покращення ґрунтів є ключовим для забезпечення надійної роботи фундаментів мілкого закладання в умовах слабких або неоднорідних основ. Механічні, колонні, ін'єкційні та хімічні методи дають змогу адаптувати інженерні рішення до конкретних геологічних умов. Використання сучасних технологій дозволяє суттєво підвищити несучу здатність ґрунтів, знизити осідання та забезпечити довговічність малоповерхових будівель. Найоптимальнішими для таких об'єктів є технології середньої складності — stone columns, DSM, віброущільнення — які забезпечують ефективність при порівняно низькій вартості.

Висновок

Грунтоцемент є ефективним та універсальним рішенням для геотехнічного будівництва, особливо на слабких ґрунтах. Його переваги включають використання місцевих матеріалів, економічність та екологічну безпеку.

Сучасні технології - бурозмішувальний метод, струменева цементація, різально-змішувальний метод та об'ємне закріплення - дозволяють оптимально вирішувати різноманітні інженерні завдання.

Ключовим аспектом є раціональний вибір вмісту цементу. Зменшення його кількості дозволяє створити деформовану, але тріщиностійку основу, здатну ефективно перерозподіляти навантаження. Це відкриває шляхи для економії ресурсів без шкоди для якості.

Перспективи розвитку пов'язані з удосконаленням методів моделювання та розробкою сучасних нормативних документів для оптимального використання потенціалу грунтоцементу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зоценко М. Л. Ґрунтоцемент – конструктивний і гідроізоляційний матеріал при будівництві підземних споруд / М. Л. Зоценко // Будівельні конструкції. – Київ : ДП НДІБК, 2016. – Вип. 83, кн. 2. – С. 296–316.
2. Зоценко Н. Л. Контроль за якістю грунтоцементных елементів, які виготовлені за бурозмішувальною технологією / Н. Л. Зоценко, Р. В. Петраш, О. В. Петраш // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2010. – Вып. 56. – С. 188–193.
3. Новицький О. П. Методи закріплення грунтів цементом / О. П. Новицький // Вісник Донецької Національної Академії Будівництва і Архітектури. – Полтава : ДНАБіА, 2013. – Вип. 3(101). – С. 32–37.
4. Гріщенко Р. П., Маєвська І. В. Аналіз міцності ґрунтоцементу при частковій заміні грунту на золу винесення. / Енергоефективність в галузях економіки України. Міжнародна н/т конф. ВНТУ, Вінниця, 2019. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/paper/viewFile/8263/6946.
5. Блащук Н.В. Маєвська І. В. (2020) Використання золи винесення у складі ґрунтоцементу. https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/allfbtegp-2020/paper/download/9154/7828

Кукленко Аліна Богданівна — студент групи 1Б-23б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kuklenkoalina6@gmail.com.
Колачинський Юрій Миколайович — студент групи АДВ-23б, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Kmyurii7@gmail.com
Блащук Наталя Вікторівна — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва,міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua

Kuklenko Alina B. — student of group 1B-23b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kuklenkoalina6@gmail.com.

Kolachynskyi Yurii M. **—** student of group ADV-23b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kuklenkoalina6@gmail.com.
Natalia V. Blashchuk **—** Ph. D. (Eng.), Docent of Department of Industrial and Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.**,** e-mail: blaschuk@vntu.edu.ua