

## **О МЕТОДИКЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВ БУРОСМЕСИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ**

**Юхименко А.И., Самченко Р.В.**

Запорожская государственная инженерная академия  
г. Запорожье, Украина

**Шокарев А.В., Степура С.И.**

Запорожское отделение ГП «Государственный научно-  
исследовательский институт строительных конструкций»  
г. Запорожье, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Розглянуто питання контролю якості армування ґрунтів основ бурозмішувальною технологією в важкодоступних місцях – під фундаментами в плямі деформованих будівель при їх відновленні.

**АННОТАЦИЯ:** Рассмотрен вопрос контроля качества армирования грунтов оснований буросмесительной технологией в труднодоступных местах – под фундаментами в пятне деформированных зданий при их восстановлении.

**ABSTRACT:** Рассмотрен вопрос контроля качества армирования грунтов оснований буросмесительной технологией в труднодоступных местах – под фундаментами в пятне деформированных зданий при их восстановлении.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** контроль качества, армирование грунтов, деформации, буросмесительная технология, акустический метод.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В Украине большая часть территории (около 80%) занимают грунты, сложные для строительства на всех этапах инвестиционного периода. Коварство слабых и структурно-неустойчивых грунтов особенно сказывается на этапе эксплуатации, когда здания и сооружения подвергаются суще-

ственным деформациям различных видов – кренам, прогибам, выгибам, кручениями т.д. Непринятие срочных мер по предупреждению их развития приводит к серьёзным последствиям вплоть до повреждения конструкций, а иногда до разрушений зданий или их частей.

Изложенное выше в основном обусловливается неравномерными деформациями оснований через ухудшение свойств грунтов. Учитывая масштабность таких явлений, существует достаточное количество различных способов стабилизации деформаций оснований, которые базируются на разных принципах и технологиях улучшения качества грунтов – химическое [1], термическое укрепление [2] грунтов, цементация в различных вариантах [3], армирование оснований различными технологиями [4] и др., которые применяются как в капитальном строительстве, так и при защите повреждённых зданий и сооружений от дальнейших деформаций. Эффективность применения этих способов во многом обусловливается качеством исполнения применяемых мероприятий. Поэтому контроль качества применяемых технологий, особенно для защиты поврежденных зданий от дальнейших деформаций, имеет весьма важное значения. Этот вопрос существенно усложняется с учётом выполнения контроля в труднодоступных местах и чаще в недоступных – под фундаментами в пятне деформированных зданий.

**Цель данной работы** - разработка методики контроля качества армирования грунтов горизонтальными грунтоцементными элементами при усилении оснований деформированных зданий и при реконструкции объектов.

## **МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАННЫХ ГЦЭ**

В последние годы все чаще используется технология усиления оснований армированием грунтов по бурсмесительному способу, который заключается в следующем. При помощи бурового станка специальным устройством – бурсмесителем разрушается структура грунта. Разрушенный грунт пропитывается водоцементным раствором, грунтоцементная смесь бурсмесителем тщательно перемешивается, с течением времени схватывается, твердеет и превращается в грунтоцементный армирующий элемент, который не размокает в воде. Перечисленные операции бурсмешивания выполняются одновременно.

Эффективность этой технологии заключается в низких материало-, машино-, энергоёмкости. При армировании грунтов этой технологией используется лишь 15...20% цемент, остальные 80...85% тот же грунт, который укрепляется. Укрепление грунтов бурсмесительной технологией (БСТ) применяется в разных направлениях – вертикальном, наклонном и горизонтальном в зависимости от применяемых буровых станков. Верти-

кальное армирование применяется чаще в капитальном строительстве для подготовки оснований зданий, сооружений [5], а также для укрепления откосов склонов, насыпей, выемок. Горизонтальное армирование грунтов буромесительной технологией весьма эффективно применяется для усиления оснований деформированных и аварийных зданий при их восстановлении [6].

Эффективность армирования грунтов зависит от многих факторов, одним из которых является качество устройства грунтоцементных армоэлементов (ГЦЭ) по БСТ. Это прежде всего качество буромесительных технологических процессов – толщина стружки резания грунта, степень измельчения разрушенного грунта, степень пропитывания измельчённого грунта водоцементным раствором, качество перемешивания грунтоцементной смеси и др. Разграничить степень влияния каждого отдельно взятого технологического процесса весьма сложно, поэтому была экспериментально опробована методика опосредственной интегральной оценки качества ГЦЭ.

Основными параметрами контроля качества горизонтальных ГЦЭ армоэлементов являются фактическая длина, сплошность ствола, степень распределения характеристик грунтоцемента по сечению и длине ГЦЭ, прочностные и жесткостные свойства.

На экспериментальной площадке были устроены 3 опытные ГЦЭ длиной по 6 м [7]. После 28 суток твердения ГЦЭ были вскрыты. Визуальный осмотр показал, что они имеют правильную круглую форму с диаметром, соответствующим поперечному размеру буромесителя – 300 мм без нарушения целостности по всей длине. Степень распределения характеристик – в данном случае твёрдости грунтоцемента, определяли ударно-импульсным методом с использованием прибора „Оникс 2,5”. Прибор состоит из электронного блока (рис. 1, а) и склерометра. На рис. 1, б показан процесс измерения твёрдости грунтоцемента по длине армоэлемента. Методика измерений твёрдости заключается в следующем. Индикатором склерометра наносится удар усилием пружины прибора по измеряемой поверхности. При ударе преобразователь вырабатывает сигнал, пропорциональный твёрдости материала, который регистрируется электронным блоком в мПа. На рис.2 показана методика контроля распределения твёрдости по сечению ГЦЭ во взаимоперпендикулярных направлениях при содержании цемента в грунтоцементной смеси в количестве 30% от массы грунта в сухом состоянии. На рис. 2 а, б показана подготовленная поверхность поперечного сечения и разметка мест для измерения твёрдости, на рис. 2, в – графики распределения твёрдости во взаимоперпендикулярных направлениях по сечению. Анализируя результаты исследований можно сделать выводы – разность твёрдости грунтоцемента в двух направлениях не превышает 5%. Это даёт возможность утверждать, что вследствие буро-

смесительных процессов происходит преобразование природного грунта от анизотропного до изотропного состояния, что является следствием равномерного распределения цементных частиц по сечению. Равномерное распределение цементных частичек по сечению ГЦЭ обеспечивается разработанной нами новой конструкцией буросмесителя [8].



а)

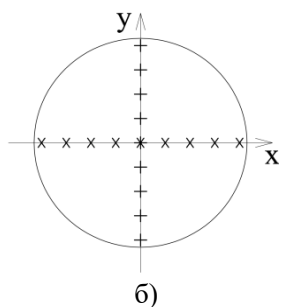


б)

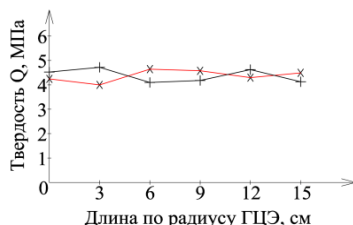
Рис. 1. Ударно-импульсный метод определения твёрдости грунтоцемента:  
а – общий вид прибора "Оникс-2,5";  
б – процесс измерения твёрдости по длине ГЦЭ



а)



б)



в)

Рис. 2. Распределение твёрдости грунтоцемента по сечению ГЦЭ:  
а - подготовленная торцевая поверхность к исследованию твердости;  
б - точки измерений твердости в направлениях по осям  $x$ ,  $y$ ;  
в - средневзвешенное распределение твердости ГЦЭ в горизонтальном и вертикальном направлениях по сечению

Важную роль имеют сведения о прочностных и деформационных характеристиках грунтоцемента и их распределения по длине ГЦЭ, а также информация о сплошности их ствола.

При исследовании этих вопросов ставилась двойная задача. Во-первых - получить данные о свойствах ГЦЭ, во-вторых - проверить возможность и адекватность применения способа контроля сплошности ствола горизонтальных ГЦЭ акустическим методом. Для реализации указанного подхода была применена следующая методика исследований. Алмазной пустотелой коронкой с определённым шагом по длине ГЦЭ отобраны монолиты грунтоцемента, из которых изготовлены цилиндрические образцы, испытанные на гидравлическом прессе на сжатие (рис. 3). По результатам испытаний определены призмная прочность и модуль деформации, которые составили соответственно  $R_n=3,6...3,8\text{ МПа}$  и  $E=400...450\text{ МПа}$ . Этими же исследованиями установлено, что нарушения сплошности в местах отбора монолитов не зафиксировано. Этот способ контроля имеет дискретный характер оценки неразрывности ствола ГЦЭ. Для более объективной оценки неразрывности ствола ГЦЭ и его длины отработан акустический метод с применением программного комплекса РИТ-В, разработанного в США и освоенного в ЗО НИИСК [9].

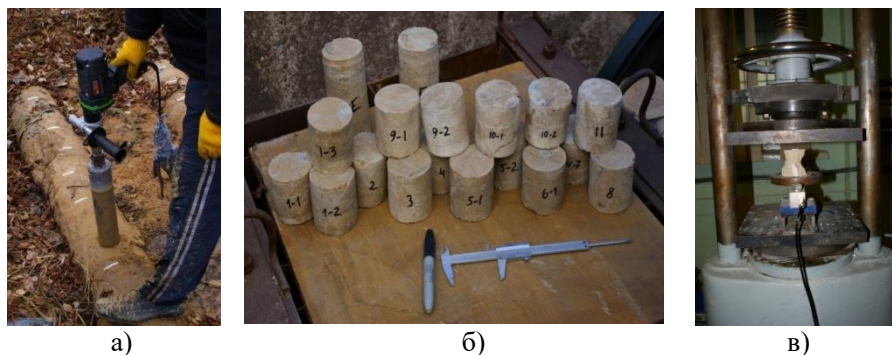


Рис. 3. Исследование призмной прочности и сплошности ГЦЭ:  
а - процесс отбора монолитов с ГЦЭ; б - отобранные и подготовленные образцы для испытаний; в - гидравлический пресс та разрушенный образец

Прибор РИТ-В основан на использовании метода отражённых импульсов. Вначале посылают импульс, нанося лёгкий удар по торцевой поверхности ГЦЭ. Для этого используют специальный ручной молоток (рис. 4). В результате акустическая волна, вызванная импульсом, распространяется вдоль армозлемента. Отражённые волны фиксируются при помощи датчика вибраций (акселерометра), установленного на торцевой поверхности ГЦЭ. Сигнал вибрации преобразуется в графический и цифровой показатель формы и длины, которые отображаются на приборе и

хранятся в его памяти. При необходимости анализа результатов образования ГЦЭ производится распечатка данных. Произведёнными испытаниями установлено, что длина ГЦЭ соответствует фактической величине, нарушение сплошности ствола не зарегистрировано.



Рис. 4. Исследование сплошности ствола ГЦЭ: а - общий вид программно-технического комплекса РИТ-В; б - процесс проверки сплошности ГЦЭ

## ВЫВОДЫ

1. Приведены результаты экспериментально отработанной (проверенной) методики контроля качества образованных ГЦЭ при армировании грунтов усиления оснований буросмесительной технологией.

2. Акустические неразрушающие методы контроля качества обеспечивают устанавливать степень распределения грунтоцементных частиц по сечению, что соответствует распределению механических характеристик, т.е. проверять наличие "мертвых зон" или их отсутствие, а также проверять длину и сплошность ствола ГЦЭ, проводя исследование из котлована (траншеи) из которых устраивались ГЦЭ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве / Б.А. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 44 с.
2. Степура И.В. Разработка технологии термического закрепления просадочных грунтов II типа на глубину до 25 м: автореф. дис. На соискание ученой степени канд. техн. наук / И.В. Степура. – Днепропетровск, 1984. – 25 с.
3. Зоценко М.Л. Прогресивні методи підготовки основ та будівництва фундаментів / Зоценко М.Л. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 71. – Т.1. – С.23-37.

4. Гупаленко В.И. Разработка и внедрение эффективных способов подготовки оснований и свайных фундаментов в грунтовых условиях Запорожского региона / Гупаленко В.И., Шокарев В.С. // Труды III Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению. – том II. – Одесса, 1977. – С. 348-349.
5. Зоценко М.Л. Досвід і перспективи підсилення основ вертикальними ґрунтоцементними елементами у міському будівництві / Зоценко М.Л., Бовкун Ж.М., Маляренко В.І. // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – №6. – С.24 – 28.
6. Горизонтальное армирование грунтов в основаниях зданий / [И.В. Степура, В.С. Шокарев, А.В. Павлов, В.П. Павленко] // Будівельні конструкції: зб. Наук. праць. - К.: НДІБК. - 2001. - Вип. 55. - С. 138-140.
7. Юхименко А.І. Технологічні аспекти горизонтального армування ґрунтів основ фундаментів за бурозмішувальним методом / Юхименко А.І. // Світ геотехніки. – 2015. - №3. – С. 21-25.
8. Пат. Україна №73029, Е02Д3/12. Бурозмішувальне долото / Степура І.В., Самченко Р.В., Шокарев В.С., Юхименко А.І., Степура С.І. - №201201856; Заява 20.02.2012; Опубл. 10.09.2012, Бюл. №17. – 2012. – 4 с.
9. 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. -44 с.

## REFERENCES

1. Ržanicyn B.A. Himičeskoe zakreplenie gruntov v stroitel'stve / B.A. Rženicyn. – М.: Strojizdat, 1986. – 44s.
2. Stepura I.V. Razrabotka tehnologii termičeskogo zakreplenîa prosadoč-nyh gruntov ò tipa na glubinu do 25 m. / I.V. Stepura. – Dnepropet-rovsk. Avtoref. kand. dis., 1984. – 25s.
3. Zocenko M.L. Progresivni metodi підgotovki osnov ta budivnictva fun-damentiv // Budivel'ni konstrukcii: Zb. nauk. prac'. – К.: NDİBK, 2008. – Vip. 71. – Т.1. – S.23-37.
4. Gupalenko V.I., Šokarev V.S. Razrabotka i vnedrenie èffektivnyh sposobov podgotovki osnovanij i svajnyh fundamentov v gruntovyh usloviâh Zaporožskogo regiona. Trudy III Ukrainskoj naučno – tehni-českoj konferencii po mehanike gruntov i fundamentostroeniû. – tom II. – Odessa. 1977. – S.348-349.
5. Zocenko M.L., Bovkun Ž.M., Malârenko V.Î. Dosvid i perspektivi pidsi-lennâ osnov vertikal'nimi gruntocementnimi elementami u miš'komu budivnictvi. Beton i železobeton v Ukraine. – 2006. – #6. – S.24 – 28.
6. Stepura I.V., Šokarev V.S., Pavlov A.V., Pavlenko V.P. Gorizontaľ'noe armirovanie gruntov v osnovanih zdaniy. / I.V.Stepura, V.S.Šokarev,

- A.V.Pavlov, V.P.Pavlenko//Mižvidomč. nauk.-tehn. zb. "Armuvannâ gr-v pri bud-vì, rekon., zahistì bud. ta spor." - K.:NDÌBK.-2001.-Vip.55. - S.138-140.
7. Ūhimenko A.Ì. Tehnologìčni aspekti gorizontál'nogo armuvannâ gruntìv osnov fundamentìv za burozmišuvál'nim metodom // Svìt geotehniki. – 2015. - #3. – S. 21-25.
  8. Burozmišuvál'ne doloto: Pat. Ukraïni #73029, E02D3/12, /Stepura I.V., Samčenko R.V., Šokarev V.S., Ūhimenko A.Ì., Stepura S.Ì. (Ukraïna) - #201201856; Zaâva 20.02.2012; Opubl. 10.09.2012, Bùl. #17. – 2012. – 4s.
  9. Zvìt pro naukovu-doslidnu robotu "Eksperimental'ne doslidžennâ vplivu tehnologìčnih faktorìv na proces formuvannâ gorizontál'nih gruntocementnih armuúčìh elementìv", nakaz #20-OD vid 26 serpnâ 2014r.; ZV NDÌBK, m. Zaporìžžâ, 2014 r.,44s.

Статья поступила в редакцию 18.09.2016 г.