

**И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев\***

Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

**Информация об авторах:**

Бекбасаров Исабай Исакович – доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова», ТарПУ им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3250-7853>, email: bekbasarov.isabai@mail.ru

Шаншабаев Нуржан Аскарбекович – магистр, старший преподаватель кафедры «Строительства и производство материалов» ТарПУ им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-4930-0488>, email: nucho91@mail.ru

\*Автор корреспонденции: email: nucho91@mail.ru

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ ПИРАМИДАЛЬНО-ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ НА ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВЫДЕРГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ В ГЛИНИСТОМ ГРУНТЕ**

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты лабораторных испытаний моделей пирамидально-призматических свай на действие вертикальной выдергивающей нагрузки. Опыты проведены в глинистом грунте. Установлено, что модели пирамидально-призматических свай в зависимости размеров пирамидального участка могут обладать как большей, так и меньшей сопротивляемостью по сравнению с призматическими и пирамидальными (контрольными) сваями. Так выявлено, что сопротивляемость пирамидально-призматических свай выдергивающей нагрузке в 1,19-1,80 раза выше сопротивляемости модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм. По сравнению с моделью призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм и с моделью пирамидальной сваи (с размерами сечения по верху 30×30 мм и по низу – 20×20 мм) модели пирамидально-призматических свай обладают меньшей сопротивляемостью (на 6-45%). Увеличение размера верхнего сечения пирамидальной части ППС, оказывает более существенное влияние на повышение их сопротивляемости выдергиванию, чем увеличение длины их пирамидального участка. Установлены корреляционные зависимости, которые можно использовать для предварительной оценки сопротивляемости пирамидально-призматических свай выдергивающей нагрузке относительно сопротивляемости традиционных (призматических и пирамидальных) свай.

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

### **Введение**

В практике геотехнического строительства свай с нетрадиционной (не призматической) продольной формой ствола зарекомендовали себя с положительной стороны. Этому способствует их лучшая сопротивляемость статическим нагрузкам по сравнению с обычными призматическими сваями [1-5].

Предложенные авторами пирамидально-призматические сваи (далее – ППС) [6] обладают аналогичными преимуществами. Так, результаты исследований, выполненных на моделях, показали, что в зависимости от длины и

размеров сечения пирамидального участка сопротивляемость ППС действию вдавливающей нагрузки до 1,74-4,1 раза выше, чем у призматической и пирамидальной сваи [7-9]. Это, прежде всего, обусловлено проявлением сил отпора грунта вдоль наклонных боковых граней ППС (на пирамидальном участке). Высокая сопротивляемость ППС в отличие от призматической сваи характерна и при действии горизонтальной нагрузки (до 1,73 раза) [10].

Представленные результаты исследований свидетельствуют о значительном влиянии размеров пирамидального участка ППС на их несущую способность при действии вдавливающей и горизонтальной нагрузок. Сведения же о влиянии размеров пирамидального участка ППС на их сопротивляемость статической выдергивающей нагрузке, к сожалению, отсутствуют. Научный и практический интерес к таким данным достаточно высок. Особенно это касается свай, которые используются в составе фундаментов высотных зданий и линейных гидротехнических сооружений со значительными горизонтальными и моментными нагрузками. Учитывая данное обстоятельство, авторами проведены лабораторные испытания моделей ППС на действие вертикальной выдергивающей нагрузки, результаты которых представлены в настоящей работе.

Целью экспериментальных исследований является оценка сопротивляемости моделей ППС в глинистом грунте при действии статической выдергивающей нагрузки.

Для достижения указанной цели были сформулированы следующие задачи:

- выявление закономерностей влияния длины и размеров сечения пирамидального участка моделей ППС на их сопротивляемость выдергиванию;
- установление особенностей сопротивляемости моделей ППС в сравнении с моделями свай призматической и пирамидальной форм.

### **Материалы и методы**

Исследования проводились с использованием малых моделей свай. Масштаб моделирования принят равным 1:10. Программой исследований предусматривалось проведение следующих трех серий испытаний:

- первая серия – испытания моделей ППС, отличающихся между собой длиной пирамидального участка (при постоянных размерах поперечного сечения пирамидального участка);
- вторая серия – испытания моделей ППС с разными размерами верхнего сечения пирамидального участка (при длине пирамидального участка 10 см);
- третья серия – испытания моделей ППС с разными размерами верхнего сечения пирамидального участка (при длине пирамидального участка 20 см).

Модели свай изготовлены методом наплавления (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. Длина моделей составила 50 см.

Модели ППС первой серии испытаний изготовлены со следующими размерами:

- сечение пирамидального участка: поверху – 30×30 мм; понизу – 20×20 мм;

- сечение призматического участка: 20×20 мм;
- длина пирамидального участка: 10, 20, 30 и 40 см.

Модели ППС второй серии испытаний изготовлены со следующими размерами:

- сечение пирамидального участка: поверху – 30×30 мм, 40×40 мм и 50×50 мм; понизу – 20×20 мм;
- сечение призматического участка: 20×20 мм;
- длина пирамидального участка: 10 см.

Модели ППС третьей серии испытаний изготовлены со следующими размерами:

- сечение пирамидального участка: поверху – 30×30 мм, 40×40 мм и 50×50 мм;
- сечение призматического участка: 20×20 мм;
- длина пирамидального участка: 20 см.

В качестве контрольных (сравниваемых) моделей в I серии испытаний приняты:

- модель призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм;
- модель призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм;
- модель пирамидальной сваи с размерами сечения в верхней части 30×30 мм, а в нижней части – 20×20 мм (уклон боковых граней модели сваи  $i_p = 0,01$ ).

В остальных 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.

Общий вид, схемы и фрагменты испытаний моделей свай представлены на рис. 1.

Эксперименты выполнялись в грунтовом лотке, с применением навесного оборудования. Особенности, принципы и порядок работы оборудования подробно изложены в работе [11]. В качестве модели грунта в лотке принят уплотненный насыпной грунт – легкий, песчанистый суглинок. Физико-механические показатели грунта представлены в табл. 1.

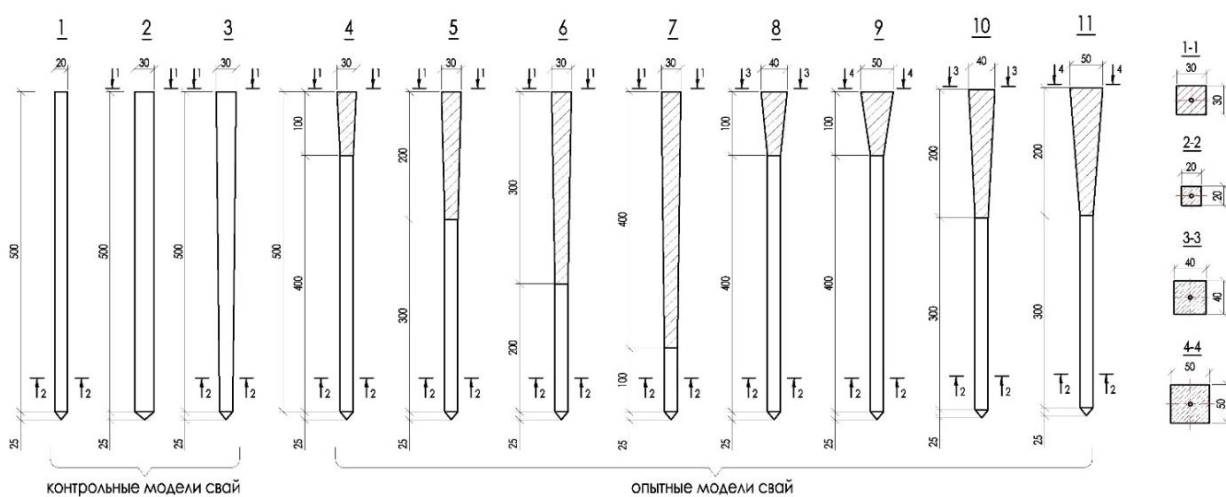
Таблица 1 – Физико-механические показатели суглинка

Показатели	Значения
Влажность $W$ , %	1,14-1,16
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,20-1,26
Влажность на границе текучести $W_m$ , %	25,09-25,19
Влажность на границе раскатывания $W_p$ , %	13,03-15,23
Число пластичности $I_p$	9,96-12,06
Максимальное сопротивление пенетрации $P_{max}$ , МПа	0,263-0,270
Коэффициент уплотнения $K$	0,80-0,83
Индекс (степень) влажности $I$	0,89-0,91
Модуль деформации $E$ , МПа	14,9-15,8
Угол внутреннего трения $f$ , град	13,0-13,1
Удельное сцепление $c$ , МПа	0,0108-0,0109

Статические испытания моделей свай на действие выдергивающей нагрузки проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2012 [12]. При этом выдергивающая нагрузка на модели свай прикладывалась до их полного извлечения из грунта.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Общий вид (а), схемы (б) и фрагменты испытаний (в) моделей свай

## Результаты и обсуждения

Результаты испытаний моделей свай на действие выдергивающей нагрузки представлены на рисунках 2-4, а также в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Значения несущей способности  $F_{d,v}$  и характеристическое значение сопротивления выдергиванию  $R_{t;k}$  моделей свай при действии выдергивающей нагрузки

Характеристики моделей	Несущая способность модели $F_d$ , Н			Характеристическое значение сопротивления выдергиванию модели $R_{t;k}$ , Н		
	номер серии испытаний					
	I	II	III	I	II	III
<i>Опытные модели:</i> модель ППС с размерами сечения 30×30/20×20 мм и длиной пирамидального участка 10 см	32,46	35,25	-	51,52	55,95	-
То же, длиной пирамидального участка 20 см	35,52	-	38,34	56,38	-	60,85
То же, длиной пирамидального участка 30 см	38,1	-	-	-	-	-
То же, длиной пирамидального участка 40 см	41,1	-	-	-	-	-
модель ППС с размерами сечения 40×40/20×20 мм и длиной пирамидального участка 10 см	-	41,28	-	-	65,52	-
То же, с размерами сечения 50×50/20×20 мм и длиной пирамидального участка 10 см	-	47,1	-	-	74,76	-
ППС с размерами сечения 40×40/20×20 мм и длиной пирамидального участка 20 см	-	-	44,1	-	-	70,0
То же, с размерами сечения 50×50/20×20 мм и длиной пирамидального участка 20 см	-	-	52,98	-	-	84,1
<i>Контрольные модели:</i> модель призматической свай с размерами сечения 20×20 мм	26,58	29,46	29,34	42,19	46,76	46,57
То же, с размерами сечения 30×30 мм	58,86	50,1	50,1	93,43	79,52	79,52
модель пирамидальной свай с размерами: верхнего сечения – 30×30 мм; нижнего сечения – 20×20 мм.	78,3	-	-	74,57	-	-

Несущая способность моделей свай при действии выдергивающей нагрузки по результатам испытаний устанавливается согласно требованиям строительных правил [12] по формуле:

$$F_d = \frac{\gamma_c \times F_{u,n}}{\gamma_g}, \quad (1)$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы модели сваи;  $F_{u,n}$  – нормативное значение предельного сопротивления модели сваи, кН;  $\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту.

Характеристическое значение сопротивления моделей свай выдергиванию определялось согласно требованиям строительных правил [13] по формуле:

$$R_{t,k} = \frac{(R_{t,m})_{\min}}{\xi_2}, \quad (2)$$

где  $\xi_2$  – поправочный коэффициент для оценки результатов испытаний моделей свай статической нагрузкой, принимаемый равным 1,05 (при  $n = 3$ );  $n$  – число испытаний моделей свай;  $(R_{t,m})_{\min}$  – наименьшее измеренное сопротивление выдергиванию модели сваи в зависимости от количества испытаний под нагрузкой.

Таблица 3 – Значения коэффициентов относительной эффективности по выдергиванию  $J_v$  и  $J_{vx}$

Характеристика моделей	Значения коэффициентов относительной эффективности по выдергиванию моделей свай		
	$J_{v1} (J_{vx1})$	$J_{v2} (J_{vx2})$	$J_{v3} (J_{vx3})$
I серия испытаний			
Модель ППС сечением попереху 30×30 мм пирамидального участка длиной 10 см	1,22	0,55	0,69
То же, длиной 20 см	1,33	0,60	0,75
То же, длиной 30 см	1,43	0,65	0,81
То же, длиной 40 см	1,54	0,67	0,87
II серия испытаний			
Модель ППС с размерами сечения попереху 30×30/20×20 мм и пирамидальным участком длиной 10 см	1,19	0,70	-
То же, сечением 40×40/20×20 мм	1,40	0,82	-
То же, сечением 50×50/20×20 мм	1,60	0,94	-
III серия испытаний			
ППС с размерами сечения попереху 30×30/20×20 мм и пирамидальным участком длиной 20 см	1,30	0,76	-
То же, сечением 40×40/20×20 мм	1,50	0,88	-
То же, сечением 50×50/20×20 мм	1,80	1,06	-
Примечание:			
1. $J_{v1}(J_{vx1})$ , $J_{v2}(J_{vx2})$ и $J_{v3}(J_{vx3})$ – коэффициенты, относящиеся соответственно к 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;			
2. Перед чертой указаны размеры поперечного сечения пирамидального участка модели ППС в верхней части, после черты – в нижней части.			

Сравнительная оценка сопротивляемости моделей свай выдергиванию выполнялась на основе коэффициентов относительной эффективности моделей свай по выдергиванию  $J_v$  и  $J_{vx}$ , устанавливаемых по формулам (3) и (4).

$$J_v = \frac{F_{d,v}^o}{F_{d,v}^k}, \quad (3)$$

где  $F_{d,v}^o$  – несущая способность модели опытной сваи;  $F_{d,v}^k$  – несущая способность модели контрольной сваи.

$$J_{vx} = \frac{R_{t;k;v}^o}{R_{t;k;v}^k} \quad (4)$$

где  $R_{t;k;v}^o$  – характеристическое значение модели опытной сваи;  $R_{t;k;v}^k$  – характеристическое значение модели контрольной сваи.

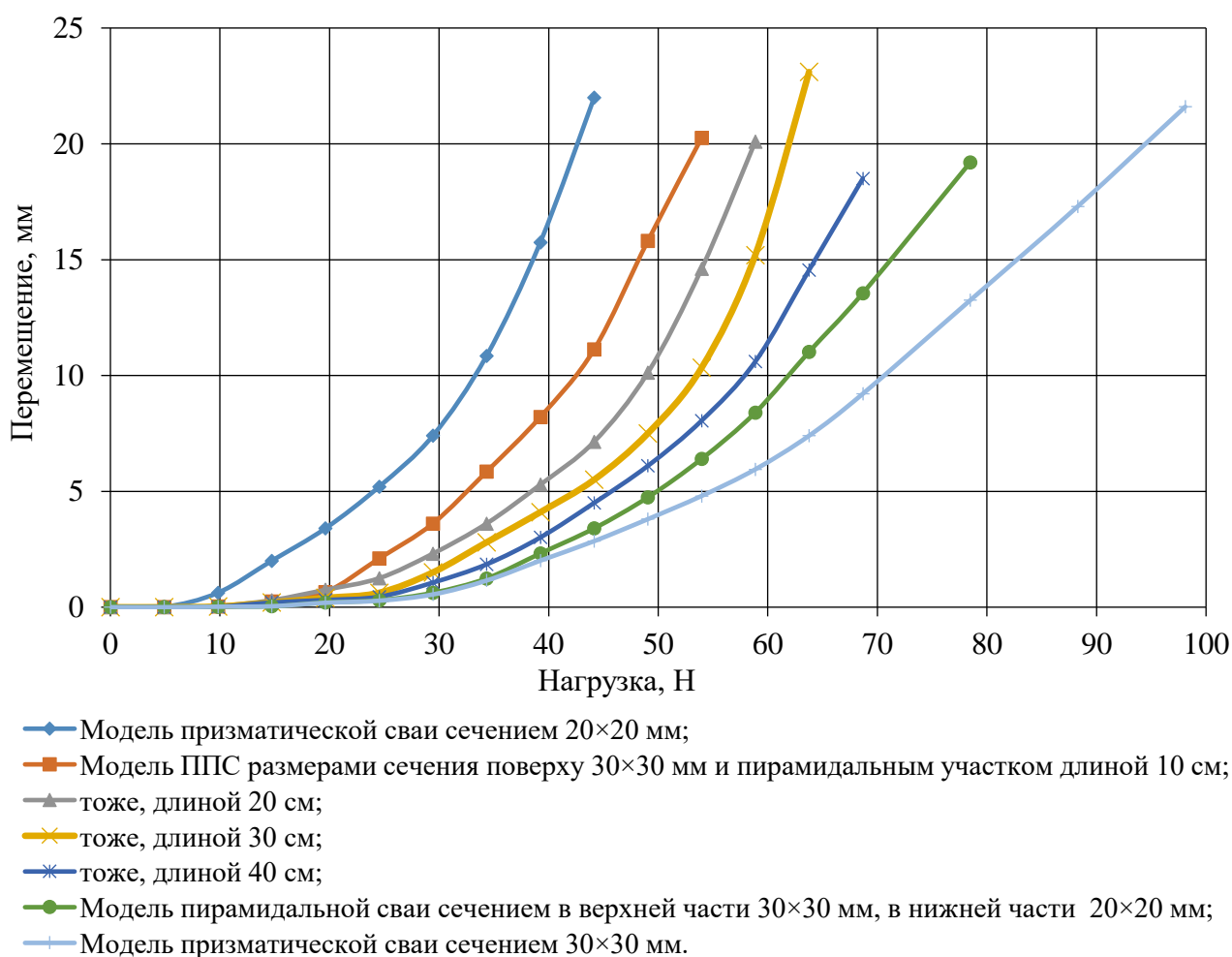


Рисунок 2 – Зависимость вертикального перемещения моделей свай от выдергивающей нагрузки (I серия испытаний)

Результаты I серии испытаний позволяют выявить следующие особенности работы моделей ППС при выдергивающей нагрузке:

- несущая способность модели ППС в 1,22-1,54 раза больше несущей способности модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм;

- сопротивляемость модели ППС снижается на 13,0-45,0% по сравнению сопротивляемостью модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм и модели пирамидальной сваей;

- с увеличением длины пирамидального участка ППС в 2,3 и 4 раза несущая способность повышается соответственно в 1,06, 1,08, 1,09 раза.

Данные, представленные в таблице 3 для I серии испытаний, математически описывают следующей линейной функцией:

$$J_{vp} = al + b, \quad (5)$$

где  $l$  – длина пирамидального участка модели ППС, см;  $a$  и  $b$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 4.

Таблица 4 – Значения коэффициентов,  $a$  и  $b$  в формуле (5)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )
	$a, 1/см$	$b$	
$J_{vp1}$	0,010	1,115	0,999
$J_{vp2}$	0,006	0,63	1,0
$J_{vp3}$	0,004	0,515	0,968

Результаты испытаний, представленные в таблице 2 (для I серии испытаний), позволяют получить следующие корреляционные зависимости

$$F_{d,v}^o = F_{d,v1}^k + \Delta_F, \quad (6)$$

$$F_{d,v}^o = F_{d,v2}^k - \Delta_F, \quad (7)$$

$$F_{d,v}^o = F_{d,v3}^k - \Delta_F, \quad (8)$$

$$\Delta_F = gl + d, \quad (9)$$

где  $F_{d,v1}^k, F_{d,v2}^k, F_{d,v3}^k$  – 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;  $\Delta_F$  – разница между значениями несущей способности опытных и контрольных свай, Н;  $g$  и  $d$  – коэффициенты, принимаемые по таблице 5;  $l$  – то же, что и в формуле (5).

Таблица 5 – Значения коэффициентов  $g$  и  $d$  в формуле (9)

Величина $\Delta_F$ в формуле	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )
	$g, Н/см$	$d, Н$	
(6)	0,285	29,67	0,999
(7)	-0,285	88,05	0,999
(8)	-0,285	126,9	0,999



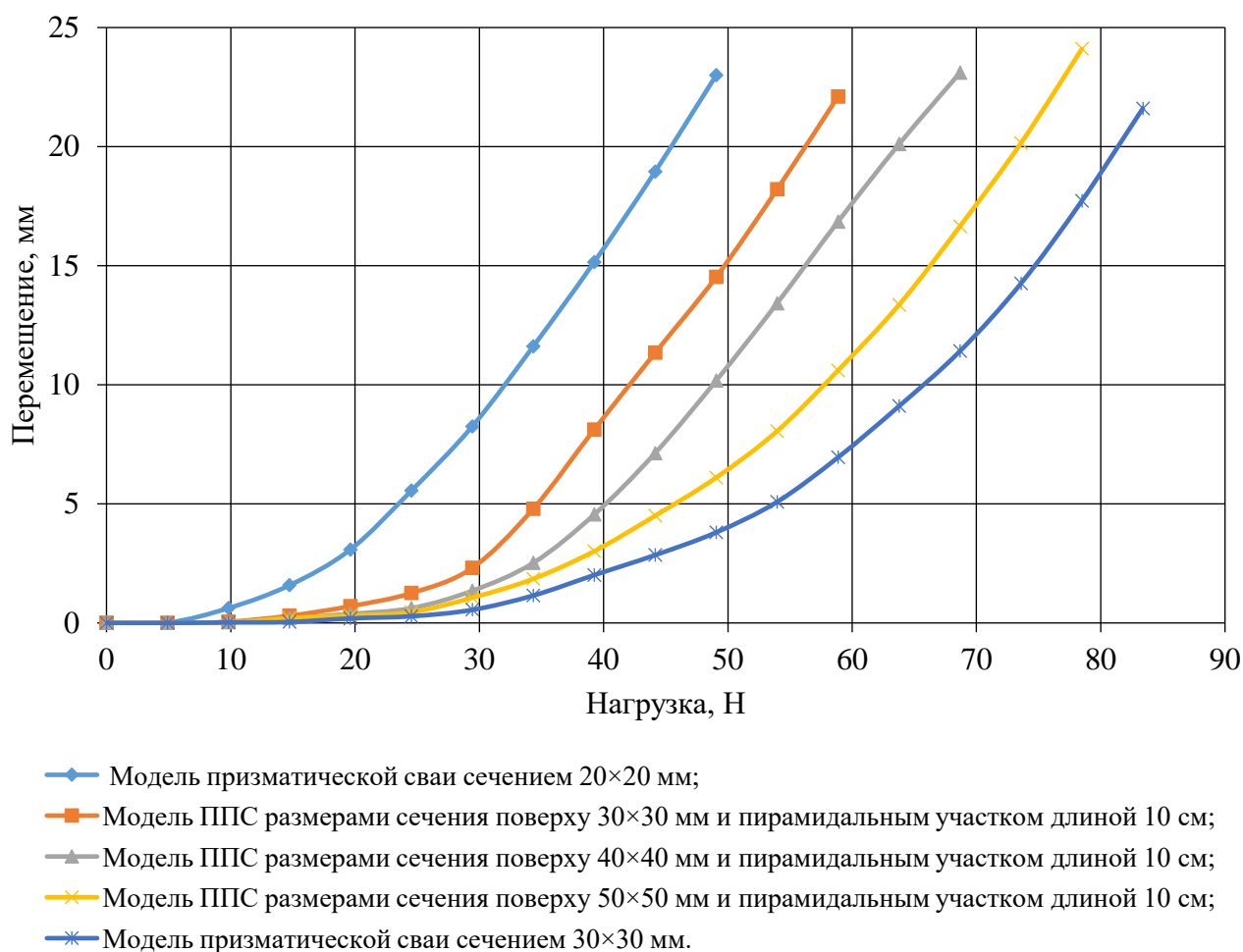


Рисунок 3 – Зависимость вертикального перемещения моделей свай от выдергивающей нагрузки (II серия испытаний)

Результаты II серии испытаний позволили установить, что:

- несущая способность модели ППС в 1,19-1,60 раза больше несущей способности модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм;
- сопротивляемость модели ППС снижается на 6,0-30,0% по сравнению с сопротивляемостью модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм;
- увеличение размера сечения в верхней части пирамидального участка модели ППС в 1,33 и 1,66 раза вызывает повышение ее несущей способности соответственно в 1,17 и 1,34 раза.

Данные, представленные в таблице 3 для II серий испытаний, математически описывают следующей линейной функцией:

$$J_{vp} = cd + t, \quad (10)$$

где  $d$  – размер сечения в верхней части пирамидального участка модели ППС, см;  $c$  и  $t$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 6.

Таблица 6 – Значения коэффициентов  $c$  и  $t$  в формуле (10)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )
	$c, 1/см$	$t$	
$J_{vp1}$	0,205	0,986	0,999
$J_{vp2}$	0,18	0,5	0,964

Результаты испытаний (II серии испытаний), представленные в табл. 2, позволяют получить следующие корреляционные зависимости:

$$F_{d,v}^o = F_{d,v1}^k + \Delta_F, \quad (11)$$

$$F_{d,v}^o = F_{d,v2}^k - \Delta_F, \quad (12)$$

$$\Delta_F = nd + m, \quad (13)$$

где  $F_{d,v1}^k, F_{d,v2}^k, \Delta_F$  – тоже, что и формулах (4) и (5);  $n$  и  $m$  – коэффициенты, принимаемые по таблице 7;  $d$  – то же, что и в формуле (10).

Таблица 7 – Значения коэффициентов  $n$  и  $m$  в формуле (13)

Величина $\Delta_F$ в формуле	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )
	$n, Н/см$	$m, Н$	
(7)	5,925	29,36	0,999
(8)	-5,905	70,78	0,999

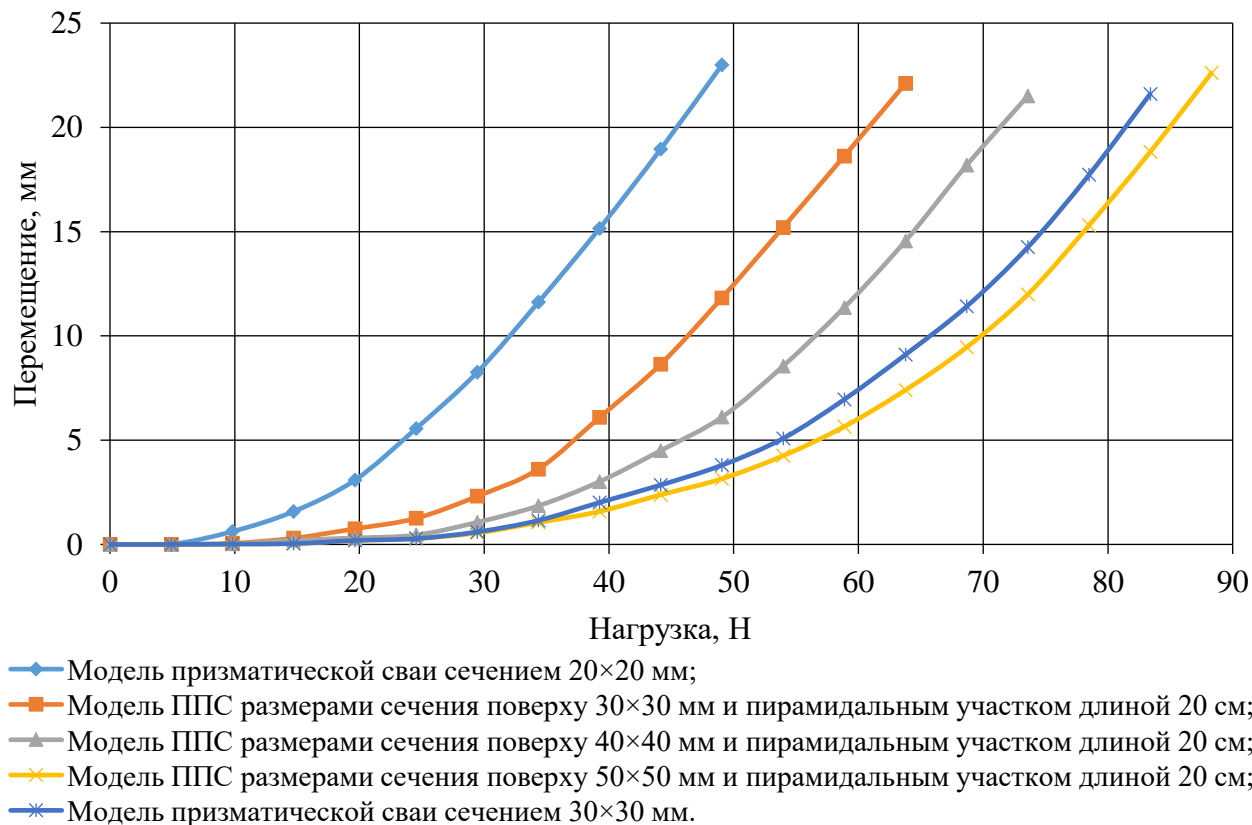


Рисунок 4 – Зависимость вертикального перемещения моделей свай от выдергивающей нагрузки (III серия испытаний)

Результаты испытаний III серии моделей опытных свай позволяют установить следующее (табл. 3):

- несущая способность модели ППС в 1,30-1,80 раза больше несущей способности модели призматической сваи сечением 20×20 мм;

- сопротивляемость модели ППС с размерами сечения в верхней части пирамидального участка 30×30 мм и 40×40 мм соответственно на 12,0 и 24,0% ниже, чем сопротивляемость модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм;

- сопротивляемость модели ППС с размерами сечения в верхней части пирамидального участка 50×50 мм в 1,06 раза больше, чем сопротивляемость модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм;

- увеличение размера сечения в верхней части пирамидального участка модели ППС в 1,33 и 1,66 раза вызывает увеличение ее сопротивляемости выдергиванию в 1,15-1,38 раза.

Данные представленные в таблице 3 математически описывают следующей линейной функцией:

$$J_{vp} = rd + f, \quad (14)$$

где  $d$  – то же, что и в формуле (10);  $r$  и  $f$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 8.

Таблица 8 – Значения коэффициентов  $r$  и  $f$  в формуле (14)

Коэффициенты относительной эффективности по выдергиванию	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )
	$r, 1/см$	$f$	
$J_{vp1}$	0,25	1,033	0,986
$J_{vp2}$	0,15	0,6	0,986

Результаты испытаний (III серии испытаний), представленные в таблице 2, позволяют получить следующие корреляционные зависимости

$$F_{d,v}^o = F_{d,v1}^k + \Delta_F, \quad (15)$$

$$F_{d,v}^o = F_{d,v2}^k - \Delta_F, \quad (16)$$

$$\Delta_F = kd + p, \quad (17)$$

где  $F_{d,v1}^k, F_{d,v2}^k, \Delta_F$  – тоже, что и формулах (9) и (10);  $k$  и  $p$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 9;  $d$  – то же, что и в формуле (10).

Таблица 9 – Значения коэффициентов  $k$  и  $p$  в формуле (17)

Величина $\Delta_F$ в формуле	Значения коэффициентов		Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )
	$k, H/см$	$p, H$	
(15)	7,32	30,5	0,985
(16)	-7,29	69,62	0,984

## Заключение

Результаты лабораторных исследований моделей ППС в глинистом грунте позволяют установить следующие закономерности их работы при действии выдергивающей нагрузки:

- при одинаковой длине свай и одинаковых размерах сечения их призматических частей, ППС обладают большей сопротивляемостью, чем призматические сваи;
- при одинаковой длине свай и одинаковых размерах их верхнего и нижнего сечений пирамидальных частей свай, сопротивляемость ППС, ниже сопротивляемости пирамидальной сваи;
- увеличение размера верхнего сечения пирамидальной части ППС, оказывает более существенное влияние на повышение их сопротивляемости, чем увеличение длины их пирамидального участка.

Изложенные результаты лабораторных исследований могут быть использованы для назначения оптимальных размеров пирамидальной части ППС, а также для сравнительной оценки сопротивляемости ППС и традиционных призматических и пирамидальных свай при действии на них статической выдергивающей нагрузки.

## Благодарность

Исследование проводилось при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках грантового проекта (ИРН АР 13268763).

## Литература:

1. Бекбасаров И.И. Исследование процесса забивки свай и штампов на моделях. Москва, ИНФРА-М Publ., 2021, изд. 0, 195 с. DOI: <https://doi.org/10.12737/1074097>.
2. Репецкий Д.С. Работа двуконусных свай в пучинистых грунтах: специальность 05.23.02 «Основание и фундаменты, подземные сооружения»: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук / Репецкий Д.С. – Тюмень, 2011.
3. Бартоломей А.А., Пономарев А.Б. Исследование и прогноз осадок фундаментов из конических свай. *Механика грунтов и фундаментостроение*, 2001, 38(2):42-50  
URL: <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1023%2FA%3A1010422029681>.
4. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. Comparative evaluation of bearing capacity of a short driven pyramidal-prismatic pile using mathematical models. *Procedia Engineering*, 153, 223-227 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.106>.
5. Kupchikova N.V., Kurbatskiy E.N. Analytical Method Used to calculate pile foundations with the widening up on a horizontal static impact. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012102>.
6. Пат. 4521 РК. Забивная железобетонная свая. Бекбасаров И.И., Шанишабаев Н.А. Оубл. 29.11.2019.
7. Бекбасаров И.И., Шанишабаев Н.А. Об энергоемкости забивки и несущей способности моделей пирамидально-призматических свай. *Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. Научный журнал*. 2020, 3, 97-106. DOI: <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.3-13>.

8. Бекбасаров И.И., Никитенко М.И., Шаншабаев Н.А. Об энергоемкости забивки и несущей способности моделей пирамидально-призматических свай в глинистом // *Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий: материалы II Всероссийской конференции с международным участием. Пермь, 2021. 41-56. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47497126&pff=1>.*
9. Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. О влиянии размеров пирамидальной части пирамидально-призматических свай на их энергоемкость и несущую способность. *Вестник КазНУТУ. Научный журнал. 2020, 6, 190-200.*
10. Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. Сопротивляемость моделей пирамидально-призматических свай горизонтальной нагрузке. *Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. Научный журнал, 2020, 4, 135-145. DOI: <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.4-20>.*
11. 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, 125-133.*
12. ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Москва, 2014.
13. СП РК 5.01-103-2013. Свайные фундаменты. Астана, 2015.
14. СП РК EN 1997-1:2004/2011 Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила. Астана: РГП «КазНИИСА», 2016.

#### References:

1. Bekbasarov I.I. *Issledovaniye protsessa zabivki svay i shtampov na modelyakh. Moskva, INFRA-M Publ., 2021, izd. 0, 195 str. DOI: <https://doi.org/10.12737/1074097>.*
2. Repeckij D.S. *Rabota dvukonusnyh svaj v puchinistyh gruntah: special'nost' 05.23.02 "Osnovanie i fundamenty, podzemnye sooruzheniya": avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kand.tekhn.nauk / Repeckij D.S. – Tyumen', 2011.*
3. Bartolomey A.A., Ponomarev A.B. *Issledovanie i prognoz osadok fundamentov iz konicheskikh svay. Mehanika gruntov i fundamentostroenie, 2001 38(2):42-50. URL: <https://www.researchgate.net/deref/http://dx.doi.org/10.1023/A:1010422029681>.*
4. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. *Comparative evaluation of bearing capacity of a short driven pyramidal-prismatic pile using mathematical models. Procedia Engineering, 153, 223-227 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.106>.*
5. Kupchikova N.V., Kurbatskiy E.N. *Analytical Method Used to calculate pile foundations with the widening up on a horizontal static impact. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012102>.*
6. Pat. 4521 RK. *Zabivnaya zhelezobetonnyaya svaya. Bekbasarov I.I., Shanshabaev N.A. Opubl. 29.11.2019.*
7. Bekbasarov I.I., Shanshabaev N.A. *Ob energoemkosti zabivki i nesuschey sposobnosti modeley piramidalno-prizmaticheskikh svay. Vestnik Kazahskoy golovnoy arhitekturno-stroitelnoy akademii. Nauchnyiy zhurnal. 2020, 3, 97-106. DOI: <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.3-13>.*
8. Bekbasarov I.I., Nikitenko M.I., Shanshabaev N.A. *Ob energoemkosti zabivki i nesuschey sposobnosti modeley piramidalno-prizmaticheskikh svay v glinistom //Fundamentyi glubokogo zalozheniya i problemyi geotekhniki territoriy materialyi II Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnyim uchastiem. Perm, 2021. 41-56. Rezhim dostupa: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47497126&pff=1>.*
9. Bekbasarov I.I., Shanshabaev N.A. *O vliyanii razmerov piramidalnoy chasti piramidalno-prizmaticheskikh svay na ih energoemkost i nesuschuyu sposobnost. Vestnik KazNITU. Nauchnyiy zhurnal. 2020,6, 190-200.*

10. Bekbasarov I.I., Shanshabaev N.A. *Soprotivlyaemost modeley piramidalno-prizmaticheskikh svay gorizontальной nagruzke. Vestnik Kazahskoy glavnoy arhitekturno-stroitel'noy akademii. Nauchnyy zhurnal*, 2020,4, 135-145. DOI: <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.4-20>.
11. Bekbasarov I.I., Atenov E.I., Shanshabaev N.A. *O laboratornom oborudovanii dlya zabivki i ispyitaniy modeley svay. Mehanika i tehnologii. Nauchnyy zhurnal*.2019, 4, 125-133.
12. *GOST 5686-2012 Grunty. Metody polevykh ispyitaniy svayami. Moscow, 2014.*
13. *SP RK 5701-103-2013 Svainye fundamenty. Astana,2015.*
14. *SP RK EN 1997-1:2004/2011 Geotekhnicheskoe proektirovanie. CHast' 1. Obshchie pravila. Astana: RGP «KazNIISA», 2016.*

## И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев\*

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

### Авторлар жайлы ақпарат:

Бекбасаров Исабай Исақұлы – техника ғылымдарының докторы, профессор, М.Х. Дулати атындағы ТарӨУ «А.С.Ахметов атындағы Наноинженерлік зерттеу әдістері» инженерлік бейінді ғылыми-зерттеу зертханасының меңгерушісі, Тараз, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3250-7853>, email: [bekbasarov.isabai@mail.ru](mailto:bekbasarov.isabai@mail.ru)

Шаншабаев Нұржан Асқарбекұлы – магистр, М.Х. Дулати атындағы ТарӨУ «Құрылыс және материалдар өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, Тараз, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-4930-0488>, email: [nucho91@mail.ru](mailto:nucho91@mail.ru)

## САЗДЫ ТОПЫРАҚТАҒЫ СУЫРЫП АЛУ ЖҮКТЕМЕСІНІҢ ӘСЕРІНЕ ПИРАМИДАЛЫҚ-ПРИЗМАЛЫҚ ҚАДАЛАР МОДЕЛЬДЕРІНІҢ ЖҰМЫСЫН ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

**Аңдатпа.** Бұл жұмыста суырып алу жүктемесінің әсеріне пирамидалық-призмалық қадалар үлгілерін зертханалық сынау нәтижелері ұсынылған. Тәжірибелер сазды топырақта жүргізілді. Пирамидалық-призмалық қадалардың модельдері пирамида учаскесінің көлеміне байланысты призмалық және пирамидалық (бақылау) қадалармен салыстырғанда үлкен және аз қарсылыққа ие болуы мүмкін екендігі анықталды. Сонымен, пирамидалық-призмалық қадалардың тарту жүктемесіне кедергісі  $20 \times 20$  мм көлденең қимасы бар призмалық қадалар моделінің кедергісінен 1,80 есе жоғары екендігі анықталды. көлденең қимасы  $30 \times 30$  мм болатын призмалық қадалар моделімен және пирамидалық қадалар моделімен салыстырғанда (көлденең қимасы  $30 \times 30$  мм жоғарғы жағында және төменгі жағында –  $20 \times 20$  мм) пирамидалық призмалық қадалардың модельдері аз қарсылыққа ие (6-45%). ППҚ пирамидалық бөлігінің жоғарғы бөлігінің мөлшерінің ұлғаюы олардың пирамидалық бөлігінің ұзындығын ұлғайтуға қарағанда олардың тартуға төзімділігін арттыруға айтарлықтай әсер етеді. Дәстүрлі (призмалық және пирамидалық) қадалардың кедергісіне қатысты тарту жүктемесіне пирамида-призмалық қадалардың кедергісін алдын-ала бағалау үшін қолдануға болатын корреляциялық тәуелділіктер орнатылды.

**Түйін сөздер:** модель, призмалық қадалар, пирамидалық қадалар, пирамидалық-призмалық қадалар, суырып алу жүктемесі.

## I.I. Bekbasarov, N.A. Shanshabayev\*

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

### Information about the authors:

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

<https://orcid.org/0000-0003-3250-7853>, email: [bekbasarov.isabai@mail.ru](mailto:bekbasarov.isabai@mail.ru)

Shanshabayev Nurzhan Askarbekovich – master, senior lecturer of the department "Construction and production of materials" TarRU them. M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan.

<https://orcid.org/0000-0003-4930-0488>, email: [nucho91@mail.ru](mailto:nucho91@mail.ru)

### THE RESULTS OF LABORATORY STUDIES OF THE OPERATION OF MODELS OF PYRAMIDAL-PRISMATIC PILES ON THE EFFECT OF VERTICAL PULLING LOAD IN CLAY SOIL

**Abstract.** *This paper presents the results of laboratory tests of models of pyramidal-prismatic piles on the effect of vertical pulling load. The experiments were carried out in clay soil. It is established that models of pyramidal-prismatic piles, depending on the size of the pyramidal section, can have both greater and lesser resistance compared to prismatic and pyramidal (control) piles. Thus, it was found that the resistance of pyramidal-prismatic piles to the pulling load is 1.19-1.80 times higher than the resistance of a model of a prismatic pile with a cross-section size of 20×20 mm. Compared with the model of a prismatic pile with a cross-section size of 30 ×30 mm and with the model of a pyramidal pile (with a cross-section size of 30×30 mm at the top and 20×20 mm at the bottom), the models of pyramidal-prismatic piles have less resistance (by 6-45%). An increase in the size of the upper section of the pyramidal part of the PPP has a more significant effect on increasing their resistance to pulling out than an increase in the length of their pyramidal section. Correlations have been established that can be used for a preliminary assessment of the resistance of pyramidal-prismatic piles to the pulling load relative to the resistance of traditional (prismatic and pyramidal) piles.*

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