

*Архангельская Тамара Михайловна, старший преподаватель кафедры геотехники и экологии в строительстве Белорусского национального технического университета*

### ***Геотехнические свойства цементогрунта***

#### ***Geotechnical properties of soil cement***

Приведены определенные лабораторными испытаниями характеристики песчано-цементных смесей с различными содержанием цемента и песка и плотностями. Выявлены зависимости между прочностными свойствами смесей и содержанием в них цемента. Приведены опытные зависимости осадок моделей плитных фундаментов при использовании поверхностных слоев из песчано-цементной смеси.

The properties of sand-cement mixtures with various sand/cement ratio and density received from laboratory tests are given. Stress-sand/cement ratio relation is detected. The experimental dependences of settlement of raft foundation models with surface sand-cement mixture layers are given.

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

При устройстве фундаментов на слабых грунтах в ряде случаев оправдывает себя выполнение под их подошвами уплотненных песчаных подушек. Находясь в зоне наибольших сжимающих напряжений, они позволяют свести к минимуму осадки фундаментов благодаря увеличенным значениям модулей деформации при качественном уплотнении. Выполнение подушек из песчано-цементных смесей улучшает их прочностные и деформационные характеристики [1, 2]. Эти смеси могут успешно применяться при снижении бокового давления на подпорные стены и для повышения несущей способности свайных фундаментов.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ПЕСКА И ПЕСЧАНО-ЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ПЛОТНОСТЯМИ И СОДЕРЖАНИЕМ ЦЕМЕНТА

Испытания выполнены под научным руководством канд. техн. наук, доц. М.И. Никитенко на приборах ГПП-30 Гидропроекта со сдвигом по заданной плоскости при площади поперечного сечения образца  $40 \text{ см}^2$  с песком средней крупности и его смесями при постоянной влажности ( $w = 5\%$ ), но разных содержаниях цемента (от 2 до 20%) и удельных весах ( $\gamma = 15 \text{ кН/м}^3$ ,  $\gamma = 16 \text{ кН/м}^3$ ,  $\gamma = 17 \text{ кН/м}^3$ ). Полученные при этом значения углов внутреннего трения  $\phi$  и сцеплений  $c$  приведены в сводной табл. 1.

Таблица 1

Сводные данные определения  $\phi$  и  $c$  песка среднего и его смеси с цементом при различных значениях плотности и процентного содержания цемента

$W, \%$	$\gamma, \text{кН/м}^3$	Ц:П, %	$\phi$	$c, \text{МПа}$
5	15	—	29,4	0
	16		29,5	0
	17		30,5	0
	15	2	29,5	0,010
	16		29,8	0,015
	17		30,5	0,020
	15	4	30,0	0,020
	16		30,2	0,025
	17		30,4	0,033
	15	6	30,2	0,028
	16		30,3	0,035
	17		30,4	0,045
	15	10	30,3	0,040
	16		30,5	0,050
	17		30,6	0,060
	15	20	30,3	0,066
	16		30,6	0,080
	17		30,7	0,095

Как видим, значения  $\phi$  изменяются мало, а  $c$  возрастают интенсивно по мере уплотнения песка или смеси и повышения процентного содержания цемента. При этом зависимости  $c = f(\text{Ц:П})$  имеют нелинейный характер (рис. 1).

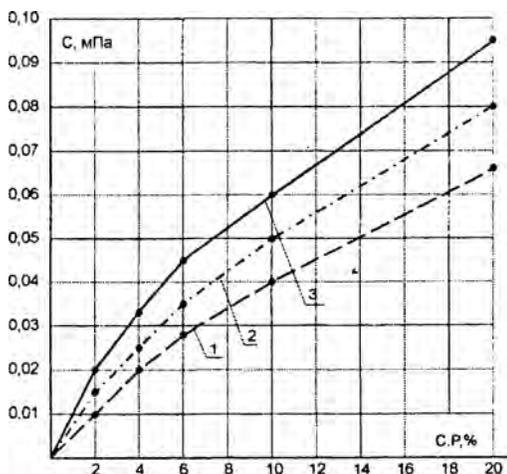


Рис. 1. График зависимости сцепления песчано-цементных смесей от процентного содержания в них цемента:  
 1 –  $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup>; 2 –  $\gamma = 16$  кН/м<sup>3</sup>; 3 –  $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup>

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЖИМАЕМОСТИ ПЕСКА И СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ЦЕМЕНТОМ СМЕСИ

Опыты поведены в лотке размером 120x25x50 см, при этом на поверхности грунта укладывали модель фундамента в виде стального штампа с размерами в плане 23x23 см. В качестве базового принималось однородное основание из песка средней крупности при влажности  $w = 5\%$  с его уплотнением до  $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup>. У поверхности на рыхлом песке ( $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup>) в зоне наибольших сжимающих напряжений под штампом на глубину 21 см (примерно на его ширину) укладывали слои песчано-цементной смеси при расходе цемента 20%. В первом случае был один слой смеси, а во втором между двумя ее слоями по 7 см находился слой песка 7 см. При

этом у смеси значения  $w$  и  $u$  были одинаковыми с песком в базовом варианте. Схемы испытаний приведены на рис. 2.

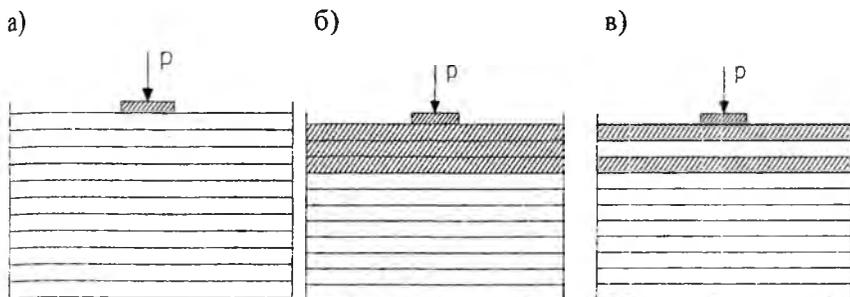


Рис. 2. Схема вдавливания штампа в песок со слоями песчано-цементной смеси у поверхности:

- а – однородный песок; б – один слой смеси толщиной 21 см;  
в – 2 слоя смеси по 7 см с песчаной прослойкой 7 см

Построенные по данным испытаний графики зависимостей осадок оснований от нагрузок на штамп приведены на рис. 3. На этих графиках для сопоставления приведены данные испытаний сжимаемости однородного песка.

Как видим, наличие поверху рыхлого песка под штампом (фундаментом) слоев из песчано-цементной смеси уменьшает осадки и увеличивает несущую способность основания. В случае двух слоев смеси по 7 см и прослойке 7 см песка между ними нагрузки при одинаковых осадках больше примерно в 2 раза по сравнению с однородным грунтом. В то же время один слой смеси в 21 см под штампом (примерно на одну его ширину) еще эффективнее, поскольку повышает нагрузку при осадках от 2 до 8 мм в 6–4 раза по сравнению с однородным грунтом, а по сравнению с двумя слоями смеси в 3–2,5 раза.

В обоих схемах выполнения под подошвой штампа упрочненных подушек из песчано-цементных смесей рост осадок происходит в два этапа. На первом основная доля напряжений приходится на упрочненный слой, поэтому осадки нарастают медленно. При дальнейшем увеличении нагрузки сжимается нижний рыхлый песок и более интенсивно увеличиваются осадки штампа.

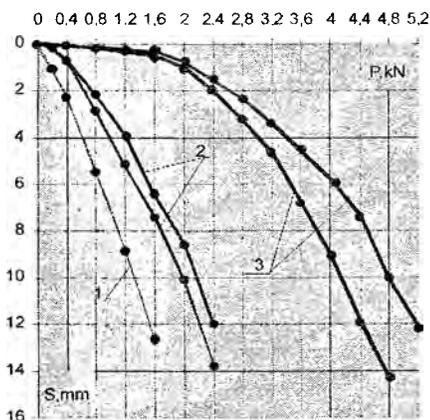


Рис. 3. Графики зависимостей осадок штампов от нагрузок:  
 1 – однородный песок; 2 – 2 слоя смеси по 7 см с песчаной прослойкой 7 см  
 3 – один слой смеси толщиной 21 см

#### 4. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСЧАНО-ЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ

**Плитные фундаменты.** Характерным примером может служить предложенное канд. техн. наук, доц. М.И. Никитенко применение на жилом доме по улице Филимонова песчано-цементных смесей для упрочнения перешедших в текучее состояние глинистые грунтов в основании фундаментов за счет их промораживания и последующего оттаивания. При этом сборные блоки ленточных фундаментов толщиной по 0,6 м были демонтированы, а по их контуру отрыты экскаватором «Беларусь» траншеи такой же ширины на 0,5 м ниже проектной отметки подошв и засыпаны сухой песчано-цементной смесью (при расходе цемента 10%) с послойным уплотнением. На такой слой вновь уложили сборные блоки фундаментов. При этом сухая смесь поглотила потребную для гидратации избыточную влагу из пластичного грунта и улучшила его физико-механические характеристики. Монолитный железобетонный пояс толщиной 30 см поверху сборных блоков по всему контуру фундаментов снизил чувствительность здания к неравномерным осадкам фундаментов.

Последующая эксплуатация жилого дома подтвердила эффективность указанных мероприятий. Аналогичные решения применены при устройстве фундаментов под теплицы в Гомельской области и на ряде других объектов.

**Обратные засыпки за подпорными стенами и возле стен подвалов** за счет сцепления песчано-цементных смесей снижают боковые давления по аналогии со связными глинистыми грунтами. Такое решение использовано на здании блока вспомогательных цехов Минского вокзала возле железнодорожных путей, В обратной засыпке пазух возле стен подвала расход цемента составил 5%. Аналогичный прием уменьшения распора на стены был применен при ликвидации аварии циркуляционно-насосной станции на ТЭЦ-5 в Руденске, а также при восстановлении обрушившейся подпорной стены у подножия высокой откосной насыпи возле здания школы на Юго-Западе г. Минска.

**Упрочнение грунтов при создании уширений под нижними концами свай и под ростверками** применено на многоэтажном жилом доме в квартале улиц Бурдейного-Якубовского, где моренный суглинок в их основании вместо полутвердой консистенции фактически оказался текучепластичным. Здесь без увеличения количества свай грунт упрочнили за счет выштамповывания в забое скважин уширения из сухой смеси песка, гравия и цемента с его расходом 10%. Под подошвы ростверков также втрамбовывали такую смесь, что привело к требуемому увеличению несущей способности свайных фундаментов. Аналогичное упрочнили лессовидные суглинки при устройстве свайных фундаментов на двух многоэтажных жилых домах на ул. Бельского и Храме Архистратига Михаила на ул. Шаранговича. Выштамповывание уширений под нижними концами свай из сухой бетонной смеси производилось также в песках (рис. 4) на многоэтажном здании на ул. Тимирязева. Проектные решения фундаментов и их устройство на этих объектах осуществлялись под научным руководством канд. техн. наук, доц. М.И. Никитенко.

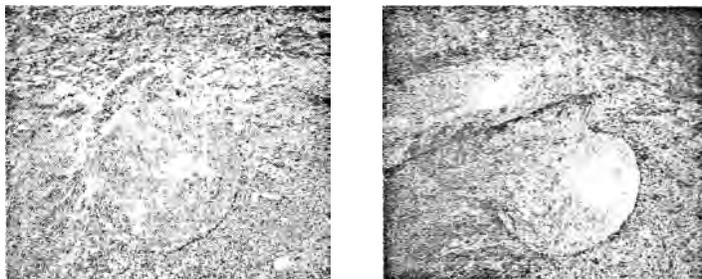


Рис. 4. Общий вид раскопанной уширенной пяты свай, выштампованной из сухой бетонной смеси в песке (на левом снимке видна пята сверху, на правом – сбоку рядом с трамбовкой)

## ВЫВОДЫ

1. При устройстве под подошвами плитных фундаментов подушек из песчано-цементных смесей наблюдается существенное снижение осадок и увеличение расчетного сопротивления грунта за счет повышения его физико-механических свойств, особенно в пластичных глинистых грунтах, из которых поглощается необходимая для гидратации цемента избыточная влага.

2. Использование в обратных засыпках за подпорными стенами и стенами подвалов песчано-цементных смесей позволяет снизить боковое давление грунта и повысить устойчивость таких стен за счет увеличения удельного сцепления.

3. Впрессовывание сухих песчано-цементных смесей под подошвы ростверков и нижние концы свай при создании уширенных пят приводит к упрочнению грунтов и существенному увеличению их несущей способности.

4. При геотехнических реконструкциях для повышения несущей способности слабых пылевато-глинистых грунтов основания песчано-цементные смеси могут применяться при заполнении с уплотнением пазух возле фундаментов и втрамбовывании под их подошвы. При этом уменьшается опасность проседания такой обратной засыпки, нарушения целостности отмостки и проникновения поверхностных вод в грунт под подошвы фундаментов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nikitenko, V.I. Nový spôsob stabilizácie podložia cementom. In. 4. Geotechnická konferencia s medz. účasťou / V.I. Nikitenko, T.M. Archangelskaja // Prognóza a verifikácia v geotechnickom inžinierstve. – Bratislava, 1999. – S. 131–134.

2. Feda, J. Stabilizáci zemin cementem / J. Feda // Zakládání staveb. – Brno, 1998. – S. 92–95.