

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.138:[624.132.3:666.94]

А. І. ЮХИМЕНКО*

* Кафедра «Промислового та цивільного будівництва», Запорізька державна інженерна академія, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (095) 447 13 65, ел. пошта winner.wcar@gmail.com, ORCID 0000-0003-4231-9602

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ АРМОЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ГРУНТІВ ОСНОВ СПОРУД ЗА БУРОЗМІШУВАЛЬНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

Мета. Дослідити процес утворення горизонтальних ґрунтоцементних армоелементів та виявити вплив обертального і лінійного рухів робочого органу - бурозмішувача на формування характеристик ґрунтоцементу. **Методика.** Влаштування експериментальних горизонтальних ґрунтоцементних армоелементів виконано по бурозмішувальній технології. Досліджений вплив технологічних факторів на процес утворення горизонтальних ґрунтоцементних армоелементів та на формування механічних характеристик ґрунтоцементу. Дослідження механічних характеристик виконувалось неруйнівним ударно-імпульсним методом. **Результати.** Для забезпечення можливості дослідити вплив технологічних чинників на формування механічних характеристик одношвидкісний станок горизонтального буріння удосконалений наділенням станка трьома швидкостями обертального та лінійного рухів трилопатевого бурозмішувача нової конструкції. При утворенні горизонтальних ґрунтоцементних армоелементів в укріплюючій товщі ґрунту на різних ділянках по довжині, бурозмішувачу задавали різні технологічні параметри. Після 7 діб твердіння ґрунтоцементної суміші армоелементи розкривались і через кожні 7 діб подальшого твердіння досліджувались. **Наукова новизна.** Встановлена залежність зміни механічних характеристик ґрунтоцементу від зміни технологічних параметрів їх утворення. **Практична значимість.** Результати досліджень забезпечують можливість встановлення раціональних технологічних режимів підсилення основ споруд для отримання необхідних характеристик ґрунтоцементних армоелементів.

Ключові слова: технологія підсилення основ ґрунтів; армування ґрунту; ґрунтоцемент; технологічні фактори; ударно-імпульсний метод; раціональні параметри

Вступ

Будівництво та експлуатація об'єктів на територіях зі складними ґрантовими умовами зазнають значних складнощів. Проблеми експлуатації будівель та споруд пов'язані із великою кількістю деформацій різного виду, які виникають по різних причинах, але частіше внаслідок нерівномірних деформацій основ через погіршення властивостей ґрунтів при негативному впливі техногенних чинників, наприклад замочуванні. Тому часто виникає нагальна проблема укріплення ґрунтів з метою зміцнення основ деформованих об'єктів.

Існують різні способи укріплення ґрунтів у томі числі армуванням. Але більшість технологій зорієнтовані на армування в вертикальному напрямку. Це ускладнює їх застосування для підсилення основ фундаментів існуючих деформованих будівель, що призводить до необхід-

ності демонтажу або порушення їх елементів та послідуного їх відновлення.

Більш ефективним способом підсилення основ існуючих споруд є горизонтальне армування ґрунтів, при якому під фундаментами деформованих споруд утворюють армуючі елементи. Актуальність горизонтального армування полягає в тому, що даним способом можливо підсилити основу без руйнування будівельних конструкцій існуючих споруд чи прибудованих або вбудованих приміщень. Ця обставина досягається тим, що армуючі елементи утворюють із котлованів або траншей, виготовлених за межами будівель або споруд, що дає можливість зміцнення основ без зупинки їх експлуатації та без відселення мешканців.

Технологія підсилення основ армуванням ґрунтоцементними елементами має досить широкий спектр необхідності застосування в народному господарстві. В капітальному будів-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ництві [1-3]; при захисті пошкоджених будівель від подальших деформацій [4]; при укріпленні насипів [5, 6], у т.ч. насипів залізничних колій, захисті споруд від зсувів [7] та ін.

Для армування ґрунтів з метою підсилення основ споруд застосовують різні технології. Для підсилення земляного полотна, підвищення стійкості укосів залізничних колій застосовують геотекстильні матеріали [8, 9]. Дані технології досить ефективні в капітальному будівництві. Але при їх застосуванні для існуючих споруд виникають суттєві проблеми.

Як сказано вище, при підсиленні основ існуючих споруд більш ефективно застосовувати технологію горизонтального армування ґрунтів, яка досить добре адаптована до вимог улаштування земельного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії [10].

Відомий спосіб підсилення основ в горизонтальному напрямку є підведення жорстких конструкцій під фундаменти шляхом їх задавлювання в ґрунт основи [11]. Такий спосіб забезпечує високу несучу спроможність основи, але він потребує занадто потужний та габаритний прес для задавлювання труб, залізобетонних чи других конструкцій, спосіб складний у застосуванні та занадто вартісний.

Підсилюють основи в горизонтальному напрямку шляхом укріплення ґрунтів силікатизацією, для чого із котловану забивають ін'єктори в горизонтальному напрямку і через них нагнітають розчин силікат натрію [12]. Через не технологічність способу і значну вартість рідкого скла метод застосовується досить рідко.

Горизонтальне підсилення основ виконують також із застосуванням пневмопробійників, якими із котловану пробивають горизонтальну свердловину і потім в її порожнині різними технологіями утворюють жорсткий елемент [13].

В останній час все більш широкого впровадження набуває бурозмішувальний спосіб поліпшення властивостей ґрунтів шляхом їх армування ґрунтоцементними елементами

Бурозмішувальна технологія (БЗТ) армування ґрунтів застосовується в різних напрямках для різних цілей. Горизонтальне армування ґрунтів частіше застосовується для укріплення основ існуючих будівель при реконструкції та при захисті пошкоджених будівель від подальших деформацій [14].

В науково-технічних джерелах досить добре висвітлені результати досліджень властивостей ґрунтоцементну, способи впровадження БЗТ та ін., але недостатньо розглянуті питання ролі та впливу технологічних чинників на процес утворення горизонтальних ґрунтоцементних армуючих елементів (ГЦАЕ) та формування їх міцнісних характеристик.

Мета

Дослідити процес утворення горизонтальних ГЦАЕ та виявити вплив обертального і лінійного рухів робочого органу – бурозмішувача на формування характеристик ґрунтоцементну.

Методика

Укріплення ґрунту здійснено горизонтальним армуванням ГЦЕ по бурозмішувальній технології. Бурозмішувальні процеси – руйнування ґрунту, подрібнення зруйнованого ґрунту, просочування водоцементною суспензією, перемішування ґрунтоцементної суміші виконувалось розробленим трилопатеvim бурозмішувачем замість існуючого однолопатевого. Бурозмішувальні процеси виконувались за допомогою удосконаленого станка горизонтального буріння, наділеного трьома швидкостями обертального та лінійного рухів бурозмішувача, замість одношвидкісного існуючого. Експериментальні дослідження технології утворення ГЦАЕ та впливу технологічних факторів на формування характеристик ґрунтоцементну виконано в польових умовах. ГЦАЕ утворювали шляхом зміни технологічних параметрів на різних ділянках по довжині. Після твердіння ГЦАЕ на протязі 7 діб вони були розкриті і досліджені через кожні наступні 7 діб твердіння. Дослідження зміни характеристик ґрунтоцементну на відповідних ділянках відбувалось неруйнівними методами, а також шляхом відбору зразків на ділянках зміни технологічних параметрів та їх дослідження на гідравлічному пресі.

Результати

Основним технологічним процесом в БЗТ є бурозмішування, який включає в себе: різання ґрунту, його подрібнення, просочування подрібненого ґрунту водоцементним розчином та ретельне перемішування ґрунтоцементної суміші. Головним технологічним інструментом

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

при виконанні даної технологічної операції є бурозмішувач. Розроблена та виготовлена нами нова конструкція трилопатевого бурозмішувача (патент України №73029) [15], на відміну від існуючої однолопатевої, показала досить добрі результати у всіх відношеннях. Дана конструкція складається із трьох лопатей (рис. 1). Права лопать має вигляд нисхідних ріжучих елементів, середня – плоска пластина, ліва – із висхідними ріжучими елементами, які жорстко з'єднані між собою. Кожна лопать має свою функцію та призначення.



Рис. 1. Трилопатевий бурозмішувач

Від товщини стружки різання та ступеню подрібнення зруйнованого ґрунту залежить якість просочування його цементною суспензією і перемішування суміші, що впливає на якість утворення ГЦЕ.

Запропонований бурозмішувач поступово врізається в ґрунт при його обертанні та осьовому переміщенні буровим станком і руйнує ґрунт на початковому етапі у вигляді конуса. Розглянемо схему різання та подрібнення ґрунту. На рис. 2 схематично показаний розріз ґрунту на початковій стадії врізання та руйнування ґрунту.

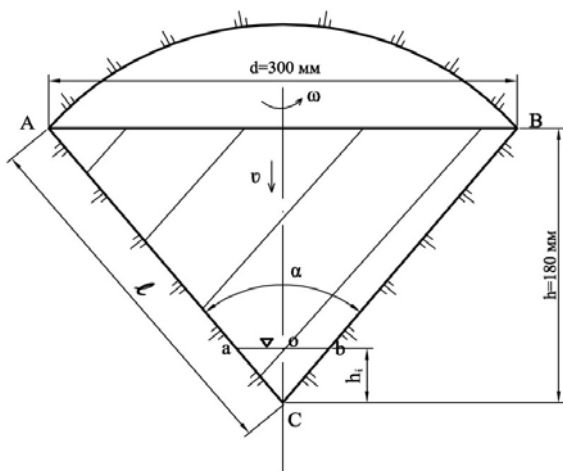


Рис. 2. Схема для визначення товщини стружки різання ґрунту при бурозмішувальній технології укріплення

Поперечний переріз форми зруйнованого ґрунту на початковій стадії має конусоподібний вигляд. Висота конуса по вісі h дорівнює висоті нижньої лопаті, діаметр основи конуса d має розмір довжини середньої лопаті, твірна конуса l дорівнює довжині бокового ребра нижньої лопаті. Площина перерізу конуса врізання бурозмішувача в ґрунт має форму трикутника ABC , кут при вершині конуса $\angle ACB = \alpha$.

Для визначення товщини різання стружки приймаємо припущення, що бурозмішувач при обертанні із швидкістю ω об/хв і осьовому переміщенні v м/хв врізається в ґрунт і описує за один оберт елементарну конічну поверхню із висотою h_i , елементарний розріз якого має форму елементарного трикутника abc . Товщина стружки, яка зрізається ножом бурозмішувача ∇ буде дорівнювати катету ao елементарного трикутника aoC . Із співвідношення сторін ΔaoC маємо:

$$\nabla = ao = oc \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = h_i \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (1)$$

де h_i – висота елементарної конічної поверхні, яка дорівнює глибині врізання (занурювання) бурозмішувача за один його оберт.

Удосконалений станок горизонтального буріння має три швидкості осьового переміщення $v_1=0,44$ м/хв., $v_2=0,68$ м/хв., $v_3=0,92$ м/хв. і три швидкості обертань бурозмішувача $\omega_1=86$ об/хв., $\omega_2=112$ об/хв., $\omega_3=138$ об/хв. Для прикладу розрахунку приймаємо середні швидкості $v_2=0,68$ м/хв. і $\omega_2=112$ об/хв. Довжина середньої лопаті, яка обумовлює діаметр руйнування ґрунту і, отже, діаметр формування ГЦЕ дорівнює $d=300$ мм, висота нижньої лопаті бурозмішувача $h=180$ мм. При таких конструктивних і технологічних параметрах час занурювання бурозмішувача в ґрунт відбувається за:

$$t = \frac{h}{v} = \frac{180 \text{ мм}}{680 \text{ мм/хв}} = 0,264 \approx 0,26 \text{ хв}. \quad (2)$$

Величина занурювання бурозмішувача в ґрунт за один оберт дорівнює:

$$h_i = \frac{v}{n} = \frac{680 \text{ мм/хв}}{112 \text{ об/хв}} = 6,1 \text{ мм / об}. \quad (3)$$

Тоді товщина стружки різання ґрунту буде:

$$\nabla = h_i \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 6,1 \text{ мм} \cdot 0,833 = 5,1 \text{ мм}. \quad (4)$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Окрім конструктивних параметрів бурозмішувача на процес формування ГЦЕ впливають технологічні параметри. При розрахунках несучої здатності та деформативності при проектуванні укріплених основ виникають питання по механічним та деформаційним характеристикам укріплених ґрунтів. В зв'язку з цим було досліджено питання впливу технологічних факторів на формування цих характеристик при влаштуванні ГЦЕ.

В процесі експериментальних досліджень були виготовлені ГЦЕ при різних комбінаціях зміни технологічних параметрів – швидкості обертань та лінійної швидкості бурозмішувача. Після тужавіння на протязі 7 діб ГЦЕ були розкриті та досліджені на предмет: набору міцнісних показників у часі, поверхневої твердості ГЦЕ та міцності на стиск через кожні 7 діб твердіння; досліджена зміна цих показників по довжині ГЦЕ при зміні технологічних чинників; досліджене питання анізотропії ґрунтоцементу.

ГЦЕ по довжині їх утворення поділили на ділянки у відповідності до тих чи інших показників швидкості обертань та лінійної швидкості руху бурозмішувача. Кожна ділянка розмічена із інтервалом 10 см на ділянки, на яких набиралася статистика вимірювання поверхневої твердості на різних етапах досліджень неруйнівним методом, та на яких відбиралися моноліти після 35 діб твердіння для лабораторних досліджень призмової міцності на стиск з метою виявлення впливу технологічних чинників на тенденцію зміни вказаних характеристик. Дані цих досліджень будуть використані при розробці рекомендацій з раціонального вибору елементів технологічного процесу при підсиленні основ фундаментів укріпленням ґрунтів деформованих будівель, споруд шляхом горизонтального армування ґрунтоцементними елементами за БЗТ.

Твердість ґрунтоцементу утворених ГЦЕ досліджувалась неруйнівним ударно-імпульсним методом за допомогою вимірювального приладу «Онікс». Даний метод заснований на принципі кореляційної залежності параметрів ударного імпульсу від пружно-пластичних властивостей контрольованого матеріалу.

Прилад складається із електронного блоку і склерометра. Процес замірювання твердості ГЦЕ показаний на рис. 3. Для виконання за-

мірів зусиллям пружини приладу індентором склометра наноситься удар по замірювальній поверхні. При ударі перетворювач виробляє сигнал, пропорційний поверхневій твердості предмета замірювання, який реєструється електронним блоком і перетворюється в цифровий показник в МПа.



Рис. 3. Вимірювання твердості ґрунтоцементу приладом «Онікс-2,5»

За даними цих вимірювань побудовані графіки (рис. 4) зміни твердості ґрунтоцементу в залежності від зміни швидкості обертань бурозмішувача (див. рис. 4,а) та при зміні швидкості лінійного руху (див. рис. 4,б).

Досліджувалась також призмova міцність на стиск по довжині ГЦЕ на ділянках зміни технологічних параметрів. Для цього на відповідних ділянках полою коронкою відбиралися циліндричні моноліти з яких виготовлялися дослідні зразки і досліджувались на стиск на гідравлічному пресі (рис. 5). На рис. 6 показаний графік розподілу призмової міцності на стиск по довжині ГЦЕ при різних технологічних параметрах.

Аналіз наведених графіків вказує на загальну тенденцію зміни відповідних характеристик механічних властивостей ґрунтоцементу при зміні технологічних параметрів при утворенні ГЦЕ, а саме: а) зі збільшенням швидкості обертань бурозмішувача на всіх етапах твердіння ґрунтоцементної суміші рівень механічних характеристик збільшується; б) при підвищенні лінійної швидкості значення характеристик навпаки зменшується, що свідчить про погіршення умов бурозмішування.

Результати даних досліджень використані при розробці рекомендацій по раціональному вибору технологічних рішень горизонтального армування ґрунтів.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

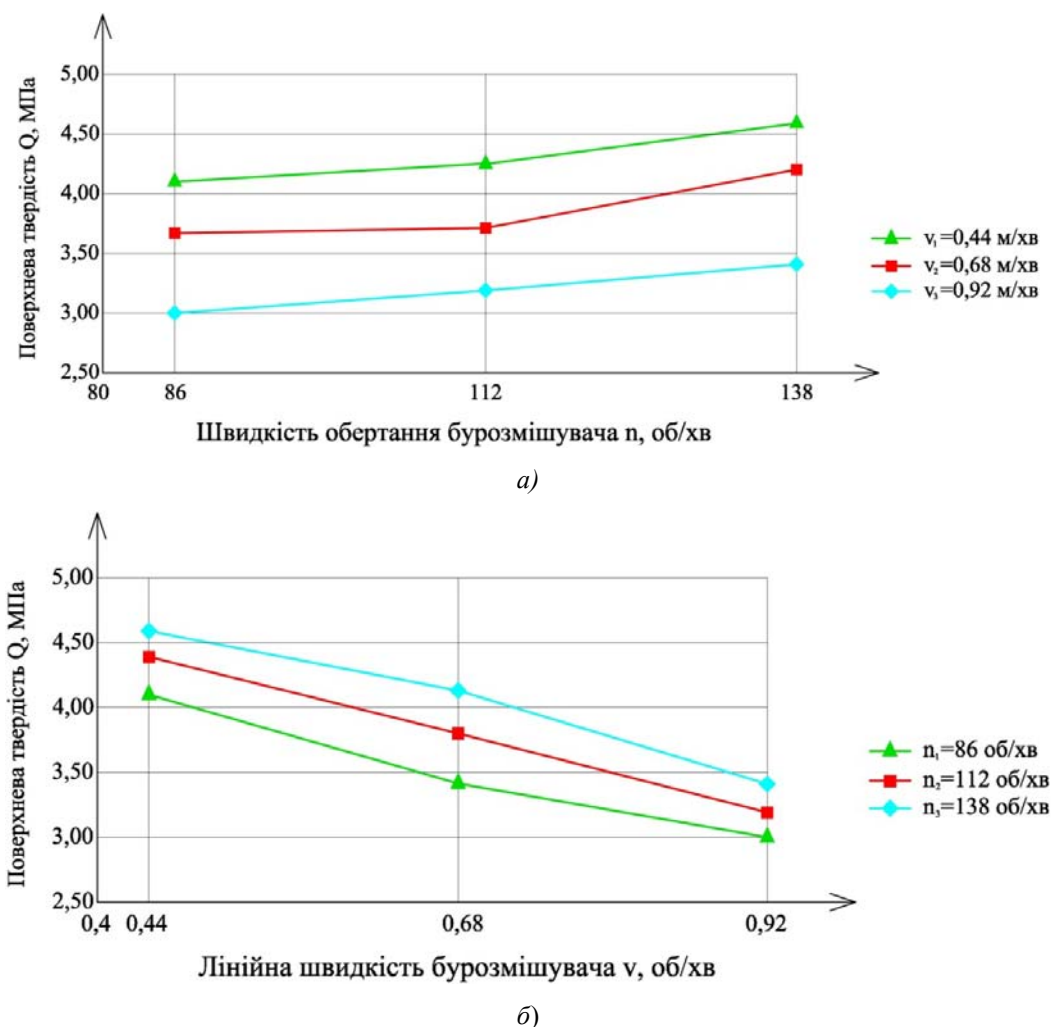


Рис. 4. Графіки зміни поверхневої твердості в залежності від зміни швидкостей бурозмішувача (через 28 діб твердіння): *а* – обертального руху; *б* – лінійного руху



а)



б)



в)

Рис. 5. Дослідження призмової міцності ГЦЕ:
а – процес відбору монолітів з ГЦЕ; *б* – відібрані та підготовлені зразки для випробування;
в – гідравлічний прес та зруйнований зразок

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

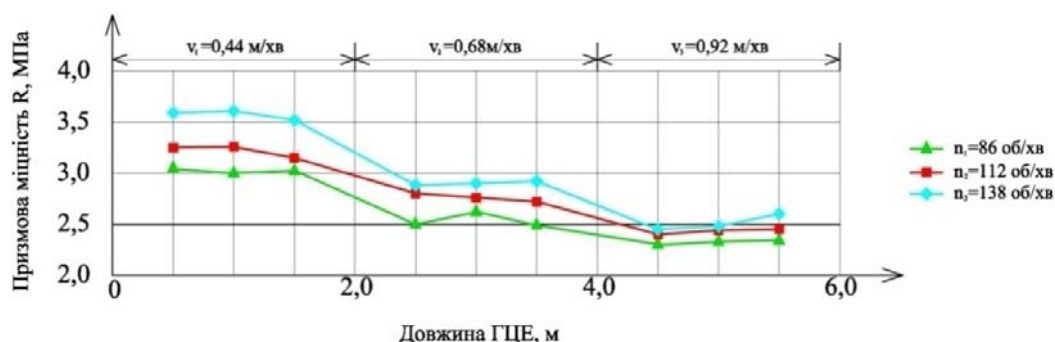


Рис. 6. Графік зміни призмової міцності по довжині ГЦЕ при зміні лінійної та обертальної швидкостей бурозмішувача (у віці 35 діб твердіння)

В процесі даних досліджень встановлено, що на відміну від природної структури ґрунтів, де анізотропія досягає суттєвих значень, анізотропія ґрунтоцементу в ГЦЕ нівелюється – призмova міцність зразків, відібраних в поздовжньому і поперечному напрямках в одних і тих же зонах (торцевих) ГЦЕ, має практично ідентичне значення – відповідно 3,52 і 3,54 МПа, що свідчить про ізотропність ґрунтоцементу.

Наукова новизна та практична значимість

За результатами роботи встановлена залежність зміни механічних характеристик ґрунтоцементу від зміни технологічних параметрів їх утворення. Результати досліджень забезпечують можливість встановлення раціональних технологічних режимів підсилення основ споруд для отримання необхідних характеристик ґрунтоцементних армоелементів.

Висновки

1. Процес бурозмішування зруйнованого та подрібненого ґрунту із водоцементним розчином залежить від ступеню подрібнення зруйнованого ґрунту, тому розглянуто питання технології різання ґрунту новою трилопатевою конструкцією бурозмішувача.

2. На якість утворення горизонтальних ГЦЕ впливають технологічні чинники – швидкість обертання робочого органу – бурозмішувача та швидкість його лінійного переміщення. Встановлено, що механічні характеристики ґрунтоцементу підвищуються зі збільшенням обертання і навпаки зменшуються при збільшенні лінійної швидкості, що вказує на погіршення умов бурозмішування.

3. Експериментально встановлено, що анізотропія ґрунтоцементу в горизонтальних ГЦЕ

нівелюється внаслідок корінної зміни структури ґрунту при руйнуванні, перемішуванні зруйнованого ґрунту із водоцементною суспензією та твердіння суміші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зоценко, М. Л. Досвід і перспективи підсилення основ вертикальними ґрунтоцементними елементами у міському будівництві [Текст] / М. Л. Зоценко, Ж. М. Бовкун, В. І. Маляренко // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 6. – С. 24-28.
2. Петренко, В. И. Обоснование параметров химического закрепления грунтов при строительстве Киевского метрополитена [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2013. – Вип. 4. – С. 60-66.
3. Shibasaki, M. State of Practice of Jet Grouting [Text] / M. Shibasaki // Grouting and Ground Treatment: Proceedings of the Third International Conference. New Orleans, Louisiana, 2003, Volume 1, pp. 198-217.
4. Степура, И. В. Горизонтальное армирование грунтов в основаниях зданий [Текст] / И. В. Степура, В. С. Шокарев, А. В. Павлов, Р. В. Самченко, С. И. Степура // Міжвідомчий наук.-техн. зб. Наук. Праця (будівництво). – Київ : НДІБК, 2007. – Вип. 66. – С. 117-122.
5. Крысан, В. И. Армирование насыпи подходов земляного полотна к путепроводу ґрунтоцементными сваями [Текст] / В. И. Крысан, В. В. Крысан // Будівельні конструкції : міжвід. наук.-техн. зб. – Київ : НДІБК, 2007. – Вип. 66. – С. 204-211.
6. Harris, R. R. W. Construction of a jet mix cut-off of Thika Dam. Kenya. [Текст] / R. R. W. Harris, J. Morey // Proc. Conf. Grouting in the Ground. Bell A. L. Ed. Lust. Of Civil Engineers, London, 2004, pp. 155-171.
7. Великодний, Ю. Й. Зміна характеристик міцності ґрунтів при їх закріпленні за допомогою це-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- ментації [Текст] / Ю. Й. Великодний, М. Л. Зощенко, І. І. Карцева, А. М. Ягольник // Будівельні конструкції : міжвід. наук.-техн. зб. – Київ : НДІБК, 2008. – Вип. 71. – кн. 2. – С. 51-60.
8. Петренко, В. Д. Дослідження підвищення несучої здатності земляного полотна для швидкісного руху потягів [Текст] / В. Д. Петренко, В. П. Купрій, М. А. Лісневський, В. М. М. Алхдур // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 2. – С. 50-55.
 9. Менайлюк, А. І. Методика експериментальних досліджень устійності откосів, армірованих геотекстильними матеріалами [Текст] / А. І. Менайлюк, А. В. Федорук // Ресурсоєкономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2006. – № 14. – С. 415–420.
 10. Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії [Текст]: ЦП-0203 Затв.: Наказ Мінтрансу та зв'язку України від 25.12.2008, № 557-ЦЗ / Мін-во трансп. та зв'язку України. – Київ, 2009. – 44 с.
 11. Саурин, А. Н. Основания фундаментов – шпальный распределитель [Текст] / А. Н. Саурин, Ю. А. Багдасаров // Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. – Москва, 2000. – С. 80-83.
 12. Губкин, В. А. Усиление оснований и фундаментов при реконструкции зданий и сооружений [Текст] / В. А. Губкин, Н. Б. Соловьев, В. Г. Голиков // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – Київ : НДІБК, 2008. – Вип. 53. Кн. 1. – С. 89-94.
 13. Бартоломей, А. А. Технология усиления оснований фундаментов с помощью управляемых пневмопробойников [Текст] / А. А. Бартоломей, Л. В. Янковский // Устройство и усиление фундаментов с улучшением строительных свойств грунтов оснований. Пенза, ПДЭНТЗ, 1991. – 132 с.
 14. Юхименко, А. И. О проблемах реконструкции зданий и способах их решения [Текст] / Р. В. Самченко, Л. В. Щербина, И. В. Степура, А. И. Юхименко // Известия вузов. Строительство – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – Вип. 9(657) – С.115-122.
 15. Пат. 73029 UA, МПК E02D 3/12 (2006.01). Бурозмешувальне долото: / І. В. Степура, Р. В. Самченко, В. С. Шокарев, А. І. Юхименко, С. І. Степура (UA); заявник і патентовласник Запорізька державна інженерна академія (UA). – № u 201201856; заявл. 20.02.12; опубл. 10.09.12, Бюл. № 17. – 6 с.

А. И. ЮХИМЕНКО*

* Кафедра «Промышленного и гражданского строительства», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (095) 447 13 65, эл. почта winner.wcar@gmail.com, ORCID 0000-0003-4231-9602

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ АРМОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ ПО БУРОСМЕСИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Цель. Исследовать процесс образования горизонтальных грунтоцементных армоэлементов и выявить влияние вращательного и линейного движений рабочего органа – буросмесителя на формирование характеристик грунтоцемента. **Методика.** Устройство экспериментальных горизонтальных грунтоцементных армоэлементов выполнено по буросмесительной технологии. Исследовано влияние технологических факторов на процесс образования горизонтальных грунтоцементных армоэлементов и на формирование механических характеристик грунтоцемента. Исследование механических характеристик выполнялось неразрушающим ударно-импульсным методом. **Результаты.** Для обеспечения возможности исследовать влияние технологических факторов на формирование механических характеристик односкоростной станок горизонтального бурения усовершенствован оснащением станка тремя скоростями вращательного и линейного движений трехлопастного буросмесителя новой конструкции. При устройстве горизонтальных грунтоцементных армоэлементов в укрепляемой толще грунта на разных участках по длине, буросмесителю задавали различные технологические параметры. После 7 суток твердения грунтоцементной смеси армоэлементы вскрывались и через каждые 7 суток дальнейшего твердения исследовались. **Научная новизна.** Установлена зависимость изменения механических характеристик грунтоцемента от изменения технологических параметров их устройства. **Практическая значимость.** Результаты исследований обеспечивают возможность выбора ра-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

циональных технологических режимов усиления оснований сооружений для получения необходимых характеристик грунтоцементных армоэлементов.

Ключевые слова: технология усиления оснований грунтов; армирование грунта; грунтоцемент; технологические факторы; ударно-импульсный метод; рациональные параметры

A. I. YUKHYMENKO*

* Department of Industrial and Civil Construction, Zaporizhzhya State Engineering Academy, Soborny Ave., 226, Zaporizhzhya, Ukraine, 69006, tel. +38 (095) 447 13 65, e-mail winner.wcar@gmail.com, ORCID 0000-0003-4231-9602

INVESTIGATION OF FORMATION OF HORIZONTAL REINFORCING ELEMENTS FOR CONSTRUCTION BASE STRENGTHENING BY SOIL-MIXING TECHNOLOGY

Purpose. Explore the process of formation of horizontal grouting reinforcing elements ceps and reveal the influence of rotational and linear movement of the working body – soil mixer under formation soil-cement characteristics. **Methodology.** The formation of experimental horizontal soil-cement reinforcing elements performed by soil-mixing technology. The influence of technological factors on the formation of horizontal soil-cement reinforcing elements and the formation of the mechanical characteristics of soil-cement. Investigation of mechanical characteristics performed by nondestructive shock pulse method. **Findings.** To be able to investigate the influence of technological factors on the mechanical properties of single-speed machine horizontal drilling machine equipment improved three-speed rotary and linear motions three-bladed soil-mixer new design. The formation of horizontal soil-cement reinforcing elements in the thicker soil was at different locations along the length soil-mixer set various process parameters. After 7 days of hardening mixture of soil-cement reinforcing elements were opened and every 7 days of hardening were investigated further. **Originality.** Established the dependence of the mechanical characteristics of soil-cement from changes of technological parameters. **Practical value.** The research results provide a choice of rational technological modes for strengthening structures bases for obtaining the necessary characteristics soil-cement reinforcing elements.

Keywords: technology of soil base strengthening; reinforcement of soil; soil-cement; technological factors; shock pulse method; rational parameters

REFERENES

1. Zocenko M. L., Bovkun Zh. M., Maljarenko V. I. Dosvid i perspektyvy pidsylennja osnov vertykal'nymy gruntocementnymy elementamy u misjkomu budivnytvi [Experience and perspectives of strengthening the foundations rrontotsementnymy vertical elements in city building]. *Beton i zhelezobeton v Ukraine – Concrete and reinforced concrete in Ukraine*, 2006, no 6, pp. 24-28.
2. Petrenko V. I., Petrenko V. D. Obosnovanie parametrov khimicheskogo zakrepleniya gruntov pri stroitelstve Kievskogo metropolitena [Grounding of parameters of soils chemical grouting by kyiv underground construction]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2013, issue 4, pp. 60-66.
3. Shibazaki, M. State of Practice of Jet Grouting. *Grouting and Ground Treatment: Proceedings of the Third International Conference*. New Orleans, Louisiana, 2003, vol. 1, pp. 198-217.
4. Stepura I. V., Shokarev V. S., Pavlov A. V., Samchenko R. V., Stepura S. I. Gorizontalne armirovanie gruntov v osnovaniyakh zdaniy [Horizontal reinforcement of soils in the foundations of buildings]. *Mizhvidomchyj naukovy-zbirnyk naukovykh pracj (budivnytvo)*. Kyjiv, 2007, issue 66, pp. 117-122.
5. Krysan V. I., Krysan V. V. Armirovanie nasypi podkhodov zemlyanogo polotna k puteprovodu gruntocementnymi svayami [Reinforcement of embankment approaches to the overburden with overland cement piles]. *Budiveljni konstrukciji. Mizhvidomchyj naukovy-zbirnyk*. Kyjiv, 2007. Issue 66. – pp. 204 – 211.
6. Harris, R.R. W. Construction of a jet mix cut-off of Thika Dam. Kenya. Proc. Conf. Grouting in the Ground. Bell A. L. Ed. *Lust. Of Civil Engineers*, London, 2004, pp. 155-171.
7. Velykodnyj Ju. J., Zocenko M. L., Karceva I. I., Jagholjnyk A. M. Zmina kharakterystyk micnosti gruntiv pry jikh zakriplenni za dopomoghoju cementaciji [Changing the strength characteristics of soils when they consolidate using grouting] / *Budiveljni konstrukciji. Mizhvidomchyj naukovy-zbirnyk*. Kyjiv, 2008, issue 71. vol. 2, pp. 51-60.
8. Petrenko V. D., Kuprij V. P., Lisnevsjkyj M. A., Alkhdur V. M. M. Doslidzhennja pidvyshhennja nesuchoji zdatnosti zemljanogho polotna dlja shvydkisnogho rukhu potjaghiv [Investigation of carrying capacity increase

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- roadbed for fast train]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 2, pp. 50-55.
9. Menevlyuk A. I., Fedoruk A. V. Metodika eksperimentalnykh issledovaniy ustoychivosti otkosov, armirovannykh geotekstilnymi materialami [he technique of experimental studies of the stability of slopes reinforced with geotextile materials]. *Resursoekonomni materialy, konstrukciji, budivli ta sporudy – Resursoekonomni materials, constructions and buildings*, 2006, no 14, pp. 415-420.
 10. *СР -0203. Pravyla ulashtuvannja osnovnoji ploshhadky zemljanogho polotna pry vykonanni kapitalnogho remontu ta modernizaciji koliji* [Rules arrangement subgrade main platform while performing overhaul and modernization of the track]. Kyjiv, 2009. 44 p.
 11. Saurin A. N., Bagdasarov Yu. A. Osnovaniya fundamentov – shpalnyy raspredilitel [Foundation bases - sleeper distributor]. *Trudy mezhdunarodnogo seminaru po mekhanike gruntov, fundamentostroeniyu i transportnym sooruzheniyam*. Moscow, 2000 pp. 80-83.
 12. Gubkin V. A., Solovjev N. B., Golikov V. G. Usilenie osnovaniy i fundamentov pri rekonstruktsii zdaniy i sooruzheniy [Strengthening the foundations and foundations in the reconstruction of buildings and structures]. *Budivelni konstrukciji. Mizhvidomchyy naukovno-tekhnichnyj zbirnyk*. Kyjiv, 2008, issue 53, vol. 1. pp.89-94.
 13. Bartolomey A. A., Yankovskiy L. V., Tekhnologiya usileniya osnovaniy fundamentov s pomoshchyu upravlyaemykh pnevmoproboynikov [Technology of reinforcing foundations of foundations with the help of controlled pneumatic punchers.] *Ustroystvo i usilenie fundamentov s uluchsheniem stroitelnykh svoystv gruntov osnovaniy* [Arrangement and reinforcement of foundations with improvement of building properties of base soils]. Penza, 1991. 132 p.
 14. Yukhimenko A. I., Samchenko R. V., Shcherbina L. V., Stepura I. V., O problemakh rekonstruktsii zdaniy i sposobakh ikh resheniya [On the problems of reconstruction of buildings and methods for their solution.] / *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo – Proceedings of high schools. Building*. Novosibirsk, 2013, issue 9(657), pp.115-122.
 15. Pat. 73029 UA, MPK E02D 3/12 (2006.01). Burozmishuvalne doloto: I.V. Stepura, R.V. Samchenko, V.S. Shokarev, A.I. Yukhymenko, S.I. Stepura (UA); zaiavnyk i patentovlasnyk Zaporizka derzhavna inzhenerna akademiia (UA). - № u 201201856; zaiavl. 20.02.12; opubl. 10.09.12, Biul. № 17. 6 p.

Стаття рекомендована до публікації д. т. н., проф. І. Д. Павловим (Україна), д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна).

Надійшла до редколегії 08.12.2016.

Прийнята до друку 26.12.2016.