

несколько подземных переходов. Назрела необходимость «уходить» под землю, создавая многофункциональные пространства (транспорт + торговля + досуг + коммунально-бытовое обслуживание). Для определения целесообразности и возможности строительства подземных сооружений в г. Гомеле необходимо разработать ряд нормативных документов, проанализировать инженерно-геологические условия города, сделать технико-экономическое обоснование строительства. Максимальная экономическая эффективность достигнет только в том случае, если подземный транспорт будет взаимодействовать с объектами социально-бытового обслуживания.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Схема развития городского пассажирского транспорта, магистрально-уличной сети г. Гомеля, книга 1. Анализ современного состояния. 79.04-00 ПЗ-1. –НПРУП.
2. Борисик И. Транспортные проблемы белорусских городов / Борисик, И. // Архитектура и строительство.- 2007.- № 4.
3. Сергачев, С. Подземные пространства в архитектуре Китая / Сергачев С, Мин Гуо Сяо // Архитектура и строительство.- 2007.- № 3.

Материал поступил в редакцию 15.01.08

#### MALKOV I.G., TITKOVA T.S. About ways of development of a transport infrastructure of. Gomel

Clause is devoted to questions on the decision of transport problems of large cities of Republic Belarus. In clause the automobile-road system of is described. Gomel. Three problems are opened: congestion of roads, pollution of atmospheric air, safety of movement. The transport problems of concrete city are analysed, the historical digression is made and the ways of the decision are considered.

УДК 624.1+624.15:725.4

Пошта П.С., Шведовский П.В.

### ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Введение.** В общем объёме строительства зданий и сооружений значительную долю занимает устройство подземной части. При этом стоимость фундаментов составляет до 15%, а затраты времени на их возведение – до 25...35% от продолжительности всего строительства. Среди различных типов применяемых фундаментов на долю свайных приходится почти 25%. Следует отметить, что в сложных инженерно-геологических условиях свайные фундаменты зачастую оказываются единственно возможным вариантом. Их применение позволяет получить более экономичные и индустриальные конструктивные решения [1,2].

В настоящее время наиболее распространены забивные сваи. Объём свай, изготавливаемых в грунте, не превышает 10...12% от общего объёма свайных фундаментов. Учитывая это, на наш взгляд, сваям, изготавливаемым непосредственно на строительной площадке, уделяется очень малое внимание. Надёжность и экономичность свайных фундаментов из буронабивных и буровых свай в различных инженерно-геологических условиях, их способность нести большие нагрузки способствует их более широкому распространению.

Но вполне очевидно, что обоснованный выбор наиболее рационального типа и конструкции сваи должен производиться на стадии проектирования, с учетом инженерно-геологических условий площадки, особенностей сооружения, возможностей строительной организации, на основе технико-экономического анализа и сравнения вариантов.

Нами определены сравнительные технико-экономические показатели свайных фундаментов, которые приведены в таблице 1.

Их анализ показывает, что сметная стоимость и трудозатраты забивной сваи больше буронабивной соответственно в 1,26 и 1,35

раза. Если отнести показатели расхода материалов к 10 кН несущей способности, то по расходу металла экономия в буронабивных сваях составляет более 3,0 раз, а по стоимости – 1,26 раза. Буронабивная свая уступает забивной только по расходу бетона – в 1,5 раза. Таким образом, экономическая эффективность применения буронабивных свай очевидна.

**Объект и методика исследований.** Весьма важным является вопрос исследований работы буронабивных свай в различных грунтах. Как известно, сопротивление сваи при любой осадке складывается из сопротивления грунта по боковой поверхности и сопротивления грунта под нижним концом сваи. Особый интерес здесь вызывает вопрос: какая часть несущей способности сваи определяется трением грунта по её боковой поверхности и что остается на сопротивление под нижним концом сваи. Нами проанализированы результаты испытаний буронабивных свай в различных грунтовых условиях, выполненные различными исследованиями (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, испытания буронабивных свай были проведены различными способами: вдавливанием и на выдергивание. Грунтовые условия весьма разнообразны по своему составу и состоянию. Глубина погружения свай различалась до 10 раз. В результате испытаний получено, что расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи в десятки раз больше расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности сваи. Однако доля нагрузки, воспринимаемая боковой поверхностью сваи в предельном состоянии, составляет от 60% до 90%. И только по данным Бахолдина Б.В. и др. [3, 4] на долю, воспринимаемой боковой поверхностью, прихо-

Таблица 1. Техничко-экономические показатели свайных фундаментов, устраиваемых в грунтах I категории

Тип и конструкция свайного фундамента	Сметная стоимость, руб.	Трудозатраты, чел.-ч.	Расход основных материалов		Показатели, отнесенные к 10 кН несущей способности		
			сталь, кг	бетон, м <sup>3</sup>	сталь, кг	бетон, м <sup>3</sup>	стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8
Буронабивная свая (Ø ствола 0,5 м, длина 4,2 м)	36,26	4,2	12,0	0,82	0,27	0,018	0,783
Забивная свая сечением 30х30 см, длина 6,0 м	44,50	5,68	44,0	0,54	0,98	0,012	0,988

Примечание: 1. Для буронабивных свай использован бетон класса C<sup>12/15</sup> (расход цемента 132 кг), для забивных – C<sup>25/30</sup> (расход цемента – 195 кг); 2. Сметная стоимость - в ценах 1991 г.

Пошта Петр Степанович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии, ректор Брестского государственного технического университета.

Шведовский Петр Владимирович, к.т.н., профессор кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

дится 50% нагрузки. С другой стороны, по данным Дзагова А.М. [6], эта доля составляет 96,0%.

Отсюда очевидно, что основная доля несущей способности буровых и буронабивных свай обеспечивается именно за счет трения грунта по боковой поверхности. Следовательно, обеспечение плотного контакта бетона с грунтом по всей длине сваи является весьма важной задачей.

Наибольшее горизонтальное давление на стенки скважины возникает при вибрировании бетонной смеси после укладки очередной порции. По Р.Лермиту [5], внутреннее трение в бетонной смеси под влиянием вибрации исчезает, а давление ее на стенки подчиняется гидростатическому закону.

Тогда горизонтальное давление равно

$$P_z = \gamma_b \cdot h_b, \quad (1)$$

где  $\gamma_b$  – удельный вес бетонной смеси, кН/м<sup>3</sup>;

$h_b$  – толщина слоя бетона, прорабатываемого вибратором, м.

Как показал Лапшин Ф.К. [5], при использовании глубинных вибраторов с радиусом действия 40-80 см, что вполне достаточно при изготовлении свай диаметром 0,6...1,2 м, наибольшее горизонтальное давление на стенки скважины составляет 9,6 кПа.

Однако, вследствие наличия усадочных деформаций при твердении бетона, которые могут быть определены по нижеприведенной формуле:

$$\Delta U = 0,5 \Delta \cdot d, \quad (2)$$

горизонтальное давление бетона на стенки скважины следует определять по формуле:

$$P_z = 8,57 d, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – замеренная величина относительных усадочных деформаций;

$d$  – диаметр скважины, м.

При этом давление  $P_z$  остается постоянным по всей длине сваи, если ее длина больше двух диаметров.

С другой стороны, включение сваи в работу на вертикальную статическую нагрузку приводит к возникновению в массиве грунта дополнительных напряжений.

Радиальные упругие деформации бетонного столба диаметром  $d$  при его загрузке составляют

$$U = \frac{2N}{\pi d E_b} \mu_b, \quad (4)$$

где  $E_b$  и  $\mu$  – соответственно модуль упругости (кПа) и коэффициент поперечного расширения бетона;

$N$  – вертикальная нагрузка на сваю, кН.

Используя решение Ляме, получим величину дополнительного давления на грунт за счет поперечного расширения бетона сваи

$$P_n = \frac{4NE_b \mu_b}{(1 + \mu) \pi d^2 E_b}, \quad (5)$$

где  $E$ ,  $\mu$  – соответственно модуль деформации (кПа) и коэффициент поперечного расширения грунта.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Расчеты  $P_n$  показали, что их значения не превышают 1% от величин, вычисленных по формуле (3). В связи с этим, эти давления в практических расчетах значения не имеют и ими можно пренебречь.

Поперечные пластические деформации в бетоне также можно не учитывать, и даже, как отмечает Р.Лермит [5], такие деформации не существуют.

Исключить данные недостатки возможно, на наш взгляд, применением самоупражного бетона для изготовления буронабивных свай.

Во-первых, в грунте, всегда имеющем определенную влажность, а часто и высокий уровень подземных вод, присутствуют благоприятные условия.

Во-вторых, учитывая весьма значительную глубину погружения таких свай, всегда имеет место существенное давление грунта на сваю. А это является определенным ограничителем при твердении самоупражного бетона, что является весьма позитивным фактором для такого материала. За счет развития объемных деформаций имеет место дополнительное уплотнение грунта как под нижней опорной частью свай, так и по ее боковой поверхности.

Учитывая отсутствие какой-либо информации по данному вопросу, исследование работы буронабивных свай, выполненных из самоупражного бетона, является важным и весьма актуальным.

#### Выводы

1. Выполнен анализ экономических показателей различных свайных фундаментов. Испытания буровых и буронабивных свай в различных грунтовых условиях показали их высокую экономическую эффективность в сравнении с забивными сваями.
2. Результаты натурных испытаний свай, а также и результаты теоретического определения несущей способности свай свидетельствуют о том, что 60%...90% составляет доля, определяемая трением грунта по боковой поверхности сваи.
3. Существующие методы и применяемые материалы для изготовления свай не обеспечивают полного использования несущей способности сваи за счет ее трения по боковой поверхности ввиду отсутствия полного контакта на границе бетон – грунт. Более эффективным решением может быть использование самоупражного бетона для изготовления буронабивных свай.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шведовский П.В., Мальцев А.Т., Соловьев А.В. Выбор оптимальных решений в строительстве. – М., ЦНИИЭПсельстрой, 1990. – 310 с.
2. Кречин А.С., Шведовский П.В., Мальцев А.Т. Ресурсосберегающие фундаменты на сельских стройках. – Кишинев, Карта Молдовеняскэ, 1990. – 246 с.
3. Бахолдин Б.В., Игонькин Н.Т. Исследование сопротивления грунта по боковой поверхности свай. – Сб. докладов и сообщений по свайным фундаментам. – М.: Стройиздат, 1968. – с. 82-88.
4. Работников А.И. О роли сил трения в работе буронабивных свай. – В кн.: Основания и фундаменты. – Киев.: Будівельник. – 1974. – вып. 7. – с. 101-104.
5. Лапшин Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям. – Изд-во Саратовск. Университета. – 1979. – 152 с.
6. Далматов Д.И., Лапшин Ф.К., Россихин Ю.В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. – Л.: Стройиздат, - 1975. – 206 с.
7. Липовой А.У. Исследование влияния напряжений в грунте по боковой поверхности сваи на сопротивление по нижнему торцу // Основания и фундаменты / Киев: Будівельник, - 1982. – вып. 15. – с. 74-77.
8. Трофименко Ю.Г. Совершенствование методов определения несущей способности свай // Труды VIII Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению. – М.: Стройиздат, - 1973. – с. 206-209.
9. Jsmal N.F., Al-Sanad H.A. Uplift capacity of bored piles in calareous soils/ Journ. of Geotech. Engg. – 1986. – V. 112. - № 10. – P. 928-940.
10. Reese L.C., Seed H.B. Pressure Distribution along Friction Piles. Proc. ASCE. – 1985. – P. 1056-1180.

*Материал поступил в редакцию 16.01.08*

#### POJTA P.S., SHVEDOVSKI P.V. Effective designs piles of the bases in engineer-geological conditions of Republic Belarus

In clause the detailed analysis of features of job chisel and drill-stuffed of a pile of the bases is given, and also the comparative analysis of technical and economic parameters of the device piles of the bases factory and platform of manufacturing is given.

Is shown, that the device of the bases from drill-stuffed piles from straining concrete is most effective, that allows at the same bearing ability to lower the charge of concrete in 1,26 times, and expenditure of labour - 1,35 times.