

цевого участка (из-за стремительного сокращения площади взаимодействия плиты с основанием) происходит прогрессирующее развитие трещины в контакте между плитой и основанием, приближая фронт трещины к центру плиты, тем самым разрушая адгезионные силы сцепления и нейтрализуя момент силы.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zhang, J. Influence of supporting base characteristics on shrinkage-induced stresses in concrete pavements / J. Zhang, Li. Victor // Journal of Transportation Engineering. – № 6. – 2001. – Vol. 127.

2. Босоков, С.В. Определение величины втягивания канатов в изгибаемых преднапряженных железобетонных плитах безапалубочного формования / С.В. Босоков, В.Н. Белевич, Н.С. Щетиков // Вестник БрГТУ. – 2010. – № 1₍₆₁₎. Строительство и архитектура. – С. 46-50.

3. ТУ РБ02071613.183 - 99. Цемент напрягающий. – Технические условия (опытная партия). – Брест: 1999. – 14 с.

УДК 624.15:624.131.29

Шевчук С.С.

Научный руководитель: ассистент Невейков А.Н.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БЕТОНОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

Введение. В мировой практике свайного фундаментостроения наиболее распространенными являются буронабивные сваи, на долю которых приходится более 50% от общего объема применяемых свайных фундаментов [1], что объясняется их преимуществами [2]. Многочисленные результаты проведенных ранее испытаний различными исследователями буровых и буронабивных свай из тяжелых бетонов, обобщенные в [3], показывают, что боковая поверхность свай воспринимает от 60% до 90% нагрузки. Следовательно, обеспечение плотного контакта сваи с грунтом по всей длине является определяющим для повышения несущей способности.

Для повышения эффективности использования свайных фундаментов из буронабивных свай используются различные материалы, способные к расширению, – негашеная известь в комбинации с цементом и песком, бетон с введенной алюминиевой пудрой, бетонов на напрягающем цементе. Применение бетонов на напрягающем цементе обусловлено благоприятными условиями, создаваемыми грунтом для расширения и твердения бетона [4].

Для выяснения влияния типа бетона на несущую способность буронабивных свай по боковой поверхности, устраиваемых в песчаных грунтах, при действии вертикальной нагрузки выполнены экспериментальные исследования работы моделей цилиндрических буронабивных свай.

Методика экспериментальных исследований

1. Программа исследования и характеристика опытных образцов

Параметрическая область исследований получена с использованием метода планирования экспериментов [5], позволяющим одновременно учесть влияние нескольких

факторов на несущую способность свай по боковой поверхности (отклик) и значительно сократить число опытов.

В качестве варьируемых факторов были приняты следующие конструкционные параметры (1 группа факторов), оказывающие наибольшее влияние на несущую способность свай по боковой поверхности:

- диаметр буронабивной сваи – 55 мм; 110 мм
- длина рабочей зоны сваи – 400 мм; 800 мм
- тип бетона (тяжелый ТБ, напрягающий бетон с 1,2% расширения (НБО) и 2,4 % расширения (НБД)).

Физико-механические характеристики грунта (2 группа факторов) не варьировались, а принимались фиксированными. Основанием служил песок средний, средней плотности, маловлажный ($\rho = 1,69 \text{ г/см}^3$; $\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$; $w = 0,06$; $\varphi = 36,9^\circ$; $c = 3,20 \text{ кПа}$; $E = 8,6 \text{ МПа}$).

Для сравнения выполнены испытания моделей буронабивных свай на бетоне с добавлением алюминиевой пудры Ø55мм.

2. Материалы для изготовления моделей свай

До проведения экспериментов проведены предварительные исследования напрягающих цементов и составов бетонов на них. Процентное соотношение составляющих определяли на основании подбора состава вяжущего, обеспечивающего максимальную величину свободного расширения и минимальную конструктивную прочность.

Основные характеристики рассмотренных составов напрягающих цементов (табл.1) были определены на образцах мелкозернистого бетона с соотношением напрягающего цемента и песка 1:1. Водоцементное отношение, принятое для всех составов, составляло 0,4. В соответствии со стандартными условиями [6] образцы после первых суток твердения в воздушно-сухих условиях необходимо поместить в воду. Так как грунт по своим прочностным и деформационным характеристикам значительно отличается от материала опалубки, то были изменены условия проведения опыта и образцы помещались в воду через 7-8 часов после их бетонирования.

Таблица 1 – Основные характеристики напрягающего цемента

Серия	Состав ПЦ:ГЦ:Г:РД, % по массе	Характеристики			
		Линейное расширение, %	Самонапряжение, Н/мм ²	Прочность на сжатие, МПа.	
				8 часов	28 суток
Ц1	63:15:12:10	3,1 ^{*)}	1,7 ^{*)}	2,0	- ^{*)}
Ц2	72:12:9:7	1,7 ^{*)}	1,5 ^{*)}	2,2	- ^{*)}
Ц3	69:19:12:0	4,8	1,0	2,6	15,2
Ц4	74:15:11:0	2,9	1,6	3,0	24,8

Примечание: ^{*)} – состав разрушился, характеристики приведены до разрушения

Состав бетонных смесей для моделей свай подбирался на основе стандартных методик. При приготовлении бетонной смеси, в качестве заполнителей для бетонов, использовали гранитный щебень фракции 5...20 мм и песок с модулем крупности $M_k = 2,32$. Водо-цементное отношение для всех приготовленных бетонов составляло 0,4. Для получения требуемой подвижности использовался гиперпластификатор ГП1. Состав бетонных смесей на 1 м³ в сухом состоянии представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси в сухом состоянии

Цемент, кг	Щебень, кг	Песок, кг	Вода, л	ГП1, л
650	580	920	260	5

Для определения прочности и измерения деформаций расширения напрягающих бетонов были забетонированы цилиндры. В качестве формы для бетонирования цилиндров использовался песчаный грунт, помещенный в деревянные и металлические лотки, подготовка и характеристики которого соответствовали основанию моделей буронабивных свай. Образцы изготавливали диаметром 110 мм, высотой 160 мм. Для измерения деформаций расширения к лоткам крепились индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Это позволяло измерять деформации бетона с момента укладки бетонной смеси (рис. 1). На 28 суток осуществлялось испытание бетонных образцов на сжатие (табл. 3).

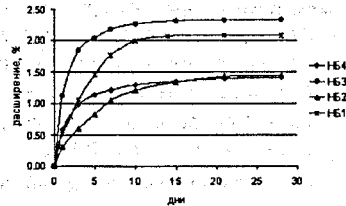
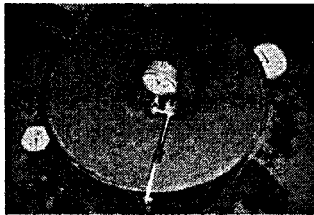


Рисунок 1 – Измерение деформации расширения бетонных цилиндров Ø110 мм

Таблица 3 – Результаты испытания цилиндров на сжатие

Тип бетона	ТБ	АБ	НБ1	НБ2	НБ3	НБ4
Средняя прочность в возрасте 28 суток, МПа	38,2	14,2	2,4	8,2	8,1	13,8

3. Испытание моделей буронабивных свай

Испытания проведены в двух грунтовых лотках с искусственно подготовленным основанием. Рабочие размеры лотка №1 1200×1000×1050(н) мм для моделей свай длиной 800 мм и лотка №2 – 1000×1000×500(н) мм для моделей свай длиной 400 мм. Укладку грунта в лотки выполняли слоями толщиной 8-10 см. После отсыпки каждого слоя грунт тщательно уплотняли ручной трамбовкой. Так как при устройстве буронабивных и буровых свай по большинству технологических схем в процессе бурения скважины уплотнение стенок скважины не происходит, то для устройства скважин модельных свай, при укладке грунта в лотки, использовали трубы Ø55 и 110 мм. Расстояние между боковыми гранями труб назначалось таким образом, чтобы исключить взаимовлияние моделей свай друг на друга при испытаниях. После формирования грунтового массива трубы извлекали из грунта и в скважину устанавливали шпильки Ø6 и 12 мм соответственно. Затем скважину заполняли бетонами литой консистенции трех типов: тяжелый бетон (ТБ); бетон на основе напрягающего цемента Ц3 (НБ3); бетон с введением алюминиевой пудры (АБ), для сравнения с напрягающим бетоном.

По истечении месяца, необходимого для набора прочности бетона, были проведены испытания вертикальной выдергивающей нагрузкой (рис. 2). Вырывающее усилие передавалось через стальной трос и систему блоков от рычага в виде кулисы (соотношение плеч 1:10), закрепленной в торце рамы (для моделей Ø55 мм) и гидродомкрат (для моделей Ø110 мм) грузовой рамы. Загрузку производили ступенями в 1/15-1/20 предполагаемой максимальной вырывающей нагрузки. При этом с помощью двух прогибомеров БПАО с ценой деления 0,01 мм измеряли осевое перемещение головы модели сваи в вертикальном направлении. В каждом лотке испытывали одновременно только одну модель сваи. Опыт считался завершенным, когда происходили резкая потеря удерживающей способности грунта основания и выskalзьывание сваи.

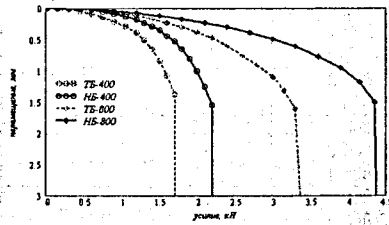
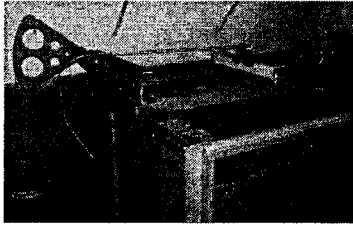


Рисунок 2 – Испытание моделей буронабивных свай Ø55 мм и общий вид графиков «нагрузка - перемещение»

Результаты эксперимента

В проведенных опытах выпор грунта происходил по концентрическим окружностям с образованием равномерно расположенных радиальных трещин, что свидетельствует о вертикальном приложении нагрузки к модели сваи. После осмотра извлеченных свай из грунта было установлено, что их боковые поверхности покрыты сплошным слоем песка, что связано с проникновением цементного молока в грунт контактного слоя и его прилейкой к модели сваи. Таким образом, срыв сваи происходил только из-за сдвига грунта по грунту. Результаты всех проведенных испытаний приведены в таблице 4.

Из анализа результатов следует, что:

- для моделей свай из обычного бетона увеличение предельной вертикальной выдерживающей нагрузки происходит пропорционально с ростом геометрических размеров, что подтверждалось многократно [3, 7, 8];

- для моделей свай из напрягающего бетона, в скважинах разного диаметра, стенки скважины получали разное приращение диаметра, но прирост нагрузки также оказался пропорционален геометрическим размерам, что можно объяснить примерно одинаковой величиной давления на стенки скважины, что не противоречит теоретическим решениям [1, 8, 9];

- использование напрягающего бетона обеспечило плотный контакт сваи с грунтом и, следовательно, увеличило силы трения грунта по боковой поверхности сваи до 30%.

На основании экспериментальных данных можно получить следующее уравнение:

$$Y_{Fdu} = 4,04 + b X_d + c X_L + d X_{\%} + X_d X_L + X_d X_{\%} + X_L X_{\%} \quad (1)$$

где Y_{Fdu} – усилие, воспринимаемое боковой поверхностью сваи; X_L – длина модели сваи; X_d – диаметр модели сваи; $X_{\%}$ – линейное расширение тела сваи, %.

Уравнение (1) позволяет оценить влияние каждого варьируемого фактора в рассматриваемом диапазоне на величину усилия воспринимаемого боковой поверхностью модели.

Таблица 4 – Результаты испытания моделей буронабивных свай из различных типов бетона

Шифр сваи	Предельное выдерживающее усилие (N_{lim}), кН	Предельное перемещение модели (S_{lim}), мм	Среднее предельное сопротивление грунта по боковой поверхности (T_{lim}), кПа
ТБ-55-400-1	1,7	1,39	24,11
ТБ-55-400-2	1,7	1,42	
ТБ-55-400-3	1,6	1,28	
АБ-55-400-1	2,0	1,43	28,93
АБ-55-400-2	1,9	1,28	
АБ-55-400-3	2,1	1,37	
НБ-55-400-1	2,2	1,42	30,87
НБ-55-400-2	2,1	1,33	
НБ-55-400-3	2,1	1,39	

Продолжение табл. 4

ТБ-55-800-1	3,4	1,75	24,11
ТБ-55-800-2	3,2	1,69	
ТБ-55-800-3	3,4	1,79	
АБ-55-800-1	4,5	1,74	29,66
АБ-55-800-2	3,9	1,65	
АБ-55-800-3	3,9	1,51	
НБ-55-800-1	4,5	1,52	31,11
НБ-55-800-2	4,2	1,43	
НБ-55-800-3	4,2	1,48	
ТБ-110-400-1	3,4	1,71	23,88
ТБ-110-400-2	3,2	1,64	
НБ-110-400-1	4,2	1,58	31,48
НБ-110-400-2	4,5	1,65	
ТБ-110-800-1	6,6	2,26	24,42
ТБ-110-800-2	6,9	2,38	
НБ-110-800-1	8,6	2,18	31,84
НБ-110-800-2	9,0	2,25	

Заключение

Проведенные испытания модельных свай на выдергивающую вертикальную нагрузку позволили выделить из общих усилий долю предельных контактных сопротивлений сдвигу по боковой поверхности сваи и оценить влияние типа бетона на эту величину. Использование напрягающего бетона обеспечило плотный контакт сваи с грунтом и, следовательно, увеличило силы трения грунта по боковой поверхности сваи до 30%. Это свидетельствует о целесообразности применения напрягающих бетонов для изготовления буронабивных свай.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Van Impe, W.F. Belgian geotechnics' experts research on screw piles. Belgian Screw Pile Technology – design and recent development. Maertens & Huybrechts eds., Balkema, Rotterdam, 2003.
2. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям / Ф.К. Лапшин. – Изд-во СГУ, 1979. – 152 с.
3. Жуков, Н. В. Расчет коротких свай на осевые вдавливающие нагрузки / Н.В. Жуков // Обзорная информация. – М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1989. – Вып.3. – 72 с.
4. Пойта, П.С. Эффективность применения напрягающих бетонов для изготовления свай в построечных условиях / П.С. Пойта, А.Н. Невейков // Перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II междунар. науч.-практ. конференции. – Гомель: БелГУТ, 2008. – С. 251-252.
5. Испытание сооружений: справочное пособие / Ю.Д. Золотухин [и др.]. – Мн.: Вышш. шк., 1992. – 272 с.
6. СТБ 1335–2002. Цемент напрягающий. – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.
7. Беляев, В.И. О влиянии способа устройства скважины на несущую способность коротких набивных свай / В.И. Беляев, Ю.П. Рудь // Основания, фундаменты и механика грунтов. –1979. – № 4. – С. 14-15.
8. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: монография / М.И. Никитенко – Мн.: БНТУ, 2007. – 508 с.
9. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.