



УДК 624.131.524.4:624.131.35

Гончаров Б.В. – доктор технических наук, профессор

Хабибуллин И.И. – аспирант

Гареева Н.Б. – доктор технических наук, профессор

Галимнурова О.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: galimnurova@mail.ru

Уфимский государственный нефтяной технический университет

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА СВАЮ-КОЛОННУ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются результаты численных исследований, показывающие существенное отличие в характере взаимодействия сваи-колонны с массивом грунта при действии горизонтальной нагрузки от модели работы гибкой сваи бесконечной длины. Обосновывается предположение, что между величиной предельной нагрузки на сваю-колонну и лобовым сопротивлением грунта при зондировании имеется корреляционная связь. Приводятся совместные результаты испытаний свай и статического зондирования. Подтверждается тесная корреляционная связь этих величин. Для практических расчетов предлагается формула для определения предельной горизонтальной нагрузки по данным зондирования с учетом размеров свай-колонн, глубины погружения и процента армирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: свая-колонна, бесконечно длинная балка, предельная горизонтальная нагрузка, статическое зондирование, коэффициент постели, бесконечно длинная гибкая свая.

Goncharov B.V. – doctor of technical sciences, professor

Khabibullin I.I. – post-graduate student

Gareeva N.B. – doctor of technical sciences, professor

Galimnurova O.V. – candidate of technical sciences, associate professor

Ufa State Petroleum Technical University

EXPRESS-METHOD OF THE ESTIMATION OF LIMITING HORIZONTAL LOADING ON THE PILE-COLUMN ACCORDING TO STATIC SOUNDING

ABSTRACT

Results of the numerical investigations that show the essential differences in the interaction of the pile-column and soil mass under the lateral load of the infinitely long slender pile model are presented. The supposition of the correlation between the value of the pile-column limit load and resistance under the probe tip while CPT is validated. The combined results of the pile test and CPT are given. The close correlation of these values is confirmed. The formula for the limit lateral load determination by CPT data with account of pile-column dimensions, penetration depth and reinforcement percent for the practical design is suggested.

KEYWORDS: pile-column, infinitely long beam, limit lateral load, CPT, coefficient of subgrade reaction, infinitely long slender pile.

Сваи-колонны в строительстве производственных и сельскохозяйственных зданий, а также при сооружении свайных опор трубопроводов показали высокую эффективность, по сравнению с традиционными типами фундаментов, по расходу материалов, стоимости и трудозатратам [1]. Технология забивки свай-колонн с применением мобильных копров позволяет использовать забивные сваи длиной до 10 м с погружением на проектную глубину до 5,0...8,0 м. При этом должны быть соблюдены требования: погружение всех свай на площадке точно на проектную отметку и сохранность голов свай для последующих работ.

Для соблюдения первого требования в институте БашНИИстрой разработана методика расчета свай-колонн на вертикальную нагрузку по данным зондирования при обеспечении погружения на заданную отметку [2]. Имея данные зондирования по площадке, желательно иметь и метод расчета свай на действие горизонтальной нагрузки с использованием этих данных.

Сваи-колонны имеют глубину погружения в зависимости от высоты здания до $l_0=5,0\dots 8,0$ м. Такие сваи, имеющие отношение глубины погружения к размеру стороны сваи $l_0/d \leq 20\dots 25$, в проектной практике называют сваями конечной длины и жесткости. Экспериментальные исследования В.Н. Голубкова [3] показали, что характер взаимодействия таких свай с грунтом можно представлять защемлением сваи на некоторой глубине. При дальнейшем увеличении длины сваи [4] появляется точка перегиба и характер взаимодействия сваи с грунтом усложняется.

Действующий нормативный документ СП-50-102-203 [5] рекомендует использовать для расчета предельной горизонтальной нагрузки модель взаимодействия гибкой бесконечно длинной сваи. Основной расчетной характеристикой грунта принимается величина коэффициента пропорциональности K , равная величине коэффициента постели на глубине $Z=1,0$ м, которая увеличивается пропорционально глубине погружения сваи. Величина коэффициента пропорциональности K определяется по таблицам в зависимости от индекса текучести грунта I_L [5].

На кафедре «Автомобильные дороги и технология строительного производства» Уфимского государственного нефтяного технического университета выполнены численные и полевые исследования на трех грунтовых площадках, основные характеристики грунтов площадок приведены в табл. 1.

Численные исследования характера взаимодействия сваи конечной длины и жесткости с глубиной погружения $l_0=5,0$ м выполнялись по грунтовым характеристикам площадки № 2 из трех намеченных для натурных исследований в полевых условиях.

Таблица 1

Основные характеристики грунтов площадок №№ 1, 2, 3

Наименование площадки	I_L	q_s , МПа	w	e
Площадка № 1	0,21	2,4	0,19	0,67
Площадка № 2	0,41	1,7	0,25	0,72
Площадка № 3	0,65	0,9	0,29	0,81

Полученная деформационная картина взаимодействия сваи с грунтовым массивом (рис. 1) не позволяет четко выяснить глубину предполагаемого защемления [3], а также определить точку перегиба (центр поворота) сваи [4]. Эти результаты показывают, что модель взаимодействия сваи-колонны с грунтовым массивом значительно отличается от модели, рекомендуемой для гибких длинных свай СП-50-102-2003 [5]. Поэтому нельзя рассчитывать на достаточно достоверный результат при расчете предельной горизонтальной нагрузки на сваю-колонну.

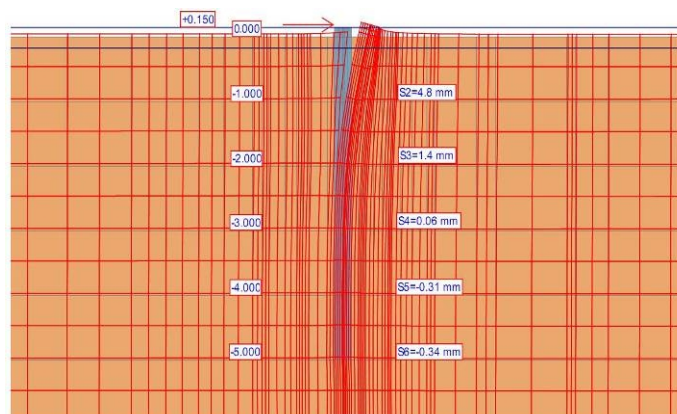


Рис. 1. Деформационная схема взаимодействия сваи с грунтовым массивом на площадке 2

При расчете величины коэффициента постели по формуле, полученной в результате теоретических исследований с использованием модели сваи в виде узкой балки на упругом основании при плоской задаче [6, 7], он определяется по формуле 1

$$K = \frac{p \cdot E_0}{2(1 - m^2) \cdot d \cdot \ln(4a)} \quad (1)$$

где E_0 – модуль деформации, определяемый по штамповым испытаниям, МПа; m – коэффициент Пуассона; d – размер поперечного сечения сваи, м; $a = l_0/d$.

Имеются результаты полевых исследований, показывающие, что величина модуля деформации пропорциональна величине лобового сопротивления грунта q_s при зондировании, и представляющие ее в виде простой линейной зависимости [8, 9, 10].

$$E = A \cdot q_s, \quad (2)$$

где A – эмпирический коэффициент; q_s – лобовое сопротивление при зондировании грунта.

Учитывая это, для проведения полевых исследований принята следующая рабочая гипотеза:

– так как величина коэффициента постели пропорциональна лобовому сопротивлению грунта при зондировании q_s , следует ожидать наличие корреляционной связи между величиной предельной горизонтальной нагрузки и величиной лобового сопротивления при зондировании грунта;

– глубина погружения свай-колонн не превышает 7,0...8,0 м, а площадки для строительства зданий со сваями-колоннами выбираются по данным зондирования с условием отсутствия резкого изменения прочностных свойств грунта по глубине, поэтому можно допустить использование в расчетах средней величины q_s , что равносильно предположению о постоянной средней величине коэффициента постели по глубине.

Были проанализированы результаты выполненных статических испытаний свай на горизонтальную нагрузку. На каждой площадке были рассмотрены результаты статических испытаний (4...5) забивных железобетонных свай сечением 30x30 см, длиной 6,0 м, армированных четырьмя продольными стержнями арматуры диаметром 14...16 мм и проволочными каркасами, погруженных на 5,0 м. График испытаний, выполненных на площадке № 2, приведен на рис. 2.

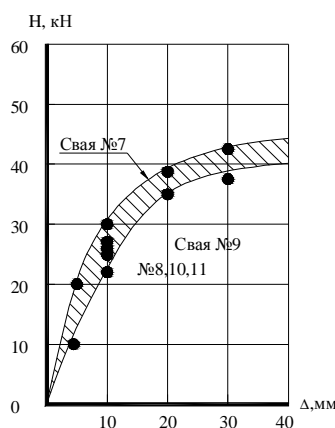


Рис. 2. График испытаний свай на горизонтальную нагрузку на площадке № 2

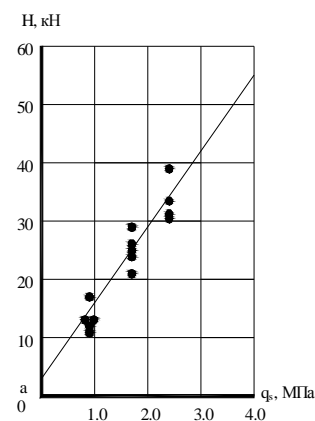


Рис. 3. График экспериментальной зависимости $H=f(q_s)$

Действующие нормативные документы не содержат рекомендаций по величине предельного перемещения сваи в уровне грунта для определения предельной нагрузки. В проектной практике для забивных свай величина перемещения сваи в уровне грунта принимается равной $\Delta 10$ мм.

Результаты испытаний свай с глубиной погружения 5,0 м на трех площадках и данные зондирования представлены в виде графика на рис. 3. По результатам статистической обработки установлена устойчивая корреляционная связь, подтверждаемая величиной коэффициента корреляции, равной 0,87.

Корреляционное уравнение имеет вид

$$H = 0,31 + 14,3bq_s, \quad (3)$$

где H – величина предельной горизонтальной нагрузки, кН;

b – коэффициент, равный единице и имеющий размерность [м];

q_s – величина лобового сопротивления зондированию, МПа.

Для использования зависимости (3) в практике проектирования дополнительно по результатам испытаний свай на горизонтальную нагрузку проведено исследование влияния характера армирования сваи, глубины погружения и размера поперечного сечения сваи.

Методика исследования влияния арматуры заключалась в сравнении величины предельной горизонтальной нагрузки на сваи с разным армированием на трех описанных выше площадках с

результатами испытаний эталонных свай сечением 30x30 см с основным армированием четырьмя стержнями Ø 14...16 мм. Величина коэффициента K_a , учитывающего влияние армирования, оценивалась отношением величины предельной нагрузки на проектируемую сваю к предельной нагрузке на эталонную сваю. На рис. 4 представлены результаты испытаний свай с различным армированием, отличающимся от армирования эталонных свай.

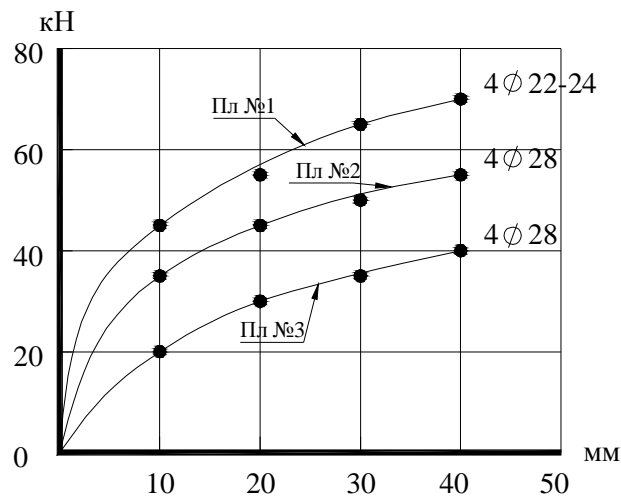


Рис. 4. Результаты испытаний свай с различным армированием

По такой же методике были определены и коэффициенты влияния размера поперечного сечения (стороны) сваи K_d и коэффициента, оценивающего влияние глубины погружения сваи K_L . Величины расчетных коэффициентов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Величины расчетных коэффициентов K_a , K_d , K_L

Коэффициент	Характер армирования	Величина коэффициента
K_a	4 Ø14...16 мм	1,0
	4 Ø 22...24 мм	1,2
	4 Ø 28 мм	1,3
K_d	30 x 30 см	1,0
	25 x 25 см	0,8
	20 x 20 см	0,6
K_L	$3,0 \leq l \leq 5,0$	0,8
	$l = 5,0$	1,0
	$5,0 < l$	1,1

Для практических расчетов предлагается расчетная формула

$$H = K_a \cdot K_d \cdot K_L(0,31 + 14,3 q_s). \tag{4}$$

Таким образом, разработан экспресс-метод определения предельной горизонтальной нагрузки на сваю-колонну по данным статического зондирования на стадии проектных изысканий без проведения статических испытаний свай, что позволяет значительно снизить стоимость и сократить сроки проектирования зданий со сваями-колоннами.

Сравнение результатов расчетов свай-колонн по рекомендациям СП-50-102-2003 с результатами статических испытаний контрольных свай на трех описанных выше площадках для всего интервала грунтов показало, что величина расхождения составляет от 25 до 130 %.

Сравнение результатов расчетов с использованием предлагаемого метода в тех же грунтовых условиях показало величины расхождений от 8 до 18 % от результатов испытаний контрольных свай.

Эти данные позволяют рекомендовать предлагаемый метод при расчете свай-колонн производственных зданий и других сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров Б.В., Рыжков И.Б. О безотходной технологии погружения свай // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1990, № 4. – С. 15-17.
2. Гончаров Б.В., Рыжков И.Б., Гареева Н.Б. Использование зондирования для проектирования фундаментов. ТР БашНИИстрой // Вопросы фундаментостроения, вып. 74, т. 2. Зондирование, технология. – Уфа, 2006. – С. 7-59.
3. Голубков В.Н. Несущая способность свайных оснований. – Машстройиздат, 1950. – 140 с.
4. Лалетин Н.В. Основания и фундаменты. – М.: Высшая школа, 1964. – 349 с.
5. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и устройство свайных фундаментов СП 50-102-2003.
6. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. – 635 с.
7. Сорочан Е.А., Трофименков Ю.Г. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 479 с.
8. Трофименков Ю.Г., Воробков П.Н. // Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. – М.: Стройиздат, 1981. – 213 с.
9. Гареева Н.Б., Рыжков И.Б. Об определении модуля деформации грунтов статическим зондированием // Сб. трудов НИИпромстрой. – Уфа, 1984. – С. 94-99.
10. Саиглера Г. Исследование грунтов методом зондирования с применением пенетromетра. – М.: Стройиздат, 1971. – 232 с.

REFERENCES

1. Goncharov B.V., Ryzhkov I.B. About technology of immersing of piles Pout waste // Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov, 1990, № 4. – P. 15-17.
2. Goncharov B.V., Ryzhkov I.B., Gareyev N.B. Use of sounding for designing of the bases. TR. BashNIISTroy // Voprosi fundamentostroeniya, edition 74, vol. 2. Sounding, technology. – Ufa, 2006. – P. 7-59.
3. Golubkov V.N. Bearing ability of the pile bases. – Mashstroyizdat, 1950. – 140 p.
4. Laletin N.V. Bas and the bases. – M: «Visshaya shkola», 1964. – 349 p.
5. The arch corrected on designing and building. Designing and the device of the pile bases of the SP 50-102-2003.
6. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A. Calculation of designs on the elastic basis. – M: Stroyizdat, 1984. – 635 p.
7. Sorochan E.A., Trofimenkov Yu.G. Reference book of the projectors. The bases, the bases and underground constructions. – M: Stroyizdat, 1985. – 479 p.
8. Trofimenkov J.G., Vorobkov P.N. // Field methods of research of building properties subgrades. – M: Stroyizdat, 1981. – 213 p.
9. Gareeva N.B., Ryzhkov I.B. About definition of the module of deformation subgrades static sounding // Collection works NIIPromstroy. – Ufa, 1984. – P. 94-99.
10. Saiglera G. Research subgrades a method of sounding with application penetrometr. – M: Stroyizdat, 1971. – 232 p.