



### ЮХИМЕНКО АРТЕМ ІГОРОВИЧ

Аспірант, асистент кафедри "Промислового та цивільного будівництва" Запорізької державної інженерної академії.

Основний напрямок наукової діяльності: відновлення деформованих будівель, геотехнології захисту будівель від деформацій, реконструкція об'єктів.

Автор 11 наукових робіт.

E-mail: winner.wcar@gmail.com

УДК 624.138

## ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО АРМУВАННЯ ГРУНТІВ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ БУРОЗМІШУВАЛЬНИМ МЕТОДОМ

*Ключові слова: армування ґрунтів, інноваційні рішення, ґрунтоцементні елементи, основи фундаментів, бурозмішувальний метод.*

*В роботі розглянуті розроблені нові інноваційні рішення та вдосконалені існуючі способи технології горизонтального армування ґрунтів основ фундаментів за бурозмішувальним методом. Досліджений вплив технологічних чинників на процес утворення горизонтальних ґрунтоцементних армоелементів та на формування механічних характеристик. Наведений фрагмент розробленої технологічної карти.*

*В работе рассмотрены разработанные новые инновационные решения и усовершенствованные существующие способы технологии горизонтального армирования грунтов оснований фундаментов по буросмесительному методу. Исследовано влияние технологических факторов на процесс образования горизонтальных армоэлементов и на формирование механических характеристик. Приведен фрагмент разработанной технологической карты.*

*In work we developed new innovative solutions and improve existing methods of horizontal soil reinforcement of foundations on burosmesitelnomu method. The effect of technological factors on the formation of horizontal armoelementov and the formation of the mechanical characteristics. A fragment developed routing.*

**Вступ. Постановка проблеми.** За останні роки в Україні капітальне будівництво скоротилося до мінімальних обсягів, натомість збільшилась кількість деформованих будівель. Тому збереження будівельного фонду в належному стані є пріоритетом у будівельній сфері. Особливо в складному стані знаходиться житловий фонд, який потребує ремонтно-відновлювальних робіт та реконструкції великої кількості об'єктів перших масових серій забудови 50-60-х років милого сторіччя.

Як відновлення експлуатаційної спроможності деформованих та аварійних будівель, такі реконструкція об'єктів пов'язані із необхідністю підсилення основ фундаментів шляхом укріплення ґрунтів. Проблемі укріплення ґрунтів приділяється належна увага. Розроблені відповідні способи та технології покращення характеристик ґрунтів та зміцнення основ, у тому числі армуванням слабких та структурно-нестійких ґрунтів. Армування ґрунтів виконують в різних напрямках, але більшість із них у вертикальному [1]. Для підсилення основ існуючих будівель при усуненні деформацій чи при реконструкції більш ефективно горизонтальне армування.

**Аналіз джерел досліджень і публікацій.** Горизонтальне армування ґрунтів під фундаментами виконується із котловану за межами будівель, чим досягається збереження конструктивних

елементів будівель та можливість безперервної експлуатації об'єктів на період відновлювальних робіт. Горизонтальне армування виконують різними технологіями.

Відомі способи підсилення основ в горизонтальному напрямку підведенням жорстких конструкцій під фундаменти шляхом їх задавлювання в ґрунт основи [2]. Підсилюють основи забиванням ін'єкторів в горизонтальному напрямку і через них нагнітають розчин силікат натрію [3]. Горизонтальне підсилення основ виконують також шляхом застосування пневмопробійників, якими із котловану пробивають горизонтальну свердловину і потім в її порожнині різними технологіями утворюють жорсткий елемент [4]. По різних причинах дані способи не набули широкого впровадження.

В останній час все більш широкого впровадження набуває бурозмішувальний спосіб укріплення ґрунтів шляхом їх армування ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ). Сутність цього способу полягає в змішуванні подрібненого ґрунту із водоцементним розчином.

Для підсилення основ існуючих будівель як при відновленні експлуатаційної спроможності деформованих будівель, так і при реконструкції доцільним і ефективним є горизонтальне армування ГЦЕ, яке вперше застосовано Запорізьким відділенням НДІБК (ЗВ НДІБК), [5], але воно знаходиться на початковому етапі свого розвитку і потребує суттєвого удосконалення.

**Визначення мети досліджень та розробок.** Метою даної роботи є розробка і дослідження нових способів технології горизонтального армування ґрунтів, виявлення резервів підвищення ефективності та вдосконалення існуючої технології.

**Виклад основного матеріалу.**

**Розробка технології горизонтального армування ґрунтів з частковим вийманням ґрунтів.**

Доцільність застосування такої технології обумовлено тим, що ефективним способом усунення деформацій будівель є регулювання жорсткості основи, що доцільно виконувати керованою перфорацією відповідного шару ґрунту основи під фундаментами бурінням горизонтальних свердловин змінних параметрів. Але при цьому відбувається послаблення перфорованого шару ґрунтів, який необхідно укріпити після усунення деформованого стану будівлі (вигину, прогину, крену та ін.).

Концепція такого підходу витікає із наступного. ЗВ НДІБК розроблений ефективний спосіб усунення деформацій будівель, споруд у вигляді кренів шляхом буріння горизонтальних свердловин змінних параметрів, який успішно застосований при вирівнюванні більш ніж 60 нахилених будівель та споруд. В процесі вирівнювання об'єктів горизонтальні свердловини під тиском фундаментів деформуються, переходячи від круглої форми до еліпсоподібної, ґрунт у ціликах між свердловинами та зводах руйнується, заповнюючи порожнини свердловин (рис.1). Такий шар ґрунту під дією тиску фундаментів і додатковому зволоженню ґрунту у ціликах піддається керованій деформації стиснення по закономірності відповідно до зміни параметрів свердловин. Фундаменти при цьому слідує відповідним розрахунковим осіданням із тенденцією набуття горизонтального положення, при якому крен будівлі усувається. Однак немає гарантії,



Рис.1. Деформації горизонтальних свердловин і ціликів ґрунту між ними.

що відбулося рівномірне заповнення деформованої порожнини зруйнованим ґрунтом і, при цьому, якісне його ущільнення у п'ятні будівлі, тим більше, що можливі залишкові порожнини.

Для укріплення перфорованого шару основи нами розроблена технологія горизонтального армування з частковим вийманням ґрунтів (патент України №95511) [6], яка детально описана в роботі [7] і полягає в наступному. На першому етапі бурять свердловини змінних розрахункових параметрів, наприклад, при усуненні поперечного крену – це ступінчаті по довжині (рис.2а). Під дією тиску фундаментів перфорований шар стискається, внаслідок чого будівля підлягає контрнахилу і крен зменшується. На другому етапі необхідно зміцнити перфорований шар основи. Для цього по деформованій та частково заповненій зруйнованим ґрунтом порожнині проходять розро-

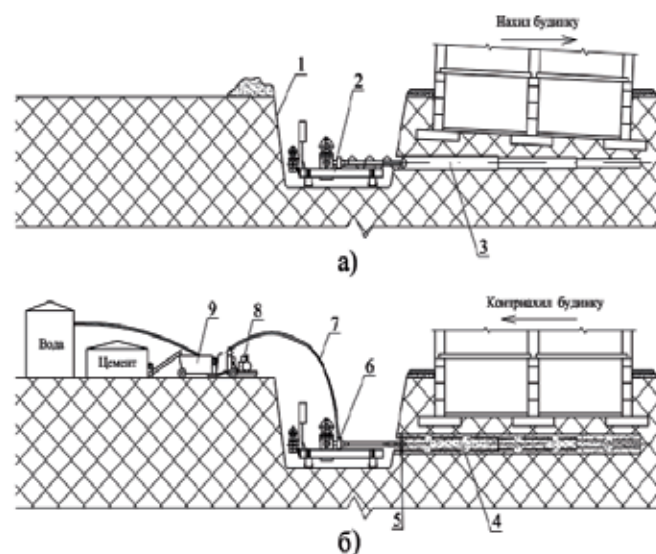


Рис.2. Технологічна схема відновлення деформованої нахиленої будівлі: а) буріння лінійної горизонтальної ступінчатої свердловини при вирівнюванні будівлі; б) утворення горизонтального армуючого ґрунтоцементного елемента при підсиленні основи; 1 – котлован; 2 – станок горизонтального буріння; 3 – горизонтальна ступінчата свердловина; 4 – горизонтальний ґрунтоцементний армоелемент; 5 – розбурювач; 6 – вертлюг; 7 – рукав; 8 – розчинонасос; 9 – розчиномішалка.

бленим нами спеціальним пристроєм (патент України №95510) із роздвигними породоруйнівними ножами у забій свердловини. В процесі проходження бурової коронки до забою свердловини із закритими ножами при її обертанні зруйнований ґрунт в порожнині розпушується. В забої свердловини буровій коронці задають зворотні обертання, при яких породоруйнівні ножі роздвигаются і при зворотному ході руйнують ґрунт поза межами її діаметра. Одночасно в зону зруйнованого ґрунту поступає водоцементна суспензія, яка перемішується із зруйнованим та розпушеним ґрунтом. Частина водоцементної суспензії розходується на заповнення можливих пустот порожнини деформованої свердловини. Перемішана ґрунтоцементна суміш сумісно із цементним розчином, який заповнив можливі пустоти, із часом тужавіє, перетворюється в ґрунтоцемент (рис.26) і таким чином укріплюється перфорований шар основи.

**Удосконалення існуючої технології.**

Технологічні процеси бурозмішування на даний час виконуються однолопатевим бурозмішувачем із плоскою ріжучою пластиною. Це обумовлює ряд суттєвих недоліків: по-перше, великий опір врізанню в ґрунт та проходженню бурозмішувача на потрібну відстань утворення ГЦЕ; по-друге, неякісне подрібнення зруйнованого ґрунту; по-третє, однолопатева пластинчата форма бурозмішувача в залежності від лінійної швидкості може описувати при руйнуванні ґрунту не суцільну циліндричну поверхню, а гвинтоподібну, коли можуть виникати так звані „мертві зони”, в які цементний розчин потрапляє в недостатній кількості або зовсім не потрапляє. Перераховані та інші недоліки негативно впливають на якість армування.

Для усунення вказаних недоліків розроблена та виготовлена нова конструкція трилопатевого бурозмішувача (патент України №73029) [8], яка показана на рис.3. Нижня лопать виконана у вигляді низхідних ребер із твердосплавними пластинами, середня – плоска пластина із поздовжнім та поперечними отворами для витікання розчину, верхня – у вигляді висхідних ребер. Всі лопаті жорстко з'єднані між собою.

Вузким місцем існуючої технології горизонтального армування є недосконалість основного елемента технологічного устаткування – горизонтального бурового станка, який полягає в тому, що станок володіє лише однією швидкістю обертання бурозмішувача і робочою лінійною швидкістю його переміщення. На теперішній час нами сумісно із працівниками ЗВ НДІБК експериментальний станок удосконалений тим, що механізми обертання та осьового переміщення оснащені трьохступінчатими ремінними передачами відповідних редукторів (патент України №101409) [9], які забезпечують виконання технології укріплення ґрунтів однією із трьох можливих швидкостей, що дає можливість вибору раціонального режиму армування в залежності від стану ґрунтів.

**Дослідження процесу руйнування ґрунту.**

Досліджений процес різання ґрунту та встановлена залежність товщини стружки від параметрів руху бурозмішувача. На початковому етапі врізання в товщу

ґрунту і обертання нижньої секції бурозмішувача руйнування ґрунту відбувається у формі конуса (рис.4) із висотою  $h$ , рівною висоті нижньої секції, а діаметр ґрунтового конуса  $d$  має розмір довжини середньої лопаті. За один оберт бурозмішувач занурюється на глибину  $h_i$  і описує елементарну зону руйнування ґрунту з перерізом  $abc$ , де за товщину різання стружки  $\nabla$  прийнятий катет  $ao$ . Параметри різання стружки визначаються із  $\Delta aoc$ :  $\nabla = h_i \cdot \alpha / 2$ , мм; час занурювання нижньої лопаті в ґрунт дорівнює  $t = h/v$ , хв., де  $v$  – осьова швидкість бурозмішувача, мм/хв.; глибина занурювання за один оберт дорівнює  $h_i = v/n$ , мм, де  $n$  – кількість обертів за хв.

По наведеним виразам та геометричним розмірам нижньої лопаті бурозмішувача визначають параметри різання стружки при відповідних швидкостях рухів бурозмішувача, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри різання стружки при відповідних швидкостях бурозмішувача

Висота нижньої лопаті бурозмішувача $h$ , мм	Діаметр середньої лопаті бурозмішувача $d$ , мм	Лінійна швидкість бурозмішувача $v$ , м/хв	Швидкість обертання бурозмішувача $\omega$ , об/хв	Товщина стружки різання ґрунту $\nabla$ , мм
180	300	0,44	86	4,3
		0,68	112	5,1
		0,92	138	5,6

Дані цих досліджень враховані при розробці рекомендацій по раціональному вибору технологічних процесів армування БЗТ.

**Експериментальні дослідження процесу утворення ГЦЕ.**

Проведені дослідження впливу технологічних параметрів – швидкості обертань бурозмішування та його лінійної швидкості на процес утворення горизонтальних ГЦЕ та на формування механічних характеристик. Експериментальні дослідження проводились на дослідній площадці ЗВ НДІБК. В процесі досліджень утворено 3 ґрунтоцементні елементи довжиною по 6м, ділянки яких формувались при різних співвідношеннях лінійної та обертальної швидкостей бурозмішувача при ідентичних витратах цементу (30% від маси ґрунту в сухому стані) і водоцементного відношення

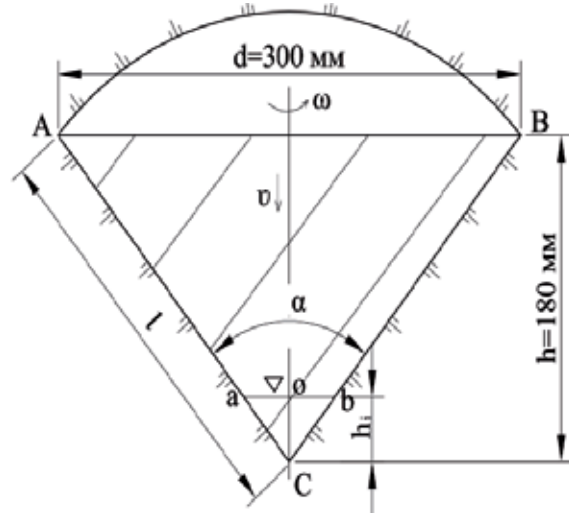


Рис.4. Схема для визначення товщини стружки різання ґрунту.

Дивись рис. 3, 5 на 3 стор. обкладенки

$V/C=0,8$ . Методика формування ГЦЕ та дослідження зміни механічних характеристик викладені у звіті [10].

Через 7 діб твердіння перемішаної ґрунтоцементної суміші ГЦЕ були розкриті (рис.5). Візуальний огляд засвідчив, що вони мають правильну круглу форму без порушень зовнішньої цілісності. Через кожні 7 діб витримки ГЦЕ у вологому стані вони досліджувались методом пенетрації [11] на предмет набору питомого опору зрушенню в часі (рис.6), та зміни в часі твердості ґрунтоцементу неруйнівним ударно-імпульсним методом за допомогою приладу „Онiкс”. На рис.7 показаний графік зміни питомого опору зрушенню у часі твердіння. Аналіз графіка показує, що інтенсивний набір міцності відбувається у перші 7...21 доби, потім інтенсивність зміцнення уповільнюється.

Досліджувалась також призма міцність на стиск по довжині ГЦЕ на ділянках зміни технологічних параметрів. Для цього на відповідних ділянках поперек коронкою відби-ралися циліндричні моноліти з яких виготовлялися дослідні зразки і досліджувалися на стиск на гідравлічному пресі (рис.8). На рис.9 показаний графік розподілу призмової міцності на стиск по довжині ГЦЕ при різних технологічних параметрах.

Аналіз результатів досліджень показав загальну тенденцію зміни відповідних

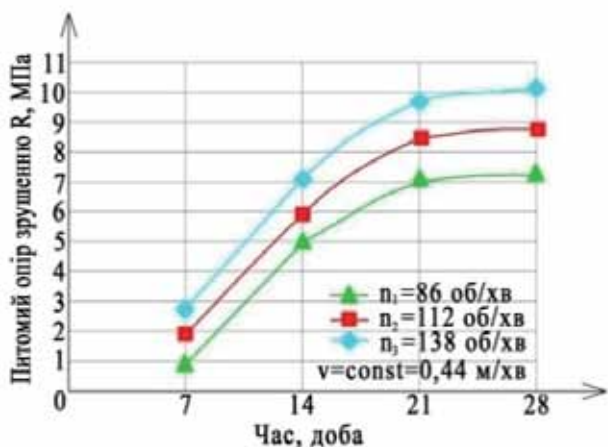


Рис.8. Набір питомого опору зрушенню ГЦЕ у часі.

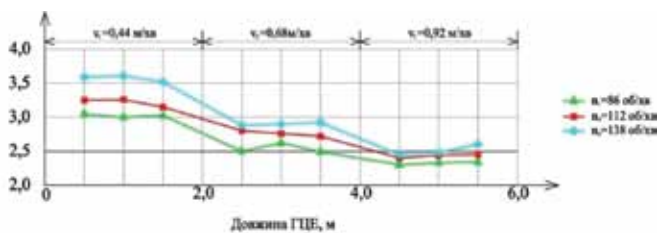


Рис.9. Графік зміни призмової міцності по довжині ГЦЕ при зміні лінійної та обертальної швидкостей бурозмішувача (у віці 35 діб твердіння).

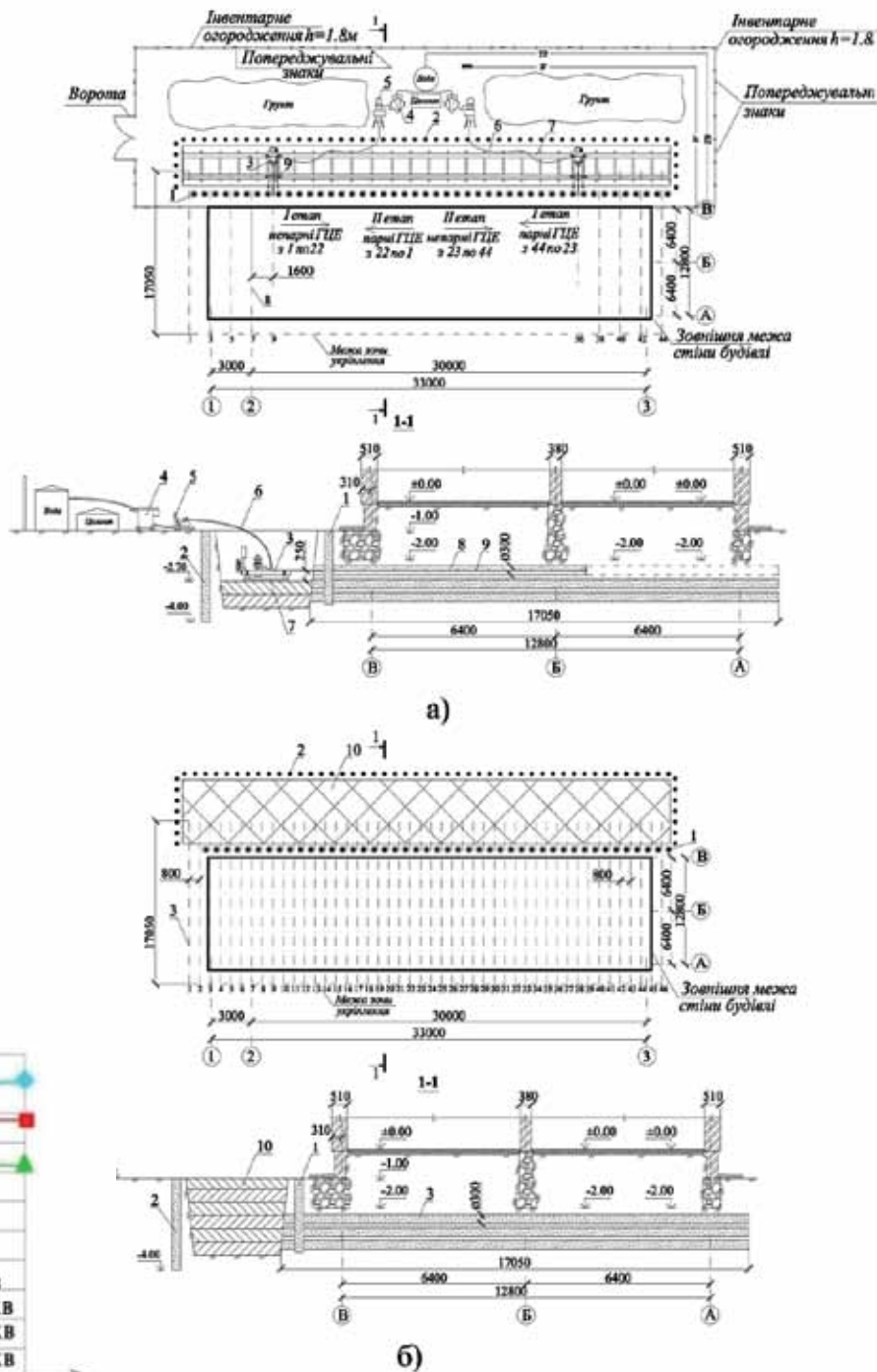


Рис.10. Технологічна схема влаштування рядів горизонтальних ГЦЕ: а) влаштування верхнього ряду ГЦЕ; б) закритий ґрунтом котлован; 1 - вертикальний ГЦЕ підпiрної стiнки; 2- ГЦЕ укрiплення укiсiв котло-ван; 3 - станок горизонтального бурiння; 4 - розчиномiшалка; 5 - розчинонасос; 6 - рукав; 7 - рейковi напрямнi; 8 - горизонтальний ГЦЕ; 9 - буровi.

механічних характеристик ґрунтоцементу на всіх етапах вимірювань: зі збільшенням швидкості обертань бурозмішувача рівень механічних характеристик збільшується, а при збільшенні лінійної швидкості значення характеристик навпаки зменшуються, що свідчить про погіршення умов бурозмішування.

Окрім вказаних вище розробок в процесі роботи над темою дисертації розроблений на рівні

Дивись рис. 6,7 на 3 стор. обкладенки

винаходів ряд інших інноваційних рішень.

### Технологічна карта.

Розроблена технологічна карта на процес горизонтального армування ґрунтів основ будівель за БЗТ у відповідності до вимог нормативних документів та рекомендацій [12]. Технологічна карта містить необхідні відомості для виконавців технологічних процесів. При цьому необхідно мати на увазі, що відновлення деформованих будівель, а також реконструкція будівельних об'єктів часто відбувається в стиснених умовах. В таких ситуаціях котлован чи траншея для влаштування армуючі ГЦЕ повинен мати мінімальні розміри в плані за рахунок зменшення укосів, впритул до вертикальних, та максимальне його приближення до будівлі. Це викликає питання захисту фундаментів від зсувів та стійкості укосів котловану або траншеї. Дане питання загострюється у випадках, коли відновлювальні роботи необхідно виконувати без відселення мешканців, що практично відбувається постійно.

При підсиленні основ будівель горизонтальним армуванням ґрунтів ГЦЕ в залежності від ґрунтових умов та рівня навантаження на основу часто виникає необхідність в утворенні в ґрунтовій товщі під фундаментами декількох рядів (ярусів) армоелементів, що потребує відкопування заглиблених котлованів (траншей). Тому перед відкопуванням заглибленого котловану необхідно влаштувати підпірну стінку фундаментів та виконати укріплення майбутніх укосів котлованів по БЗТ за допомогою станків вертикально-буріння.

Яруси ГЦЕ можна виконувати в напрямках як "зверху-униз", так і навпаки "знизу-уверх". Оскільки стійкість фундаментів і укосів котловану забезпечуються влаштуванням вертикальних ГЦЕ, то більш

технологічним є напрямок влаштування "знизу-уверх". Фрагмент технологічної карти показаний на прикладі влаштування 3 ярусів проектних ГЦЕ (рис.10). В першу чергу влаштовують нижній ряд ГЦЕ способами, наведеними вище. Після утворення нижнього ряду станки горизонтального буріння і рейкові напрямні демонтуються, котлован частково засипається ґрунтом із ущільненням, вийнятим при його відкопуванні. При цьому, "нове" дно підіймається на 300...500 мм (по проекту), монтується знову обладнання і утворюються в аналогічному порядку інші ряди ГЦЕ. По закінченню влаштування всіх ярусів (рядів) обладнання демонтується, котлован повністю засипається пошарово із ущільненням ґрунту до  $\rho_d = 1.6 \text{ т/м}^3$ . Окрім того, в технологічній карті наведений лінійний графік виконання робіт по влаштуванню 3 ярусів ГЦЕ.

### ВИСНОВКИ:

1. Розроблена нова технологія горизонтального армування основ з частковим вийманням ґрунтів, яка застосована для зміцнення перфорованого шару основи на ряді об'єктів після усунення деформаційних нахилів.
2. Удосконалена існуюча технологія горизонтального армування основ фундаментів без виймання ґрунтів при утворенні ґрунтоцементних армоелементів шляхом розробки ряда інноваційних рішень.
3. Експериментально досліджений вплив технологічних факторів на процес горизонтального армування ґрунтів і формування механічних характеристик ґрунтоцементу.
4. Розроблена технологічна карта влаштування горизонтальних ґрунтоцементних елементів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зоценко М.Л., Бовкун Ж.М., Маляренко В.І. Досвід і перспективи підсилення основ вертикальними ґрунтоцементними елементами у міському будівництві. // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – №6. – С.24 – 28.
2. Саурин А.Н., Багдасаров Ю.А. Основания фундаментов – шпальный распределитель. // Труды международного семинара по механике ґрунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. – М.2000. – С.80 – 83.
3. Губкін В.А., Соловьев Н.Б., Голиков В.Г. Усиление оснований и фундаментов при реконструкции зданий и сооружений. // Будівельні конструкції: зб.наук.праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 53. Кн.1. – С.89 – 94.
4. Вараница А.В., Бойко В.Б. и др.. Об использовании пневмопробойников при усилении оснований фундаментов. // Будівельні конструкції, №53. – кн.2. – К.: НДІБК, 2000. – С.43 – 49.
5. Степура И.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Павленко В.П. Горизонтальное армирование ґрунтов в основаниях зданий. / И.В.Степура, В.С.Шокарев, А.В.Павлов, В.П.Павленко // Міжвідомч. наук.-техн. зб. / Армування гр-в при буд-ві, рекон., захисті буд. та спор. - К.:НДІБК.-2001.-Вип.55. - С.138-140.
6. Спосіб укріплення ґрунтів армуванням: Патент України №95511, E02D 3/12, / Юхименко А.І., Павлов І.Д. (Україна) - u2014 07847; Заява 11.07.2014; Опубл. 25.12.2014, Бюл. №24. – 2014. – 2с.
7. Про комплексні технології відновлення деформованих будівель та споруд, які зазнали кренів/ Самченко Р.В., Юхименко А.І. // Містобудування та територіальне планування:Наук.-техн. збірник/– К.: КНУБА, 2015. – Вип. 55. – С. 359-367.
8. Бурозмішувальне долото: Пат. України №73029, E02D3/12, /Степура І.В., Самченко Р.В., Шокарев В.С., Юхименко А.І., Степура С.І. (Україна) - №201201856; Заява 20.02.2012; Опубл. 10.09.2012, Бюл. №17. – 2012. – 4с.
9. Установка для горизонтальної проходки в ґрунтах: Патент України №101409, E21B 3/00, /Самченко Р.В., Юхименко А.І., Шокарев В.С., Степура І.В., Степура С.І. (Україна) – u2015 02596; Заява 23.03.2015; Опубл. 10.09.2015, Бюл. №17. – 2015. – 3с.
10. Звіт про науково-дослідну роботу // Експериментальне дослідження впливу технологічних факторів на процес формування горизонтальних ґрунтоцементних армуючих елементів, наказ №20-ОД від 26 серпня 2014р.; ЗВ НДІБК, м. Запоріжжя, 2014 р.,44с.
11. Разоренов В.Ф. Определение строительных свойств ґрунтов методами пенетрации и вращательного среза. Киев. Будивельник. 1966.г. 138 с.
12. Сучасні технології реконструкції та ремонту будівель методом горизонтального буріння. Методичні вказівки для розробки технологічних карт. Менейлюк О.І., Галушко В.О. Одеса: ОДАБА, 2015.

**РИСУНКИ ДО СТАТТІ А. Юхименко «ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО АРМУВАННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ ЗА БУРОЗМІШУВАЛЬНИМ МЕТОДОМ»**



**Рис. 3.** Бурозмішувач нової конструкції.



**Рис. 5.** Розкриті ґрунтоцементні елементи.



а)



б)

**Рис. 6.** Дослідження питомого опору зрушенню: а) пенетрометр МВ-2; б) процес вимірювання.



а)



б)



в)

**Рис. 7.** Дослідження призмової міцності ґрунтоцементних елементів (ГЦЕ): а) процес відбору монолітів з ГЦЕ; б) відібрані та підготовлені зразки для випробування; в) гідравлічний прес та зруйнований зразок.