

УДК 624.138.23

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.42.462

## КОНСТРУКЦІЇ З ГРУНТОЦЕМЕНТУ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

КІРІЧЕК Ю. О.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,  
КОМИССАРОВ Г. В.<sup>2\*</sup>, *асист.*

<sup>1</sup> Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: [yakirichkek@gmail.com](mailto:yakirichkek@gmail.com).

<sup>2\*</sup> Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: [kongv91@gmail.com](mailto:kongv91@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-6702-5083

**Анотація.** Територія України характеризується складними інженерно-геологічними умовами: слабкими, структурно-нестійкими ґрунтами, лесовими просадковими суглинками і супісками, в щільній міській забудові часто доводиться стикатись із пливунами, схилами, що спричинює подорожчання зведення будівель і споруд через додаткові витрати на підготовку основ та зведення фундаментів. Смолизація, бітумізація, силікатизація – це агресивні методи закріплення ґрунтів основи, більш екологічне використання цементу. Змішування місцевих ґрунтів із цементом, вапном, гіпсом, шлаками і з уведенням різних добавок дозволяє отримати матеріал – ґрунтоцемент, який останнім часом широко використовується для підготовки основ під фундаменти, зведення фундаментів, а також для виконання різних геотехнічних завдань. Підготовка основ під фундаменти під час зведення будівель і споруд на слабких, структурно-нестійких ґрунтах (просідних ґрунтах I типу просідання, насипних, заторфованих, текучих пілувато-глинистих), як правило, конструктивно виконується армуванням ґрунту вертикальними жорсткими ґрунтоцементними елементами з достатньо високим відсотком вмісту цементу. Такі рішення приймаються на основі технічних характеристик будівельної техніки, поширеної в нашій країні, а також проектних вимог, при цьому закріплення ґрунтової товщі основи виконується на досить велику глибину. Досліджено раціональність застосування ґрунтоцементних конструкцій з низьким вмістом цементу в слабких, водонасичених та лесових ґрунтах I типу просідання. Застосування сучасних механізмів і обладнання для виготовлення ґрунтоцементних елементів дає можливість використовувати конструктивні схеми з меншою витратою цементу для зведення фундаментів будівель та споруд. У разі зменшення кількості цементу підвищується деформованість і тріщиностійкість ґрунтоцементу, в результаті він уже не може розглядатися як елемент конструкції фундаменту, але може ефективно використовуватися як штучна основа фундаментів будівель. Числовими методами розрахунку встановлено вплив параметрів ґрунтоцементу на роботу системи «споруда – фундамент – ґрунтоцементна основа».

**Ключові слова:** *ґрунтоцемент; об'ємне закріплення ґрунтів; різально-змішувальний метод; ґрунтоцементні основи; деформації ґрунту*

## ГРУНТОЦЕМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

КИРИЧЕК Ю. А.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,  
КОМИССАРОВ Г. В.<sup>2\*</sup>, *ассист.*

<sup>1</sup> Кафедра автомобильных дорог, геодезии и землеустройства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: [yakirichkek@gmail.com](mailto:yakirichkek@gmail.com).

<sup>2\*</sup> Кафедра автомобильных дорог, геодезии и землеустройства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 746-38-88, e-mail: [kongv91@gmail.com](mailto:kongv91@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-6702-5083

**Аннотация.** Территория Украины характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями: слабыми, структурно-неустойчивыми ґрунтами, лесовыми просадочными суглинками и супесями, в плотной городской застройке часто приходится сталкиваться с пливунами, склонами, что приводит к удорожанию строительства зданий и сооружений из-за дополнительных затрат на подготовку оснований и возведения фундаментов. Смолизація, бітумізація, силікатизація являються агресивними методами закріплення ґрунтов основания, более екологічен в использовании цемент. Смешивание местного ґрунта с цементом, известью, гипсом, шлаками с введением различных добавок позволяет получить материал – ґрунтоцемент,

который в последнее время широко используется при подготовке оснований под фундаменты, возведении фундаментов, а также при решении различных геотехнических задач. Подготовка оснований под фундаменты при возведении зданий и сооружений на слабых, структурно-неустойчивых грунтах (просадочных грунтах I типа просадки, насыпных, заторфованных, текучих пылевато-глинистых грунтах) обычно конструктивно выполняется армированием грунта вертикальными жесткими грунтоцементными элементами с достаточно высоким процентом содержания цемента. Такие решения принимаются на основе технических характеристик строительной техники, распространенной в нашей стране, а также проектных требований, при этом закрепление грунтовой толщи основания выполняется на достаточно большую глубину. Исследована рациональность применения грунтоцементных конструкций с низким содержанием цемента, в слабых, водонасыщенных и лессовых грунтах I типа просадочности. Применение современных механизмов и оборудования при изготовлении грунтоцементных элементов дает возможность использовать конструктивные схемы с меньшим расходом цемента при возведении фундаментов зданий и сооружений. При уменьшении количества цемента повышается деформируемость и трещиностойкость грунтоцемента, в результате он уже не может рассматриваться в качестве элемента конструкции фундамента, но может эффективно использоваться в качестве искусственного основания фундаментов зданий. Численными методами расчета установлено влияние параметров грунтоцемента на работу системы «сооружение – фундамент – грунтоцементное основание».

**Ключевые слова:** *грунтоцемент; объемное закрепление грунтов; режущо-смешивающий метод; грунтоцементные основания; деформации грунта*

## SOIL-CEMENT STRUCTURES AT THE ERECTION OF FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

KIRICHECK Yu.O.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KOMISSAROV H.V.<sup>2\*</sup>, *Assist.*

<sup>1</sup> Department of Highways, Geodesy and Land Management, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 746-38-88

<sup>2\*</sup> Department of Highways, Geodesy and Land Management, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 746-38-88, e-mail: [komgv91@gmail.com](mailto:komgv91@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-6702-5083

**Abstract.** The territory of Ukraine is characterized by complex engineering and geological conditions: soft, structurally unstable soils, loess subsidence loams and sandy loams, in dense urban development often have to deal with quaff, slopes, which leads to higher prices for the construction of buildings and structures due to the additional cost of preparing the grounds and foundation construction. Tarring, bituminization, silicization are aggressive methods for grouting, cement is more environmentally friendly. Mixing local soil with cement, lime, gypsum, slags and with the introduction of various additives allows to obtain material – soil cement, which has recently been widely used in footing and foundations as well as in solving various geotechnical problems. Preparation of footing in the construction of buildings and structures on soft, structurally unstable soils (subsidence soils of type I subsidence, bulk, ground, flowing silt-loam soils) is usually constructively performed by reinforcing the soil with vertical rigid soil-cement elements with high percentage of cement content. Such solutions are made on the basis of the technical characteristics of common construction equipment in our country, as well as design requirements while securing the grouting is carried out to a sufficiently large depth. Investigation of the rationality of the application of soil-cement structures with lower cement content in soft, water-saturated and loess soils of type I subsidence. The use of modern mechanisms and equipment in the manufacture of cement elements makes it possible to use structure, with less content cement in the construction of foundations of buildings and structures. With a decrease in the content of cement, the deformability and crack resistance of soil cement increase, as a result, it can no longer be considered as a structural element of the foundation, it can be effectively used as an artificial footing for building foundations. Numerical methods of calculation established the influence of soil cement parameters on the operation of the system “structure-foundation-soil cement footing”.

**Keywords:** *soil-cement; mass soil stabilization; cutting-mixing method; soil-cement foundation; deformation of soil*

**Постановка проблеми.** Територія України характеризується складними інженерно-геологічними умовами: слабкими, структурно-несійкими грунтами, лесовими просадковими

суглинками і супісками, в щільній міській забудові часто доводиться стикатись із пливунами, схилами, що спричинює подорожчання зведення будівель і споруд через додаткові витрати на підготовку

основ та зведення фундаментів. Смолизація, бітумізація, силікатизація – це агресивні методи закріплення, підсилення ґрунтів основи, більш екологічне використання цементу. Змішування місцевих ґрунтів із цементом, вапном, гіпсом, шлаками і з уведенням різних добавок дозволяє отримати матеріал – ґрунтоцемент, який останнім часом широко використовується для підготовки основ під фундаменти, зведення фундаментів, а також для виконання різних геотехнічних завдань.

Підготовка основ під фундаменти для зведення будівель і споруд на слабких, структурно-нестійких ґрунтах (просадкових ґрунтах I типу просідання, насипних, заторфованих, текучих пилювато-глинистих ґрунтах), як правило, конструктивно виконується армуванням ґрунту вертикальними жорсткими ґрунтоцементними елементами з достатньо високим вмістом цементу. Такі рішення приймаються на основі технічних характеристик будівельної техніки, поширеної в нашій країні, а також проектних вимог, при цьому закріплення ґрунтової товщі основи виконується на досить велику глибину.

**Аналіз публікацій.** Ґрунтоцементні елементи виконуються двома методами: вологого і сухого змішування ґрунту, вибір яких залежить від ґрунтових умов і специфікації проекту. Метод вологого змішування ґрунту застосовується в різних ґрунтових умовах: від слабких пластичних глин до середньої щільності піску і гравію з включеннями кругляків. Метод сухого змішування застосовується в ґрунтах із достатнім вмістом вологи, щоб забезпечити фізико-хімічну реакцію сухого в'язучого з ґрунтом, отож цей метод дозволяє зменшити вміст води у ґрунті.

З метою ресурсозбереження та завдяки розвитку нових методів улаштування ґрунтоцементні конструкції все більше набирають популярності в фундаментобудуванні. Це:

- улаштування набивних паль бурозміщувальним методом, струменевою цементацією, струменево-зміщувальною цементацією;

- улаштування підпірних стін котлованів. Для кріплення вертикальних стін котлованів і захисту існуючих фундаментів від будівництва використовуються, як правило, гнучкі огорожувальні конструкції з січних і дотичних паль, які в оголовках об'єднані залізобетонним поясом та фіксовані анкерами. Огорожувальні конструкції проектують на дію горизонтального навантаження від тиску ґрунту і підземних вод, а також за необхідності на вертикально прикладене до поверхні ґрунту навантаження поблизу огорожі. До огорожувальних конструкцій пред'являються особливі вимоги щодо міцності матеріалу ґрунтоцементних елементів і герметичності їх стиків [8; 10];

- улаштування ґрунтоцементних анкерів;

- улаштування фундаментів мілкового закладення. Улаштування стрічкових і пальових фундаментів із ґрунтоцементу рекомендується для будинків не більше трьох поверхів із несними стінами III класу відповідальності, а також для будівель II класу відповідальності висотою до двох поверхів включно. Будівництво стрічкових ґрунтоцементних фундаментів заборонене в сейсмічних і карстових районах, а також на підроблюваних територіях, вічно мерзлих і не відталих після сезонного промерзання ґрунтах, заторфованих, набряклих і просадкових ґрунтах II типу [3; 4];

- улаштування протифільтраційних завіс. За конструктивними особливостями протифільтраційні завіси можуть бути вертикальними і горизонтальними. Товщина протифільтраційних завіс перебуває в діапазоні 0,5...2 м і залежить від фільтраційної міцності, міцності ґрунтоцементу, градієнта напору [2; 10];

- улаштування бурових шламових амбарів, штучних водойм, басейнів, резервуарів;

– зміцнення зсувонебезпечних схилів;  
 – підсилення основи існуючих фундаментів похилими та вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ). Але у випадках реконструкції будівель і споруд, у стиснених умовах доцільно закріплювати ґрунт горизонтальними ґрунтоцементними елементами на незначній глибині безпосередньо під фундаментом у зоні активних деформацій основи [7];  
 – улаштування роздільних екранів для захисту фундаментів споруд від впливу нового будівництва;

– закріплення масиву ґрунту від розрідження за сейсмічних навантажень;  
 – улаштування дорожнього полотна;  
 – улаштування залізничних насипів;  
 – поліпшення будівельних властивостей торф'яних, лесових ґрунтів, насипних, слабких ґрунтів ( $E < 5$  МПа);  
 – закріплення ґрунтів;  
 – захист підземних виробок у процесі виконання різних інженерно-технічних завдань;  
 – армування основи фундаментів.

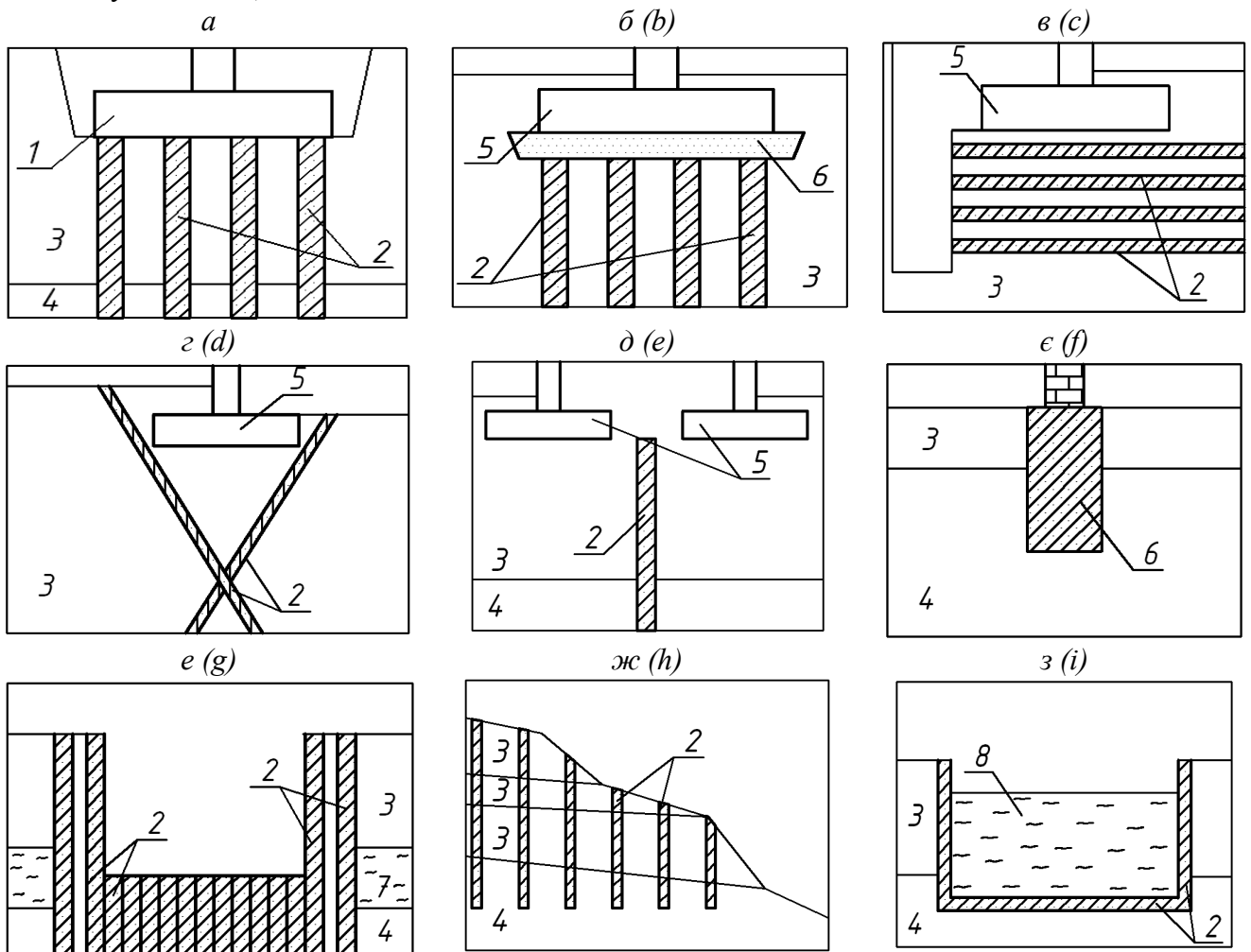


Рис. 1. Використання ґрунтоцементу в геотехніці: а, б – пальові фундаменти; підсилення існуючих фундаментів: вертикальними ГЦЕ; в – горизонтальними ГЦЕ; г – похилими ГЦЕ; д – улаштування роздільних екранів; е – улаштування фундаментів мілко закладення під малоповерхові будівлі; г – закріплення укосів котловану і захист від ґрунтових вод; ж – закріплення нестійких укосів і схилів; з – улаштування резервуарів: 1 – ростверк; 2 – ґрунтоцементні елементи; 3 – слабкий ґрунт; 4 – міцний ґрунт; 5 – фундамент; 6 – стрічковий фундамент з ґрунтоцементу; 7 – водонасичений ґрунт; 8 – рідина резервуарів / Fig. 1. The using of soil cement in geotechnics: a, b – pile foundations; enhancement of existing foundations: vertical SCE; c – horizontal SCE; d – inclined SCE; e – arrangement of separate screens; f – arrangement of foundations of shallow laying under low-rise buildings; g – fixing of slopes of a pit and protection from ground waters; h – fixing unstable slopes and slopes; i – arrangement of reservoirs: 1 – rafters; 2 – ground cement elements; 3 – weak soil; 4 – strong soil; 5 – the foundation; 6 – tape foundation from the soil cement; 7 – water-saturated soil; 8 – liquid reservoirs

Закріплення ґрунтів ґрунтоцементними елементами можливе різними конструктивними рішеннями. Це улаштування окремо розташованих ґрунтоцементних паль циліндричного

перетину, панелей, сіток, блоків з окремо розташованих паль, січних паль або суцільних елементів, які влаштовуються «різально-змішувальним» методом [6; 9].

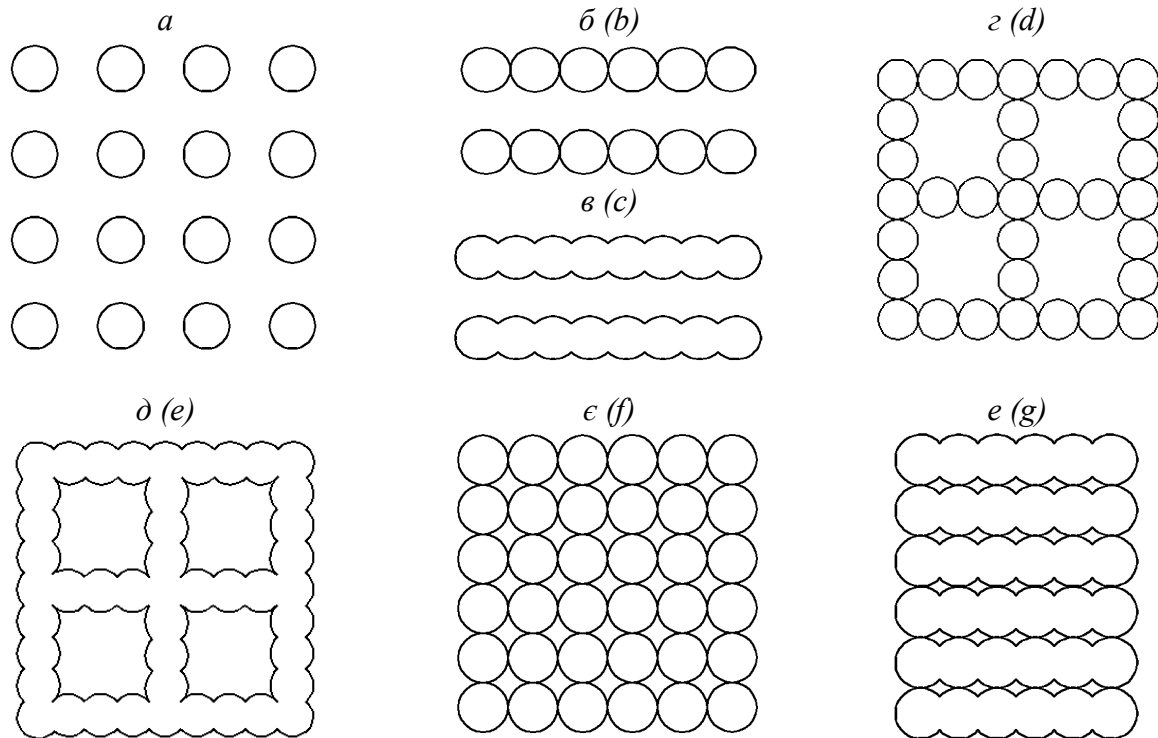


Рис. 2. Конструктивні рішення закріплення ґрунтів ґрунтоцементними елементами: а – окремо розташовані ГЦЕ; б, в – панелі з ГЦЕ; г, д – сітки з ГЦЕ; е, е – блоки з ГЦЕ / Fig. 2. Structural solutions of consolidation of soil with soil cement elements: a – separate SCE; b, c – panels with SCE; d, e – grids with SCE; f, g – blocks with SCE

Широко застосовуються три методи закріплення ґрунту цементом: бурозмішувальний метод, струменева цементация, струменево-змішувальна цементация. Найбільш поширений в нашій країні бурозмішувальний метод – завдяки простоті механізмів для його реалізації. Його суть полягає в механічній розробці і перемішуванні ґрунту з в'язучим, яке подається у вигляді розчину.

Перемішування ґрунту з в'язучим, як правило, відбувається в робочій свердловині (без виймання ґрунту), але також може виконуватися із частковим вийманням або в спеціальних бункерах – змішувачах. Перевага цього методу – в економії в'язучого, постійний перетин ґрунтоцементного елемента відповідно до

діаметра застосованого робочого шнека. Недолік – у гравелистих ґрунтах необхідне громіздке обладнання з великими обертовими моментами [4–6; 12].

Метод струменевої цементации поділяється на три види: однокомпонентна цементация (Jet 1), двокомпонентна цементация (Jet 2), трикомпонентна цементация (Jet 3). У методі однокомпонентної цементации (Jet 1) розробка ґрунту відбувається за рахунок енергії струменя цементного розчину. Робочим інструментом для улаштування ґрунтоцементних елементів постає струменевий монітор, із форсунок якого виходить струмінь цементного розчину під тиском до 70 МПа.

Висконапірний струмінь цементного розчину може різати практично будь-який ґрунт. Діаметр ґрунтоцементних елементів 350...700 мм.

Для збільшення радіуса різання ґрунту і руйнівної дії в двокомпонентній цементації (Jet 2) додатково використовується енергія стисненого повітря. Струменевий монітор обладнаний двома форсунками, одна з яких служить для подачі цементного розчину, а друга – для подачі стисненого повітря під тиском 0,6...1,2 МПа. Міцність і щільність ґрунтоцементних елементів порівняно з однокомпонентною технологією знижується, діаметр досягає – 1 500 мм. У трикомпонентному методі (Jet 3) струменевий монітор обладнаний трьома форсунками, які служать для роздільної подачі в'язучого, води і повітря. Руйнування ґрунту проводиться висконапірним струменем води під тиском 20...30 МПа і повітряним потоком, а цементний розчин подається окремим струменем. Діаметр ґрунтоцементних елементів 1 300...2 500 мм [1; 8; 11]. Перевага такого методу висока продуктивність і можливість застосування практично в будь-яких ґрунтах. Недолік – висока витрата цементу.

Струменево-змішувальна цементація – це комбінований метод струменевої і бурозмішувальної цементації, коли одночасно використовується механічна та гідромоніторна розробка ґрунту, що, у свою чергу, сприяє досягненню більшої однорідності суміші і збільшенню діаметра ґрунтоцементного елемента. Перевага методу – можливість використання в будь-яких ґрунтових умовах; універсальність, у разі зменшення тиску струменя гідромонітора метод працює як бурозмішувальний [4; 9].

Для улаштування огорожувальних конструкцій і фундаменту «стіна в ґрунті» був розроблений різально-змішувальний метод. Робочими органами служать різальні кільця або ланцюгова фреза, які вертикально обертаються відносно

горизонтальної осі. За такого методу влаштовують безперервні ґрунтоцементні панелі товщиною, рівною товщині робочих органів.

Принципову відмінність має місце об'ємного закріплення, коли обробці піддається весь масив ґрунту. Об'ємне закріплення ґрунту "Mass Stabilization" – відносно новий метод поліпшення будівельних властивостей слабких ґрунтів, який може виконуватися на глибину 5...7 м, захватками 10...25 м<sup>2</sup>. Діаметр робочого інструменту становить 0,6...0,8 м.

У цьому випадку в'язуче переважно використовується у вигляді сухих порошкових сумішей, але також може бути вигляді розчину і складатися з одного компонента: вапно, цемент, шлак або їх комбінації.

Процес перемішування відрізняється від інших методів тим, що в'язучий матеріал подається в область змішування, в той час як міксер обертається й одночасно переміщується у вертикальній та горизонтальних площинах, щоб забезпечити оптимальне перемішування ґрунту [10; 12].

**Мета статті** – дослідження раціональності застосування ґрунтоцементних конструкцій з низьким вмістом цементу в слабких, водонасичених та лесових ґрунтах I типу просідання.

**Виклад матеріалу.** Використання механізмів методом об'ємного закріплення ґрунту "Mass Stabilization" і механізмів, обладнаних різально-змішувальними робочими органами (методи "Cutter Soil Mixing", "Cut-Mix-Injection") в просадкових ґрунтах I типу, а також за наявності невеликої потужності шару слабких насипних або структурно-нестійких ґрунтів дає можливість отримати конструкції фундаменту й основ із меншим вмістом цементу.

Для влаштування щільного фундаменту основними характеристиками ґрунтоцементу постають міцність на стиск  $R$  (МПа),  $E_0$  – модуль деформації (МПа), у разі замочування потрібно враховувати



можливість впливу негативного тертя по бічних гранях, що, у свою чергу, викликає додаткове навантаження.

Зі зменшенням кількості цементу в суміші зменшується кількість кристалізаційних зв'язків у ґрунтоцементі і підвищується його деформованість і тріщиностійкість. Для влаштування штучних ґрунтоцементних основ головними критеріями стають достатня міцність і рівномірна стисливість по всій площі основи.

Теоретичні дослідження показали, що витрата цементу на 1 м<sup>3</sup> оброблюваного ґрунту складає 40...125 кг [3]. Основні характеристики ґрунтоцементу: щільність (г/см<sup>3</sup>);  $E$  – модуль деформації (МПа);

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя (град.);  
 $c$  – питоме зчеплення (кПа).

Числові дослідження в програмному комплексі Plaxis роботи системи «споруда – фундамент – ґрунтоцементна основа» показали раціональність використання ґрунтоцементу з низьким відсотком вмісту цементу у підготовці основ під фундаменти будівель та споруд. При цьому значно зменшується осідання моделі фундаменту та збільшується граничний тиск на штучну основу. Можливість пошарово змінювати кількість цементу в складі ґрунтоцементної основи від подошви до поверхні дає можливість варіювати параметрами основи і досягти більшої економії цементу.

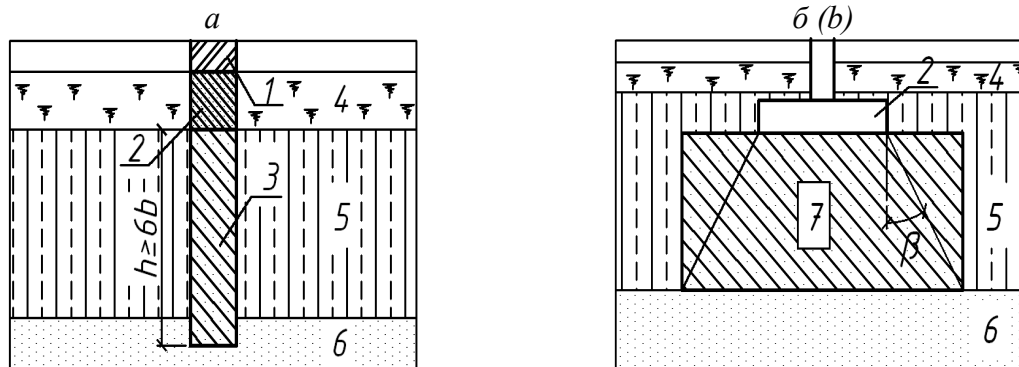


Рис. 3. Конструктивні рішення використання ґрунтоцементних конструкцій у слабких, структурно нестійких ґрунтах: а – влаштування щілиного фундаменту; б – закріплення масиву ґрунту; 1 – конструкція цоколя будівлі; 2 – конструкція фундаменту; 3 – конструкція щілиного фундаменту з ґрунтоцементу; 4 – ґрунтово-рослинний шар; 5 – слабкий структурно-нестійкий ґрунт; 6 – міцний ґрунт; 7 – ґрунтоцементні підстави / Fig. 3. Constructive solutions of the use of soil cement constructions in weak, structurally unstable soils: a – arrangement of slit basement; b – consolidation of the soil array; 1 – construction of the base of the building; 2 – construction of the foundation; 3 – construction of a slit foundation from a ground cement; 4 – soil-vegetative layer; 5 – weak structurally unstable soil; 6 – strong soil; 7 – ground cement grounds

**Висновок.** Застосування механізмів для об'ємного закріплення ґрунту, а також «різально-змішувальних» механізмів і обладнання для виготовлення ґрунтоцементних елементів дає можливість використовувати конструктивні схеми з меншою витратою цементу в зведенні фундаментів будівель та споруд. У разі зменшення кількості цементу підвищується деформованість і тріщиностійкість ґрунтоцементу, в результаті він уже не

може розглядатися як елемент конструкції фундаменту, але може ефективно використовуватися як штучна основа фундаментів будівель.

Числовими методами розрахунку встановлено вплив параметрів ґрунтоцементу на роботу системи «споруда–фундамент–ґрунтоцементна основа».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Временные рекомендации по технологии строительства цементогрунтовых ленточных фундаментов с применением шнекофрезерных грунтосмесительных машин: рекомендации / Разраб. под руков. А. Н. Токина. – Киев : НИИСП, 1981. – 47с.
2. Зоценко М. Л. Грунтоцемент – конструктивний і гідроізоляційний матеріал при будівництві підземних споруд / М. Л. Зоценко // Будівельні конструкції. – Київ : ДП НДІБК, 2016. – Вип. 83, кн. 2. – С. 296–316.
3. Киричек Ю. А. Анализ области применения грунтоцемента в геотехнике / Ю. А. Киричек, Г. В. Комиссаров // Будівельні конструкції. – Київ : ДП НДІБК, 2016. – Вип. 83, кн. 1. – С. 529–538.
4. Киричек Ю. А. Методы устройства искусственных оснований из грунтоцемента под фундаменты мелкого заложения / Ю. А. Киричек, Г. В. Комиссаров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 7. – С. 15–19.
5. Зоценко Н. Л. Контроль за якістю грунтоцементних елементів, які виготовлені за бурозмішувальною технологією / Н. Л. Зоценко, Р. В. Петраш, О. В. Петраш // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2010. – Вип. 56. – С. 188–193.
6. Крысан В. И. Практика закрепления грунтов по струйно-смесительной технологии / В. И. Крысан, В. В. Крысан // Геотехника Беларуси: наука и техника : межд. науч.-техн. конф. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 171–177.
7. Нечаев К. В. Горизонтальное армирование грунтов в основании здания корпуса неотложной хирургии железнодорожной больницы г. Донецка при ее реконструкции / К. В. Нечаев, А. О. Исмагилов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 141. – С. 205–211.7
8. Маковецкий О. О. Проектирование ограждений котлованов из буро секущих грунтоцементных элементов / О. О. Маковецкий, К. А., Миллер, В. В. Галимов // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3(38). – Т2. – С. 228–233.
9. Новицкий О. П. Методы закрепления грунтов цементом / О. П. Новицкий // Вісник Донецької Національної Академії Будівництва і Архітектури. – Полтава : ДНАБіА, 2013. – Вип. 3(101). – С. 32–37.
10. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. акад. РААСН, В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – Москва : Издательство АСВ, 2014. – 728 с.
11. Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из грунтоцемента для опытного строительства малоэтажных сельских зданий: рекомендации / Разраб. под руков. Б. А. Ржаницына. – Москва : НИИОСП им. Герсеванова, 1983. – 41 с.
12. Deep Soil Mixing (DSM). Improvement of weak soils by the DSM method [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kellerholding.com>.

## REFERENCES

1. *Vremennyye rekomendatsii po tekhnologii stroitel'stva tsementogruntovykh lentochnykh fundamentov s primeneniym shnekofrezernykh gruntosmesitel'nykh mashin: rekomendatsii* [Temporary recommendations on the construction technology of cement and ground foundations using screw milling soil-mixing machines]. Developed under the direction of A. N. Tokin. Kyiv : NIISP, 1981, 47 p. (in Russian).
2. Zotsenko M.L. *Gruntotsement – konstruktyvnyy i hidroizolyatsiynyy material pry budivnytstvi pidzemnykh sporud* [Soil-sement – structural and waterproofing material in the construction of underground structures]. *Budivelni konstruksii: zb. nauk. prats* [Building constructions: coll. of scient. works]. Kyiv : DP NDIBK, 2016, vyp. 83, b. 2, pp. 296–316. (in Ukrainian).
3. Kyrychek Yu.A. and Komissarov G.V. *Analyz oblasti pryumenenyya hruntotsementa v heotekhnike* [Analysis of soil-cement application in geotechnics]. *Budivelni konstruksii: zb. nauk. Prats* [Building constructions : coll. of scient. works]. Kyiv : DP NDIBK, 2016, vyp. 83, b. 1, pp. 529–538. (in Russian).
4. Kyrychek Yu.A. and Komyssarov G.V. *Metody ustroystva yskusstvennykh osnovanyy yz hruntotsementa pod fundamenty melkoho zalozheniya* [Methods for constructing artificial footing from ground cement for shallow foundations]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Pyidniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture], 2014, no. 7, pp. 15–19. (in Russian).
5. Zotsenko N.L., Petrash R.V. and Petrash O.V. *Kontrol' za yakistyu hruntotsementnykh elementiv, yaki vyhotovleni za burozmishuval'noyu tekhnolohiye*. [Control over the quality of the cementitious elements, which are made according to the mixing technology]. *Stroitelstvo. Materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Dnipropetrovsk : PSACEA, 2010, vyp. 56, pp. 188–193. (in Ukrainian).
6. Krysan V.I. and Krysan V.V. *Praktika zakrepleniya gruntov po struyno-smesitel'noy tekhnologii* [The practice of soil consolidation by jet-mixing technology]. *Geotekhnika Belarusi: nauka i tekhnika : mezhdunar. nauchno-tekhnicheskaya konferentsiy*. [Geotechnics of Belarus: Science and Technology : Intern. scient. and techn. conf.]. Minsk : BNTU, 2013, pp. 171–177. (in Russian).



7. Nechayev K.V. and Ismagilov A.O. *Gorizontol'noye armirovaniye gruntov v osnovanii zdaniya korpusa neotlozhnoy khirurgii zheleznodorozhnoy bol'nitsy g. Donetska pri yeye rekonstruktsii* [Horizontal reinforcement of soils at the fottig of the building of the emergency surgery building of the Donetsk railway hospital during its reconstruction]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Collection of scientific works of UkrDAZT]. 2013, vol. 141, pp. 205–211. (in Russian).
8. Makovetsky O.O., Myller K.A. and Halymov V.V. *Proektyrovanye ohrashdenyy kotlovanov yz burosekushchykh hruntotsementnykh elementov* [Designing fencing pits of buroseuse soil-cement elements]. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Yurii Kondratiuka* [Collection of scientific works of Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk]. Poltava : PoltNTU, 2013, iss. 3 (38), vol. 2, pp. 228–233. (in Russian).
9. Novyts'ky O.P. *Metody zakriplennya hruntiv tsementom* [Methods of fixing the soil with cement]. *Visnyk Donetskoi Natsionalnoi Akademii Budivnytstva i Arkhitektury* [Bulletin of Donetsk National Academy of Building and Architecture Series]. Poltava : DNABIA, 2013, iss. 3 (101), pp. 32–37. (in Ukrainian).
10. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya* [Reference geotechnical. Foundations, foundations and underground structures] Under total edition of Acad. of RAACS V.A. Illichev and R.A. Mangusheva. Moscow : Publishing House DIA, 2014, 728 p. (in Russian).
11. *Rekomendatsii po proyektirovaniyu i ustroystvu fundamentov iz gruntotsementa dlya opytnogo stroitelstva maloetazhnykh selskikh zdaniy* [Recommendations for the design and installation of foundations of ground cement for the pilot construction of low-rise rural buildings]. Developed under the guidance B.A. Rzhanytsyn. Moscow : SRIOCP named Gersevanov, 1983, 41 p. (in Russian).
12. Deep Soil Mixing (DSM). Improvement of weak soils by the DSM method [Electronic resource].

Надійшла до редакції : 26.05.019 р.