

Сопrotивляемость моделей пирамидально-призматических свай статической выдергивающей нагрузке

Аннотация. В статье изложены результаты испытаний моделей свай с разной продольной формой при действии статической выдергивающей нагрузки, выполненных в лабораторных условиях. Выявлено, что сопротивляемость пирамидально-призматических свай может быть как больше, так и меньше сопротивляемости призматических и пирамидальных свай. Установлено, что увеличение длины пирамидальной части сваи, а также размера ее сечения по верху приводит к повышению сопротивляемости пирамидально-призматических свай выдергивающей нагрузке. Так, сопротивляемость данных свай в 1,28–1,85 раза выше сопротивляемости призматической сваи с размерами сечения 20×20 см и на 8–36% ниже сопротивляемости призматической сваи с размерами сечения 30×30 см и пирамидальной сваи (с размерами сечения по верху 30×30 см и по низу – 20×20 см). Получены корреляционные зависимости, позволяющие производить сравнительную оценку сопротивляемости пирамидально-призматических свай относительно несущей способности свай с традиционными формами продольного сечения (призматическими и пирамидальными сваями).

Ключевые слова: модель, пирамидально-призматическая свая, призматическая свая, пирамидальная свая, выдергивающая нагрузка.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2021-134-1-7-19

Введение

Изучение особенностей работы свай, обладающих нетрадиционными продольными формами, представляет значительный интерес для геотехнической практики. К одним из таких свай относятся пирамидально-призматические сваи (далее – ППС), имеющие пирамидальную (верхнюю) и призматическую (нижнюю) части [1]. При забивке ППС в процесс уплотнения окружающего их грунта вовлекается больший объем грунта, чем при забивке традиционных призматических свай. Это связано с наличием наклонных боковых граней в верхней части ППС, благодаря которым вдоль них формируются силы активного отпора грунта. Результаты исследований, подтверждающие положительное влияние наклонных граней свай на их сопротивляемость внешним нагрузкам, представлены в работах [2–4].

ППС по продольной форме занимают промежуточное положение между пирамидальными и призматическими сваями. Эти свайные конструкции, разработанные в геотехнической лаборатории Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати под опоры гидротехнических сооружений, отличаются новизной и к настоящему времени особенности их забивки и работы под нагрузкой находятся на стадии исследования.

Результаты ранее выполненной предварительной расчетной оценки, представленные в работах [5,6], показывают, что форма пирамидально-призматических свай оказывает существенное влияние на их несущую способность к вертикальным вдавливающим нагрузкам.

В настоящей работе представлены результаты лабораторных испытаний моделей ППС на действие статической выдергивающей нагрузки.

Цель работы заключается в оценке сопротивляемости ППС при действии выдергивающей нагрузки.

Для достижения указанной цели в качестве задач исследований служили:

- проведение испытаний выдергивающими нагрузками моделей ППС с разной длиной их

пирамидального участка и разными размерами верха их поперечного сечения;

- проведение испытаний моделей пирамидальной и призматической свай;
- сравнительная оценка сопротивляемости моделей ППС и моделей свай пирамидальной и призматической форм выдергивающим нагрузкам;
- оценка влияния длины пирамидального участка и размеров верха поперечного сечения ППС на их сопротивляемость выдергиванию.

Методика исследований и характеристики моделей свай

Исследования проводились с использованием малых моделей свай. Масштаб моделирования принят равным 1:10. Программой исследований предусматривалось проведение трех серий испытаний. Первая серия испытаний проводилась с применением моделей ППС, отличающихся между собой длиной пирамидального участка, вторая серия – размерами поперечного сечения верха пирамидального участка (при минимальной длине пирамидального участка) и третья серия - размерами поперечного сечения верха пирамидального участка (при максимальной длине пирамидального участка).

Модели свай изготовлены методом наплавливания (FDM) и распечатаны на 3d принтере (StratasysLtd). Расходным материалом является пластик ABSPlus. Отклонения размеров моделей в технологическом процессе 3d-печати не превышает 0,02 мм.

Модели ППС первой серии испытаний изготовлены с размерами сечения: пирамидального участка поверху - 30×30 мм; пирамидального участка понизу - 20×20 мм; призматического участка – 20×20 мм. Длина пирамидального участка моделей ППС принималась 10, 20, 30 и 40 см.

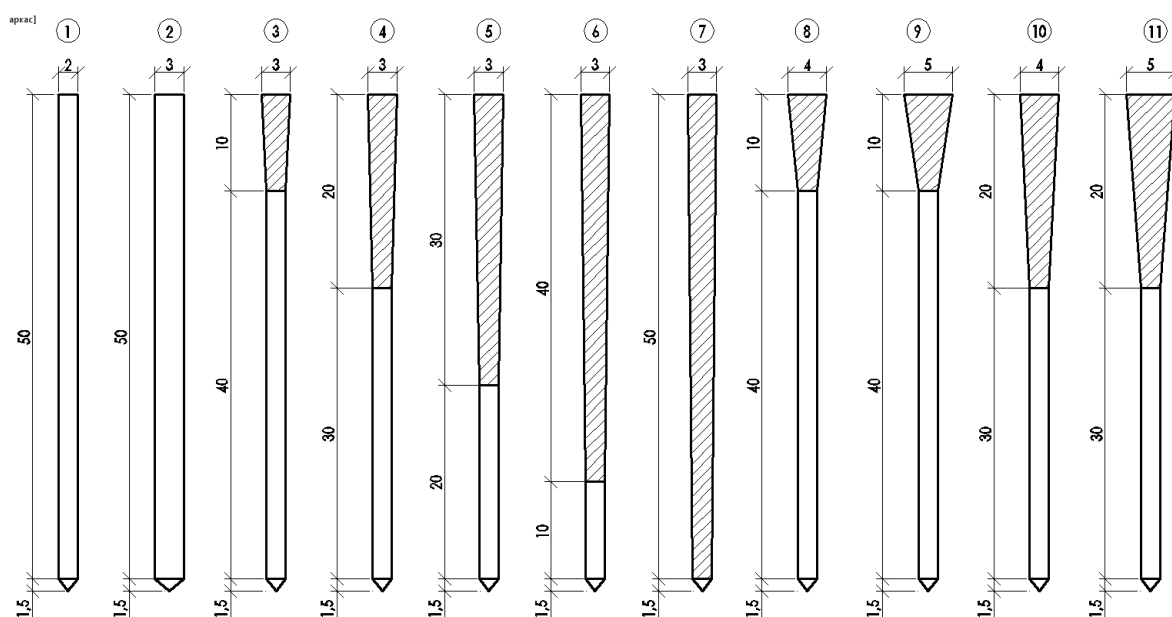
Модели ППС второй серии испытаний изготовлены с размерами сечения: пирамидального участка поверху - 30×30 мм, 40×40 мм и 50×50 мм; пирамидального участка понизу - 20×20 мм; призматического участка – 20×20 мм. Длина пирамидального участка моделей ППС принята равным 10 см (минимальная длина, принятая в исследованиях).

Модели ППС третьей серии испытаний изготовлены с размерами сечения: пирамидального участка поверху - 30×30 мм, 40×40 мм и 50×50 мм; пирамидального участка понизу - 20×20 мм; призматического участка – 20×20 мм. Длина пирамидального участка моделей ППС принята равным 20 см (максимальная длина, принятая в исследованиях).

В качестве контрольных (сравниваемых) моделей в первой серии испытаний приняты: модель призматической сваи с размерами поперечного сечения 20×20 мм, модель призматической сваи с размерами поперечного сечения 30×30 мм и модель пирамидальной сваи с размерами сечения в верхней части 30×30мм, а в нижней части – 20×20 мм. Уклон боковых граней модели пирамидальной сваи к вертикали составил $i_p = 0,01$. Во второй и третьей сериях испытаний в качестве контрольных моделей были приняты: модель призматической сваи с размерами поперечного сечения 20×20 мм и модель призматической сваи с размерами поперечного сечения 30×30 мм.

Длина всех моделей составила 50 см. Схемы моделей свай и фрагменты их испытаний представлены на рисунке 1.

Эксперименты проводились в грунтовом лотке, оснащенном многоцелевым навесным лабораторным оборудованием. Особенности, принцип и порядок работы использованного оборудования изложены в работе [7]. В качестве модели грунта в лотке принят послойно уплотненный насыпной грунт – песок средней крупности однородного состава. Осредненные значения влажности песчанного грунта составили 3,35-3,85%, а плотности - 1,4-1,5 г/см³. Статические испытания моделей свай на действие выдергивающей нагрузки выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2012 [8]. При этом выдергивающая нагрузка на модели свай прикладывалась до полного их извлечения из грунта.



а)

1-модель призматической сваи сечением 20×20 мм; 2-модель призматической сваи сечением 30×30 мм; 3-модель ППС размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 10 см; 4-тоже, модель с участком длиной 20 см; 5-тоже, модель с участком длиной 30 см; 6-тоже, модель с участком длиной 40 см; 7- модель пирамидальной сваи с размерами сечения по верху 30×30 мм, понизу 20×20 мм; 8- модель ППС размерами сечения поверху 40×40 мм и пирамидальным участком длиной 10 см; 9- модель ППС размерами сечения поверху 50×50 мм и пирамидальным участком длиной 10 см; 10-модель ППС размерами сечения поверху 40×40 мм и пирамидальным участком длиной 20 см; 11- модель ППС размерами сечения поверху 50×50 мм и пирамидальным участком длиной 20 см.



б)

Рисунок 1. Схемы моделей свай (а) и фрагменты их испытаний (б)

Результаты исследований

Результаты испытаний моделей свай первой серии на действие выдергивающей нагрузки представлены на рисунке 2 и в таблицах 1 и 2. Сравнительная оценка сопротивляемости моделей свай действию выдергивающей нагрузки выполнялась на основе коэффициента относительной

эффективности моделей свай по выдергиванию $K_{вр}$, принятому в виде отношения несущей способности модели ППС $F_{d,вр}$ (при выдергивании) к аналогичному силовому параметру контрольной модели сваи. При этом несущая способность свай устанавливалась в соответствии с требованиями свода правил [8].

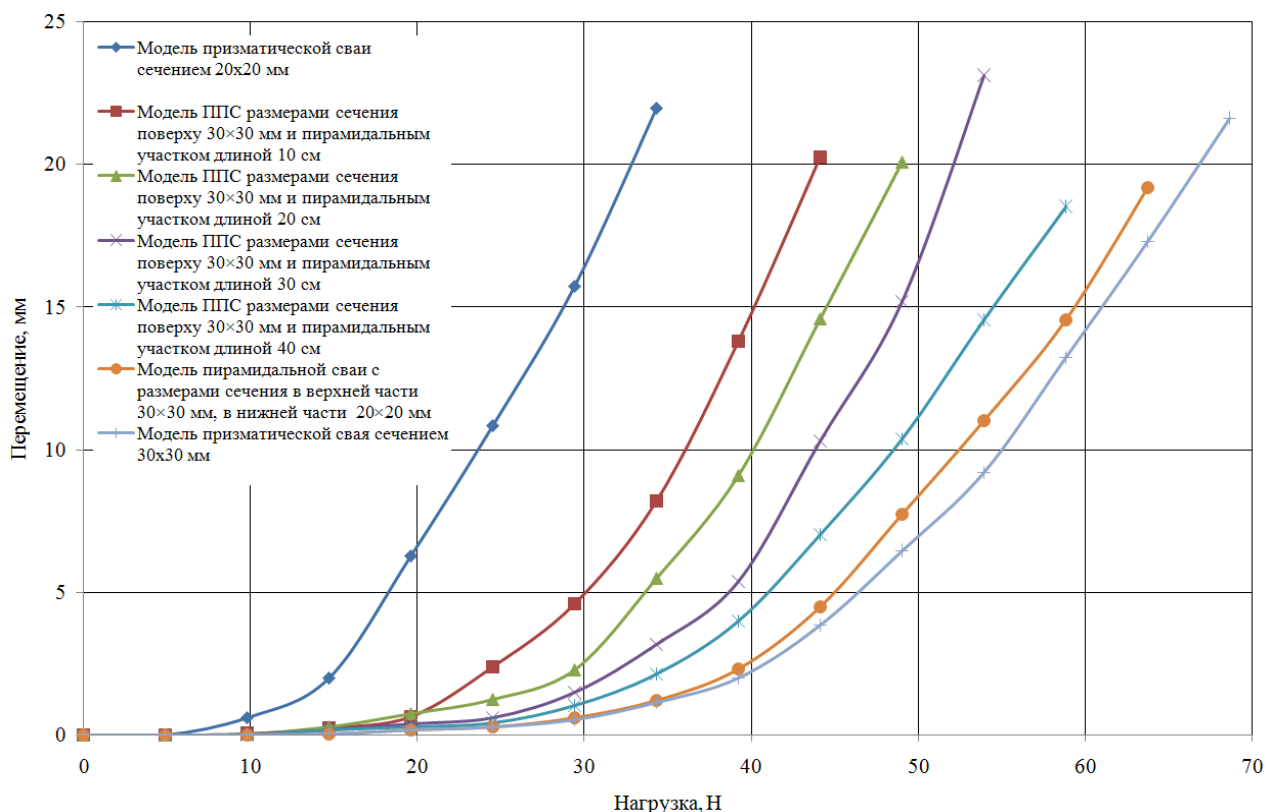


Рисунок 2. Зависимость вертикального перемещения моделей свай от статической выдергивающей нагрузки (первая серия испытаний)

Таблица 1
Значения несущей способности моделей свай при выдергивающей нагрузке (первая серия испытаний)

№	Вид модели сваи	Несущая способность, $F_{d,v}$, Н
1	Призматическая свая сечением 20×20 мм	34,5
2	Призматическая свая сечением 30×30 мм	68,9
3	Пирамидальная свая	63,9
4	ППС размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 10 см	44,3
5	ППС размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 20 см	49,0
6	ППС размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 30 см	54,0
7	ППС размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 40 см	59,0

Таблица 2

Значения коэффициентов относительной эффективности по выдергиванию (первая серия испытаний)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов для опытных моделей свай с длиной пирамидального участка			
	10 см	20 см	30 см	40 см
K_{vp1}	1,28	1,42	1,56	1,71
K_{vp2}	0,64	0,71	0,78	0,85
K_{vp3}	0,69	0,76	0,84	0,92

Примечание: K_{vp1} , K_{vp2} , K_{vp3} - коэффициенты, относящиеся соответственно к моделям свай призматической формы с размерами сечения 20×20 мм, свай призматической формы с размерами сечения 30×30 мм и свай пирамидальной формы.

По результатам первой серии испытаний (таблица 2) установлено следующее:

- несущая способность модели ППС при выдергивании в 1,28-1,71 раза превышает аналогичный показатель модели призматической свай с размерами сечения 20×20 мм;
- по сравнению с моделью призматической свай сечением 30×30 мм и моделью пирамидальной свай (с размерами сечения в верхней части 30×30 мм и в нижней части - 20×20 мм) несущая способность модели ППС на 8-36% ниже;
- увеличение длины пирамидальной части модели ППС в 2-4 раза приводит к повышению ее сопротивляемости выдергиванию в 1,11-1,33 раза.

Данные, представленные в таблице 2, математически описываются следующей линейной функцией:

$$K_{vp} = al + v, \quad (1)$$

где: l - длина пирамидального участка модели ППС, см; a и v - коэффициенты, принимаемые по таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов a и v в формуле (1)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации (R^2)
	a , 1/см	v	
K_{vp1}	0,014	1,135	0,999
K_{vp2}	0,007	0,57	1,0
K_{vp3}	0,007	0,61	0,999

Результаты испытаний, представленные в таблице 2, позволяют получить следующие корреляционные зависимости

$$F_{ППС} = F_{vp1} + \Delta_F, \quad (2)$$

$$F_{ППС} = F_{vp2} - \Delta_F, \quad (3)$$

$$F_{ППС} = F_{vp3} - \Delta_F, \quad (4)$$

$$\Delta_F = 2l + \partial, \quad (5)$$

где: F_{vp1} , F_{vp2} , F_{vp3} - несущая способность соответственно модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм, модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм и модели сваи пирамидальной формы с размерами сечения в верхней части 30×30 мм и в нижней части - 20×20 мм, Н; ΔF – разница между значениями несущей способности опытных и контрольных свай, Н; ζ и δ - коэффициенты, принимаемые по таблице 4; l – тоже, что и в формуле (1).

Таблица 4

Значения коэффициентов ζ и δ в формуле (5)

Величина ΔF в формуле	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации (R^2)
	ζ , Н/см	δ , Н	
(2)	0,491	4,8	0,999
(3)	-0,491	29,6	0,999
(4)	-0,491	24,6	0,999

Результаты испытаний моделей свай второй серии на действие выдергивающей нагрузки представлены на рисунке 3 и в таблицах 5 и 6.

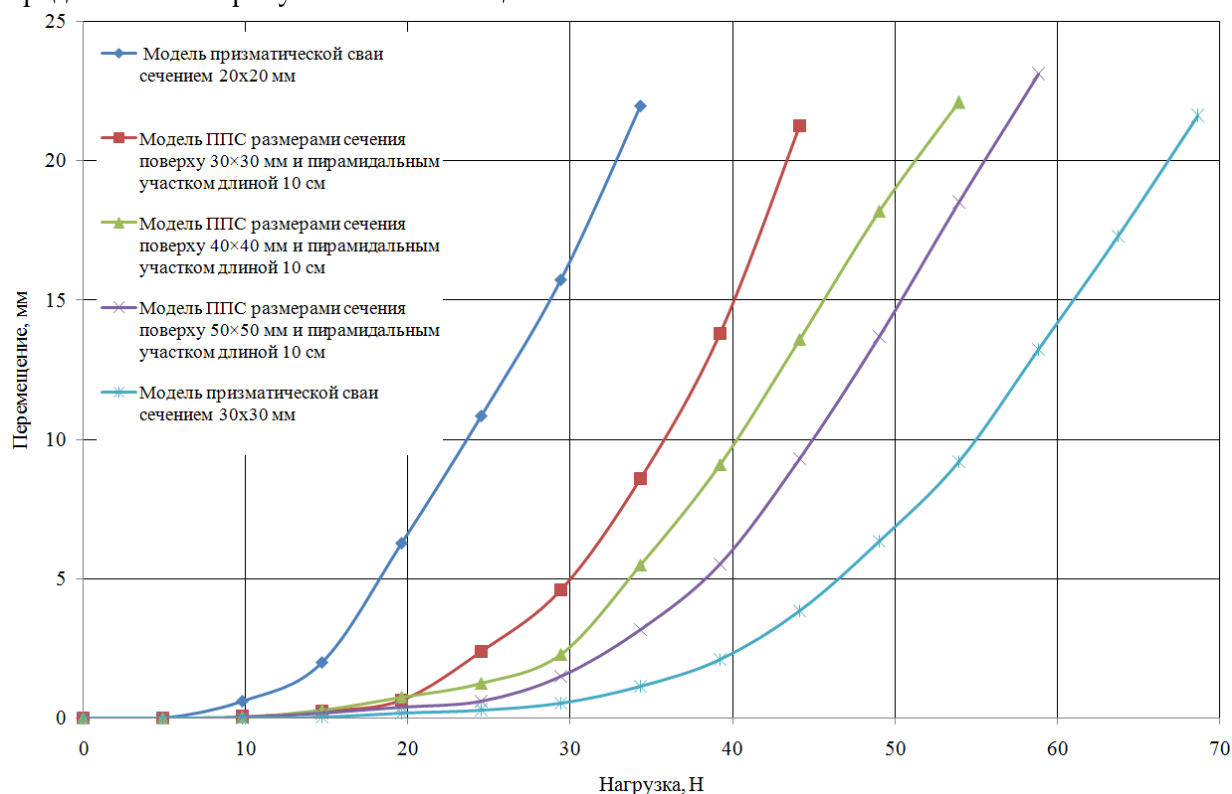


Рисунок 3. Зависимость вертикального перемещения моделей свай от статической выдергивающей нагрузки (вторая серия испытаний)

Таблица 5

Значения несущей способности моделей свай $F_{d,v}$ при выдергивающей нагрузке (вторая серия испытаний)

№	Вид модели сваи	Несущая способность, $F_{d,v}$, Н
1	Призматическая свая сечением 20×20 мм	34,5
2	Призматическая свая сечением 30×30 мм	68,9
3	ППС размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 10 см	44,3
4	ППС размерами сечения поверху 40×40 мм и пирамидальным участком длиной 10 см	54,1
5	ППС размерами сечения поверху 50×50 мм и пирамидальным участком длиной 10 см	59,2

Таблица 6

Значения коэффициентов относительной эффективности по выдергиванию (вторая серия испытаний)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов для опытных моделей свай с размерами пирамидального участка		
	30х30/ 20х20 (10 см)	40х40/ 20х20 (10 см)	50х50/ 20х20 (10 см)
K_{vp1}	1,27	1,57	1,71
K_{vp2}	0,63	0,78	0,86

Примечание:

- K_{vp1} , K_{vp2} - коэффициенты, относящиеся соответственно к моделям сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм, сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;
- Перед чертой даны размеры поперечного сечения пирамидального участка сваи в верхней части, а после черты – в нижней части (в см);
- В скобках представлена длина пирамидального участка сваи.

Результаты второй серии испытаний позволяют выявить следующее:

- несущая способность модели ППС при выдергивании в 1,28-1,71 раза больше несущей способности модели призматической сваей с размерами сечения 20×20 мм;
- сопротивляемость модели ППС выдергивающей нагрузке снижается на 14-36% по сравнению сопротивляемостью модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм;
- увеличение размера сечения верхней части пирамидального участка модели ППС в 1,33 и 1,66 раза вызывает увеличение ее несущей способности соответственно в 1,22 и 1,34 раза.

Данные, представленные в таблице 6, математически описывают следующей линейной функцией

$$K_{vp} = cd + t \quad (6)$$

где: d - размер сечения верхней части пирамидального участка, см; c и t - коэффициенты, принимаемые по таблице 7.

Таблица 7

Значения коэффициентов c и t в формуле (6)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации (R^2)
	$c, 1/см$	t	
K_{vp1}	0,026	1,080	0,928
K_{vp2}	0,013	0,534	0,928

Результаты испытаний (второй серии), представленные в таблице 6, позволяют получать следующие корреляционные зависимости

$$F_{ППС} = F_{vp1} + \Delta_F, \quad (7)$$

$$F_{ППС} = F_{vp2} - \Delta_F, \quad (8)$$

$$\Delta_F = nd + m, \quad (9)$$

где: F_{vp1} , F_{vp2} , Δ_F – тоже, что и формулах (2) и (3); n и m – коэффициенты, принимаемые по таблице 8; d – тоже, что и в формуле (6).

Таблица 8

Значения коэффициентов n и m в формуле (9)

Величина Δ_F в формуле	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации (R^2)
	$n, Н/см$	$m, Н$	
(7)	0,914	-2,795	0,937
(8)	-39,25	31,60	0,937

Результаты испытаний моделей свай третьей серии на действие выдергивающей нагрузки представлены на рисунке 4 и в таблицах 9 и 10.

Таблица 9

Значения несущей способности моделей свай $F_{d,v}$ при выдергивающей нагрузке (третья серия испытаний)

№	Вид модели сваи	Несущая способность, $F_{d,v}$, Н
1	Призматическая свая сечением 20×20 мм	34,5
2	Призматическая свая сечением 30×30 мм	68,9
3	ППС размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 20 см	49,0
4	ППС размерами сечения поверху 40×40 мм и пирамидальным участком длиной 20 см	59,1
5	ППС размерами сечения поверху 50×50 мм и пирамидальным участком длиной 20 см	63,9

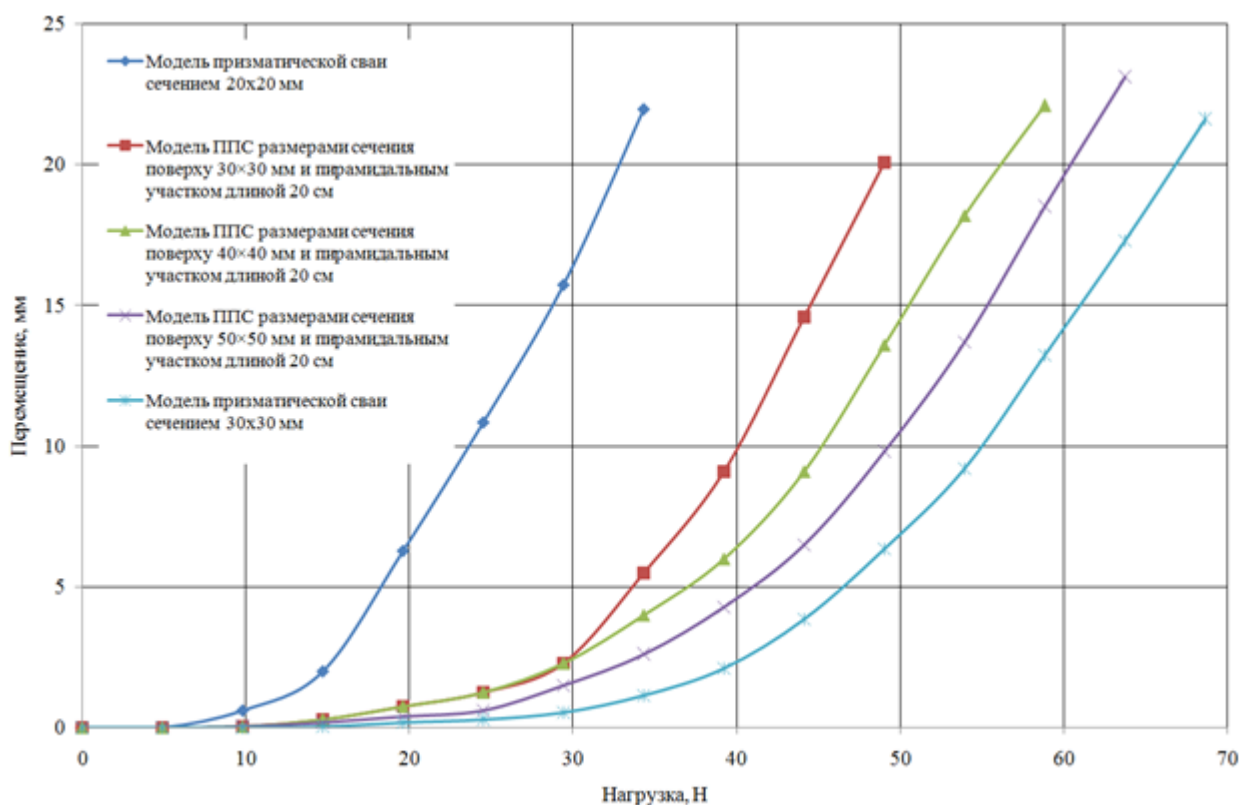


Рисунок 4. Зависимость перемещения моделей свай от статической выдергивающей нагрузки (третья серия испытаний)

Таблица 10
Значения коэффициентов относительной эффективности по выдергиванию (третья серия испытаний)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов для опытных моделей свай с размерами пирамидального участка		
	30x30/ 20x20 (20 см)	40x40/ 20x20 (20 см)	50x50/ 20x20 (20 см)
K_{vp1}	1,41	1,71	1,85
K_{vp2}	0,70	0,85	0,92

Примечание:

- K_{vp1} , K_{vp2} - коэффициенты, относящиеся соответственно к моделям сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм, сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;
- Перед чертой даны размеры поперечного сечения пирамидального участка сваи в верхней части, а после черты – в нижней части (в см);
- В скобках представлена длина пирамидального участка сваи.

Результаты испытаний третьей серии позволяют установить следующее:

- несущая способность модели ППС при выдергивании в 1,42-1,85 раза больше несущей способности модели призматической сваи сечением 20×20 мм;
- сопротивляемость модели ППС выдергиванию на 8-29% ниже сопротивляемости модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм;

- увеличение размеров сечения верхней части пирамидального участка модели ППС в 1,33 и 1,66 раза вызывает увеличение ее сопротивляемости выдергиванию в 1,20-1,29 раза.

Данные, представленные в таблице 10, математически описывают следующей линейной функцией

$$K_{vp} = rd + f, \quad (10)$$

где: K_{vp} - коэффициент относительной эффективности по выдергиванию ППС; d - то же, что и в формуле (9); r и f - коэффициенты, принимаемые по таблице 11.

Таблица 11

Значения коэффициентов r и f в формуле (10)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации (R^2)
	$r, 1/см$	f	
K_{vp1}	0,026	1,220	0,928
K_{vp2}	0,012	0,612	0,932

Результаты испытаний (третьей серии), представленные в таблице 10, позволяют получать следующие корреляционные зависимости

$$F_{ППС} = F_{vp1} + \Delta_F, \quad (11)$$

$$F_{ППС} = F_{vp2} - \Delta_F, \quad (12)$$

$$\Delta_F = kd + p, \quad (13)$$

где: F_{vp1} , F_{vp2} , Δ_F - то же, что и формулах (7) и (8); k и p - коэффициенты, принимаемые по таблице 12; d - то же, что и в формуле (9).

Таблица 12

Значения коэффициентов k и p в формуле (13)

Величина Δ_F в формуле	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации (R^2)
	$k, Н/см$	$p, Н$	
(11)	0,919	-7,547	0,929
(12)	-0,912	26,77	0,926

Заключение

Представленные результаты лабораторных исследований позволяют установить следующие закономерности поведения ППС при приложении к ним выдергивающей нагрузки:

- сопротивляемость ППС выше сопротивляемости призматической сваи с размерами сечения 20×20 см в 1,28-1,85 раза;

- сопротивляемость ППС выдергиванию ниже сопротивляемости призматической сваи с размерами сечения 30×30 см и пирамидальной сваи (с размерами сечения по верху 30×30 см и по низу - 20×20 см) на 8-36%;

- с увеличением длины пирамидальной части ППС их сопротивляемость возрастает в 1,11-1,33 раза;

- увеличение размера сечения в верхней части пирамидального участка ППС сопровождается повышением их сопротивляемости выдергиванию в 1,20-1,34 раза.

Представленные результаты исследований могут быть использованы для сравнительной оценки сопротивляемости ППС и железобетонных забивных свай с традиционными формами продольного сечения (призматических и пирамидальных свай) при действии на них статических выдергивающих нагрузок.

Список литературы

1. Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. Забивная железобетонная свая / Патент на полезную модель Республики Казахстан №4521. Дата регистрации: 29.11.2019.
2. Готман А.Л., Соколов Л.Я. Расчет комбинированных свай переменного сечения на горизонтальную нагрузку // Вестник ПНИПУ. Научный журнал. - 2014. - № 2. - С. 79-90.
3. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. Comparative evaluation of bearing capacity of a short driven pyramidal-prismatic pile using mathematical models [Электрон. ресурс]. - 2016. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/> (дата обращения: 15.09.2020).
4. Kupchikova N.V., Kurbatskiy E.N. Analytical Method Used to calculate pile foundations with the widening up on a horizontal static impact [Электрон. ресурс]. - 2017. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012102/> (дата обращения: 15.09.2020).
5. Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. О расчетной оценке несущей способности забивных свай с пирамидальным участком ствола // «IV Глобальная наука и инновации 2019: Центральная Азия»: сборник материалов международной научно-практической конференции. - Астана, 2019. - С.10-15.
6. Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. О несущей способности пирамидально-призматических свай // «Лучший молодой ученый - 2020»: I Международное книжное издание стран Содружества Независимых Государств. - Нур-Султан, 2020. - С.79-83.
7. Бекбасаров И.И., Атенев Е.И., Шаншабаев Н.А. О лабораторном оборудовании для забивки и испытаний моделей свай // Механика и технологии. Научный журнал. - 2019. - №4. - С.125-133.
8. ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Межгосударственный стандарт. - Москва: Стандартинформ, 2014. - 47 с.

И.И. Бекбасаров¹, М.И. Никитенко², Н.А. Шаншабаев¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан

²Брест мемлекеттік техникалық университеті, Брест, Беларусь

Пирамидалық - призмалық қадалар модельдерінің статикалық тарту жүктемесіне төзімділігі

Аңдатпа. Мақалада зертханалық жағдайда орындалған статикалық тарту жүктемесінің әрекеті кезінде әртүрлі бойлық пішінді қадалар модельдерін сынау нәтижелері келтірілген. Пирамидалық призмалық қадалардың кедергісі призмалық және пирамидалық қадалардың қарсыласуынан үлкен немесе аз болуы мүмкін екендігі анықталды. Қадааның пирамидалық бөлігі

ұзындығының, сондай-ақ оның жоғарғы жағындағы көлденең қимасының ұлғаюы тарту жүктемесіне пирамида-призмалық қадалардың қарсыласуының жоғарылауына әкелетіні анықталды. Сонымен, бұл қадалардың кедергісі көлденең қимасы 20×20 см болатын призмалық қаданың кедергісінен 1,28 - 1,85 есе жоғары және көлденең қимасы 30×30 см болатын призмалық қаданың кедергісінен 8-36% төмен (көлденең қимасы 30×30 см және төменгі жағы-20×20 см). Бойлық қиманың дәстүрлі формалары (призмалық және пирамидалық қадалар) бар қадалардың көтергіш қабілетіне қатысты пирамидалық-призмалық қадалардың кедергісін салыстырмалы бағалауға мүмкіндік беретін корреляциялық тәуелділіктер алынды.

Түйін сөздер: модель, пирамидалық-призмалық қадалар, призмалық қадалар, пирамидалық қадалар, тарту жүктемесі.

I.I. Bekbasarov¹, M.I.Nikitenko², N.A. Shanshabayev¹

¹Taraz Regional University named after M.Kh.Dulaty, Taraz, Kazakhstan

²Brest State Technical University, Brest, Belarus

Resistance of models of pyramidal-prismatic piles to static pulling load

Abstract. The article presents results of testing models of piles with different longitudinal shapes under the action of a static pulling load, performed in laboratory conditions. The article reveals resistance of the pyramidal-prismatic piles can be either more or less than the resistance of the prismatic and pyramidal piles. It was found that an increase in the length of the pyramidal part of the pile, as well as the size of its cross-section at the top, affect the resistance of the pile to pull-out load. So, the resistance of these piles is 1.28-1.85 times higher than the resistance of a prismatic pile with a section size of 20×20 cm, and 8-36% lower than the resistance of a prismatic pile with a section size of 30×30 cm and a pyramidal pile (with a top section size of 30×30 cm and at the bottom - 20×20 cm). Correlation dependencies are obtained to assess the stability of pyramidal-prismatic piles in relation to the bearing capacity of piles with traditional longitudinal section shape (prismatic and pyramidal piles).

Keywords: model, pyramidal-prismatic pile, prismatic pile, pyramidal pile, pulling load.

References

1. Bekbasarov I.I., Shanshabayev N.A. Zabivnaya zhelezobonnaya svaya [Driven reinforced concrete pile], Patent napoleznuyu model` Respubliki Kazahstan № 4521 [Patent for utility model of the Republic of Kazakhstan No.4521], Data registracii: 29.11.2019 [Date of registration: 29.11.2019] [in Russian].
2. Gotman A.L., Sokolov L.Ya. Raschet kambinirovanny`x svaj peremennogo secheniya na gorizontaln`nuyu nagruzku [Calculation of combined piles of variable cross-section for horizontal load], Vestnik PNIPU. Nauchny` zhurnal [Bulletin PNIPU. Scientific journal], 2014. No 2. P. 79-90. [in Russian].
3. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. Comparative evaluation of bearing capacity of a short driven pyramidal-prismatic pile using mathematical models. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/> (accessed 15.09.2020).
4. Kupchikova N.V., Kurbatskiy E.N. Analytical Method Used to calculate pile foundations with the widening up on a horizontal static impact. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012102/> (accessed 15.09.2020).

5. Bekbasarov I.I., Shanshabaev N.A. O raschetnoj ocenke nesushhej sposobnosti zabivny`x svaj s piramidal`ny`m uchastkom stvola [On the calculated assessment of the bearing capacity of driven piles with a pyramidal section of the shaft], IV Global`naya nauka i innovacii 2019: Central`naya Aziya: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferenciyi [IV Global Science and Innovation 2019: Central Asia: Proceedings of International Scientific Practical Conference], Astana, 2019. P.10-15 [in Russian].

6. Bekbasarov I.I., Shanshabaev N.A. O nesushhej sposobnosti piramidal`no-prizmaticheskix svai [About the bearing capacity of pyramidal-prismatic piles] "Luchshij molodoj ucheny`j – 2020" I Mezhdunarodnoe knizhnoe izdanie stran Sodruzhestva Nezavisimy`x Gosudarstv ["The best young teaching – 2020" International book edition of the countries of the Commonwealth of Independent States]. Nur-Sultan, 2020. P.79-83 [in Russian].

7. Bekbasarov I.I., Atenov Y.I., Shanshabayev N.A. O laboratornom oborudovanii dlya zabivki i ispytaniy modelej svaj [About laboratory equipment for driving and testing pile models], *Mehanika i Tehnologiyi* [Mechanics and Technologies], 2019. No. 4(66). P. 125-133. [in Russian].

8. GOST 5686-2012 Grunty. Metody polevyh ispytaniy svayami. Mezhgosudarstvennyj standart [Soils. Field test methods by piles. Interstate standard], (Standartinform, Moscow, 2014, 47 p.), [in Russian].

Сведения об авторах:

Бекбасаров Исабай Исакович – доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С.Ахметова», Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, ул. Толе би, 60, Тараз, Казахстан.

Никитенко Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь.

Шаншабаев Нуржан Аскербекевич – докторант специальности «Гидротехническое строительство и сооружения», Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан.

Bekbasarov Isabay Isakovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Laboratory of Engineering Profile "Nanoengineering research methods A.S. Akhmetov", M.Kh. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan.

Nikitenko Mikhail Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Brest State technical University, Brest, Belarus.

Shanshabayev Nurzhan Askerbekovich – Ph.D. student шт Hydrotechnical construction and structures, M.Kh. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan.