

Н.Л. ЗОЦЕНКО, Ю.Л. ВИННИКОВ

Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава

М.П. ДУБРОВСКИЙ, В.Т. ОГАНЕСЯН

Одесский национальный морской университет, Одесса

В.Л. СЕДИН, А.В. ШАПОВАЛ

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, Днепропетровск

М.Б. ПОЙЗНЕР

ЧерноморНИИПроект, Одесса

В.С. ШОКАРЕВ

Запорожское отделение государственного предприятия "Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций", Запорожье

В.И. КРЫСАН

"Рембуд", Днепропетровск

Г.Н. МЕЩЕРЯКОВ

Инженерный центр Трансзвук, Одесса

УДК 624.96

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В GEOTECHNICHESKOM STROITELSTVE I BEREGOVOY GEOTECHNIKE V SLOZHNYKH INGENERNO-GEOLOGICHESKIH USLOVIYAH UKRAINY

Ключевые слова: грунтоцементный элемент, арматурный каркас, крен, скорость осадки, больверк, сваевдавляющая система.

Приведены результаты исследований характеристик армированного грунтоцемента, который изготавливается буромесительным методом. На конкретных примерах рассмотрено использование грунтоцемента для решения отдельных геотехнических задач. В области береговой геотехники разработаны гибридные морские гидротехнические сооружения, и шпунтовые сваи с использованием железобетонных полуболошек. Полномасштабное физическое моделирование процессов вдавливания и извлечения стальных свай осуществляется с применением модульной координационной сваевдавляющей системы.

Наведені результати досліджень характеристик армованого грунтоцементу, який виготовляється бурозмішувальним методом. На конкретних прикладах розглянуте використання грунтоцементу для розв'язання окремих геотехнічних завдань. В галузі берегової геотехніки розроблені гібридні морські гідротехнічні споруди і шпунтові палі з використанням залізобетонних напівболонок. Повномасштабне фізичне моделювання процесів вдавлення й витягу сталевих палей здійснюється із застосуванням модульної координаційної сваевдавлявальної системи.

This paper contains the research findings of reinforced soil cement properties manufactured by drilling mixing method. Application of soil cement for solution of specific geotechnical problems is considered herein in terms of specific examples. In the field of coastal geotechnical engineering the hybrid coastal hydraulic engineering structures and sheet pile using reinforced concrete semi-shells have been developed. Full-scale physical simulation of pressing-in and removal of steel piles is carried out using a modular coordination pile-pressing system.

1. БУРОНАБИВНЫЕ СВАИ В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

Устройство буронабивных свай в неустойчивых грунтах, связано со сложностями обеспечения стойкости стенок скважин до укладки бетона. Известны способы бурения скважин в таких грунтах под защитой обсадных труб, которые извлекают при укладке бетона, или под защитой глинистого раствора, с последующим подводным бетонированием. Получил распространение и метод устройства набивных свай через полый шнек. Пречисленные методы имеют недостатки: значительная стоимость и трудоемкость работ, сплошность установки арматурного каркаса, сложный контроль качества материала свай.

При комбинированной технологии устройства буронабивных свай сначала буромесительным или струйным методом изготавливают грунтоцементный элемент (ГЦЭ) диаметром 0,8-1,2м. Когда грунтоцемент набирает 30% проектной прочности, по оси элемента пробуривают скважину на проектную глубину так, чтобы вокруг нее осталась грунтоцементная оболочка толщиной 150 мм. Ее назначение – на определенный срок защитить скважину от попадания воды и неустойчивого грунта. В сухую скважину устанавливают арматурный каркас и производят бетонирование.

Наличие грунтоцементной оболочки способствует увеличению несущей способности комбинированной буронабивной сваи на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок за счет того, что площадь контакта свай с грунтом принимают по поверхности ГЦЭ.

Опытные работы по изготовлению комбинированных набивных свай длиной 8 м проведены в условиях залегания водонасыщенных лессовых глинистых грунтов.

При исследовании определяли такие показатели:

1. Призмную прочность и содержание цемента в грунтоцементе по образцам, отобранным из тела сваи после 28 суток твердения во влажной среде (σ , МПа).
2. Диаметр ГЦЭ (D , мм).
3. Содержание цемента в грунтоцементе методом определения части гидратированного цемента ко времени проведения исследований (Δ , %).
4. Диаметр поперечного сечения скважины в ГЦЭ (D' , мм).
5. Наличие рыхлого грунтоцемент в забое скважины,
6. Приток воды в скважину за 2 часа наблюдений (h , мм).
7. Визуальный осмотр монтажа арматурного каркаса.
8. Испытания образцов, отобранных при бетонировании.

Таблица 1
Показатели устройства опытных буронабивных свай

№	σ , МПа	D , мм	Δ , %	D' , мм	h , м
49	3,4	801	22	512	до 0,1
51	3,7	786	21,4	524	0,05
14	3,2	790	20	518	нет
16	3,5	793	20,6	510	до 0,1

Из свайного поля в 256 свай выбраны четыре средне-статистические, данные по которым приведены в табл.1. Данные опытных работ устройства комбинированных набивных свай в грунтоцементной оболочке свидетельствуют о том, что:

- заглубленные в водоупорые глинистые грунты, ГЦЭ соответствуют проектным размерам и характеристикам. Через 7 суток после устройства они бурятся без больших усилий и держат стенки скважины в текучих глинистых грунтах;
- в забое скважины остается до 10 см рыхлого грунтоцемент, который можно уплотнить трамбовкой и пропитать жидким грунтоцементом;
- за 1 час в скважину может поступить до 20 л воды, что несущественно влияет на результаты бетонирования скважины;
- монтаж арматурного каркаса и бетонирование скважины не вызывает затруднений.

2. ГРУНТОЦЕМЕНТНЫЕ СВАИ

Призмная прочность грунтоцемент, изготовленного бурсмесительным или струйным методами без использования упрочняющих химических добавок, составляет 1,5...4 МПа в зависимости от содержания воды и цемента [1]. Такая прочность материала для изготовления несущих подземных конструкций во многих случаях недостаточна. Возникает потребность увеличения прочности грунтоцемент.

Эту задачу можно решить армированием грунтоцементных конструкций стальной арматурой. Предпосылками совместной работы грунтоцемент и арматуры являются соответствие коэффициентов теплового линейного расширения этих материалов, достаточно высокое сцепление арматуры с грунтоцементом, а также его высокая водонепроницаемость.

Экспериментально влияние армирования на прочность грунтоцемент исследовано в лабораторных условиях на моделях свай масштаба 1:4. Размеры моделей составляли 100x100x400 мм. Исследовались 4 серии по 6 образцов в каждой. Образцы первой серии не армировались, а образцы последующих серий армировались на 1,13%, 2,03% и 3,14% (P_b ,%) соответственно. На торцевых поверхностях арматурных каркасов были устроены опорные пластины, к которым жестко крепились стержни продольной арматуры. Защитный слой арматуры составлял 20 мм.

Грунтоцемент изготовлен в лабораторных условиях по методике бурсмесительного метода, т.е. при этом не проводилось уплотнение смеси лессовый грунт-вода-цемент. Количество портландцемента М400 составляло 20% от массы скелета грунта. С учетом природной влажности грунта водоцементное отношение смеси грунт-вода-цемент составило $V/C = 2,7$. При этом ее подвижность по осадке конуса составила 11 см.

Характеристики конструктивных материалов, которые использованы в эксперименте, приведены в табл. 2.

Таблица 2
Механические характеристики материалов

Характеристики арматуры		Характеристики грунтоцемент	
E_s , МПа	R_{sc} , МПа	E_{sc} , МПа	R_b , МПа
210000	225	2000	1,12

Все образцы были испытаны на центральное сжатие (рис. 1) и определены средние значения их несущей способности, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3
Значения несущей способности армированных призм грунтоцементных призм

№ серий	Процент армирования сечения μ , %	Среднее значения несущей способ. N , кН	Коэффициент вариации, v
1	0,00	11,20	0,21
2	1,13	42,50	0,19
3	2,01	62,70	0,17
4	3,14	84,00	0,18

Несущую способность сталегрунтоцементных призм по материалу определяли двумя методами для выбора более приемлемого из них в расчете сталегрунтоцементных конструкций.

Первый способ проверки прочности центрально сжатого элемента при известных размерах, количестве арматуры и нагрузках представлен в виде:

$$N = \varphi(R_b A + R_{sc} A_{s,tot}), \quad (1)$$

где N – искомое продольное усилие; φ – коэффициент, который в данном случае принят 0,92; R_b – призмная прочность грунтоцемент; A – площадь нормального сечения призмы; R_{sc} – расчетное сопротивление арматуры на сжатие, 225 МПа; $A_{s,tot}$ – общая площадь рабочей арматуры.

Расчётные значения, приведенных выше величин, несущая способность модели и ожидаемая несущая способность натуральных свай приведены в табл. 4.



Рис.1. Исследование опытных образцов на центральное сжатие

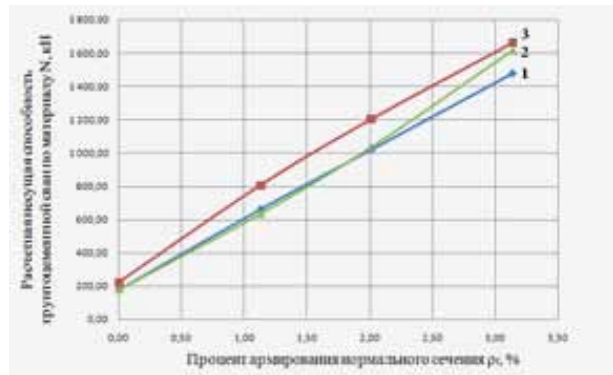


Рис.2. Зависимость несущей способности грунтоцементной сваи по материалу N от процента армирования нормального сечения ρ_r по данным: 1 – расчета по первой методике; 2 – расчета по второй методике; 3 – по данным лабораторных исследований

Таблица 5
Несущая способность грунтоцементных призм и натуральных свай (по второму способу расчета)

№ серий	A	η_u	K	N_u , кН	N, кН натуральной свай
1	0	1	1,70	11,20	179
2	1,54	1,40	1,70	32,20	635
3	2,73	1,60	1,70	52,41	1033
4	4,27	1,79	1,70	81,68	1616

Таблица 4
Несущая способность по материалу грунтоцементных призм и свай по первому методу расчета

№ серий	$\rho_r, \%$	$A_s, \text{мм}^2$	N, кН	N, кН натуральной свай
1	0,00	0	11,20	179
2	1,13	113	33,70	661
3	2,01	201	51,91	1019
4	3,14	314	75,30	1478

Второй метод является способом расчета косонагруженных железобетонных элементов в соответствии с деформационной моделью напряженно-деформированного состояния в закритичной стадии. Центральное сжатие – ее частный случай. Формула определения несущей способности по материалу сваи в нормальном сечении имеет вид

$$N_U = A_b \left[AR_b \eta_U + \frac{R_b \eta_U (K - \eta_U)}{1 + (K - 2) \eta_U} \right], \quad (2)$$

где A, η_U, K – коэффициенты несущей способности.

В табл. 5 приведена несущая способность сталегрунтоцементных призм и ожидаемая несущая способность грунтоцементных свай.

На рис. 2 приведена зависимость несущей способности образцов сталегрунтоцемента от процента армирования нормального сечения. Там же приведены зави-

симости, установленные вышеописанными способами аналитически.

На основании проведенных исследований можно следующие выводы:

- использование продольного армирования позволяет значительно увеличить прочность грунтоцемента;
- сопоставление данных аналитических расчетов прочности грунтоцемента с лабораторными определениями показало, что способы расчета железобетонных конструкций могут быть использованы при расчете прочности сталегрунтоцементных конструкций;
- из двух методик расчета следует предпочесть расчет в соответствии с деформационной моделью, потому что он предназначен для расчета конструкций при сложном нагружении. Данная методика более чувствительна к изменчивости параметров грунтоцемента.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРУНТОЦЕМЕНТА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОСАДОК ЗДАНИЯ ПРИ УСТРАНЕНИИ ИХ КРЕНОВ.

В Украине для устранения кренов зданий и сооружений широко применяется метод основанный на выбуривании грунта из под подошвы менее просевших фундаментов. Для этого применяется подработка основания горизонтальными скважинами переменного диаметра [2].

Расчет технологических параметров для подработки грунта под фундаментом (диаметр и шаг скважин) ведут по формуле

$$S = d \cdot t, \tag{3}$$

где S – требуемая осадка для устранения крена здания; d – диаметр скважины; t – шаг скважин.

Имея данные изысканий об изменении плотности сухого грунта (ρ_d) под подошвой фундамента и экспериментальные данные о зависимости критической плотности грунта ($\rho_{кр}$) от вертикального давления можно определить толщину слоя грунта, где производить бурение горизонтальных скважин и разрушение структуры грунта:

$$h = \frac{S}{1 - \frac{\rho_d}{\rho_{кр}}}. \tag{4}$$

Время условной стабилизации осадки здания определяют по формуле:

$$T = \frac{tg \rho}{V}, \tag{5}$$

где V – величина условной стабилизации, равна 0,143см в сутки.

Коэффициент пропорциональности $tg \rho$ находим из выражения:

$$tg \rho = \frac{S - S_1}{\ln t / t_1}, \tag{6}$$

где S, S_1 – величина осадки здания получаемая по данным мониторинга; t, t_1 – промежутки времени между этапами мониторинга.

Если стабилизация осадки здания наступает ранее реализации требуемой осадки производится дополнительное разрыхление грунта под подошвой фундамента. При наступлении времени стабилизации осадки здания после реализации требуемой осадки в основании здания подается грунтоцементный раствор с использованием буромесительной технологии, что приводит к уменьшению скорости осадок.

4. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В БЕРЕГОВОЙ ГИДРОТЕХНИКЕ.

Для восприятия повышенных нагрузок от распорного давления грунта засыпки позади береговой шпунтовой стенки и упрощения технологии возведения глубоководного причального сооружения за счет отказа от применения традиционных анкерных устройств разработана новая конструкция подпорной стенки (рис. 3). Подпорная стенка включает стальные шпунтовые сваи, погруженные в направлении вдоль сооружения (продольная стенка), грунт обратной засыпки, а также поперечные ряды шпунтовых свай (контрфорсы), соединенные с продольной стенкой. Контрфорсы выполнены в форме прямоугольной трапеции из шпунтовых свай разной длины, причем длина свай уменьшается по мере удаления от продольной стенки, а ширина поперечных рядов увеличивается к низу. Головы шпунтовых свай стенки объединены оголовком. В данной конструкции роль контрфорсов заключается не только в увеличении жесткости подпорной стенки при восприятии внешних нагрузок, но и в эффективном снижении распорного давления грунта, расположенного позади стенки.

Для повышения несущей способности берегозащитного или причального сооружения и снижения его мате-

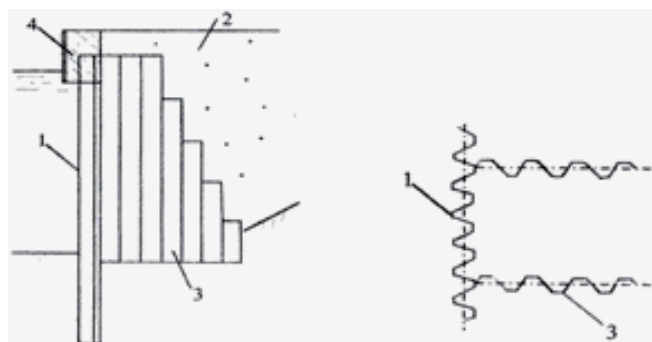


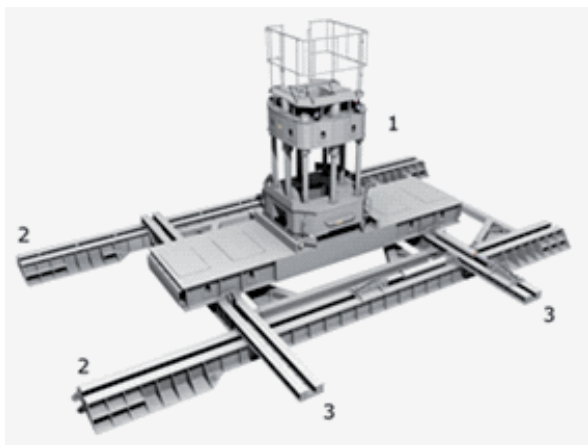
Рис.3. Шпунтовая стенка с контрфорсами. а – поперечный разрез; б – план. 1 – продольная шпунтовая стенка; 2 – грунтовая засыпка; 3 – шпунтовые контрфорсы; 4 – оголовок.

риалоемкости разработана инновационная конструкция больверка. Она включает лицевую стенку и обратную грунтовую засыпку позади нее, а анкерные опоры выполнены гребенчатыми в виде закрепленных вдоль жесткого сердечника небольших анкерных плит. При этом расстояние между смежными анкерными плитами таково, что более близкая к лицевой стенке плита не пересекает границ призмы выпора грунта перед более отдаленной от лицевой стенки плитой. Анкерное усилие воспринимается одновременно всеми плитами «гребенки», что обеспечивает повышение несущей способности анкерного устройства и всего сооружения в целом (при тех же затратах на изготовление анкерных плит, что и в традиционных решениях). С другой стороны, предложенное сооружение может обеспечить снижение материалоемкости конструкции при той же несущей способности сооружения, что и в известных устройствах.

Уникальное полномасштабное физическое моделирование процессов вдавливания и извлечения стальных свай может быть осуществлено применением модульной координационной сваевдавливательной системы (МКС). МКС – высокотехнологичное строительное оборудование, предназначенное для ведения свайных работ поточным методом. Основные технологические преимущества модульной сваевдавливательной системы – высокая производительность, точность позиционирования, интерактивный контроль качества работ.

Сваевдавливательная система применяется для погружения железобетонных призматических и стальных шпунтовых свай, а также труб с усилием вдавливания до 2000 кН. Сваевдавливательная система позволяет реализовать непрерывный мониторинг каждой погружаемой сваи. Данные мониторинга, подтвержденные результатами контрольных испытаний, позволяют гарантировать несущую способность каждой сваи и открывают возможность интерактивного проектирования. Оборудование работает бесшумно, не оказывает динамического и вибрационного воздействия на грунт основания и соответствует самым высоким требованиям экологической безопасности.

Сваевдавливательная машина (рис. 4) может быть использована как стенд для проведения испытаний свай. Она способна ступенчато по заданной программе передавать усилие на испытываемую сваю до 2000 кН. Перемещение сваи под нагрузкой фиксируется относительно неподвижной реперной системы. По результатам контрольных испытаний определяется допустимая



нагрузка на фундамент. Ведется непрерывный мониторинг усилия вдавливания каждой сваи. Данные мониторинга, подтвержденные результатами контрольного испытания, позволяют гарантировать несущую способность каждой сваи, а также качество свайного фундамента в целом, что открывает возможности интерактивного проектирования.

Рис.4. Модульная секция системы МКС: 1 – сваевдавляющая машина; 2 – продольные направляющие; 3 – поперечные направляющие.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, I. Lartseva, V. Shokarev, V. Krysan // Proc. of the 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering "Geothechnics of Hard Soils – Weak Rocks". – Athens. – 2011. – P. 1097 – 1102.
2. Stress-strain state of the system "base-strip foundation" at elimination of excessive tilts of buildings / V. Shokarev, V. Shapoval, V. Chaplygin, R. Samchenko, D.Volkov // Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Alexandria, Egypt, 2009. - Published by IOS Press under the imprint Millpress, 2009. – V. 1. – P. 680-683.

V МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ ИНЖЕНЕРОВ-ГЕОТЕХНИКОВ

В периоде с 31 августа по 1 сентября 2013 года в столице Франции городе Париже прошла V-я Международная конференция молодых инженеров-геотехников (5th iYGEС) при поддержке ISSMGE и французского общества по механике грунтов CFMS.

Основная цель конференции объединение молодых людей которые, работают над получением научной степени или находятся на ранней стадии карьеры в области практики или науки. Идея состояла в том, чтобы создать благоприятные условия для общения и обмена опытом для молодых специалистов, которые выполняют геотехнические исследования.

Конференция проводилась в залах университета Ecole des Ponts ParisTech, который считается самым старым строительным университетом в мире (основан в 1747 году).

С приветственной речью выступил председатель организационного комитета проф. Yu-Jun Cui (Франция), а вступительную лекцию на тему „Issues for foundation engineering“ (Проблемы в строительстве фундаментов) прочитал главный инженер фирмы "Fugro France" Alain Puech (рис. 1).

В конференции принимали участия 164 молодых ученых из 57 стран мира: Украины, России, Беларуси, Казахстана, Канады, США, Мексики, Бразилии, Аргентины, Чили, Великобритании, Ирландии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Бельгии, Дании, Голландии, Польши, Италии, Чехии, Словакии, Португалии, Испании, Франции, Германии, Австрии, Словении, Греции, Албании, Македонии, Хорватии, Сербии, Венгрии, Румынии, Турции, Ливана, Ирана, Омана, Египта, Туниса, Судана, Сенегала, Камеруна, ЮАР, Республики Мозамбик, Индии, Сингапура, Южной Кореи, Китая, Японии, Вьетнама, Гон Конга, Сингапура, Малайзии, Тайваня, Австралии, Новой Зеландии.

Распределение между участниками составило: аспиранты 55%, инженеры практики – 45%, номинированные – 60%, неноминированные 40%; женщины – 30%, мужчины – 70%.



Рис. 1 Открытие конференции



Рис. 2 Доклад участника конференции Поклонского С.В. (Украина)

Всего было представлено 128 докладов, которые обсуждались в трех параллельно проходящих сессиях по следующим направлениям: 1. Устойчивость откосов. 2. Лабораторные испытания. 3. Улучшение свойств грунтов. 4. Фундаменты. 5. Моделирование. 6. Земляные работы. 7. Туннели и подземные сооружения. 8. Полевые испытания. 9. Характеристики грунтов. 10. Землетрясения и геодинамика. 11. Подпорные конструкции. 12. Мониторинг (рис. 2).

Два лучших доклада: Francesca Ceccato, Италия и Antonio Correia, Португалия, были повторно сделаны на 18-ом Конгрессе по механике грунтов и геотехнической инженерии.

Для формирования итогового доклада конференции из выступающих было выбрано 18 репортеров, по три из которых присутствовали на каждой сессии.

На конференции также выступила председатель исполнительного комитета Student and Young Member Presidential Group (SYMPG) – Президентского общества молодых инженеров и студентов Jennifer Nicks, США, которая призвала включиться в молодежное общество всем желающим молодым специалистам, для последующего привлечения этого поколения ученых в Международное общество по механике грунтов и геотехническом строительству (ISSMGE). Все члены общества SYMPG могут на прямую общаться с президентом ISSMGE.

Украина была представлена на конференции двумя номинированными делегатами Поклонским С. В. и Анискиным А. А. (доклады которых опубликованы в этом номере журнала). Номинированные участники получили возможность участвовать также в 18-ом Конгрессе по механике грунтов и геотехнической инженерии.

Следующая, 6-я Международная конференция молодых инженеров-геотехников будет проводиться в г. Сеуле столице Республики Южная Корея, с 17 по 22 сентября 2017 года.

Анискин А.А.
Поклонский С.В.