

МРНТИ 67.13.21

М.Н. Байтемиров<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
Б.Б. Джанузаков<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Канд. техн. наук

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0797-7407>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-6912-443X><sup>1,2</sup>ЮКФ АО «КазНИИСА»

г. Тараз, Казахстан

<sup>1</sup>[m.bait@mail.ru](mailto:m.bait@mail.ru)<https://doi.org/10.55956/IXKK9037>

## О ПОГРУЖАЕМОСТИ, ЭНЕРГОЕМКОСТИ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ С РАЗНОЙ ФОРМОЙ НИЖНЕГО КОНЦА

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных лабораторных исследований с применением моделей свай без острия, с закругленной нижней частью, с пирамидальным острием, а также с клиновидным острием при различных углах заострения. Установлено, что форма нижнего конца и угол заострения моделей свай оказывает влияние на их глубину погружения, удельную энергоемкость забивки и несущую способность. Для оценки несущей способности моделей свай разработан и использован метод динамических испытаний.

**Ключевые слова:** свая, грунт, модель сваи, погружаемость сваи, забивка, энергоемкость, несущая способность, осадка, отказ.



*Байтемиров, М.Н. О погружаемости, энергоемкости и несущей способности призматических свай с разной формой нижнего конца [Текст] / М.Н. Байтемиров, Б.Б. Джанузаков // Механика и технологии / Научный журнал. – 2022. – №4(78). – С.19-28. <https://doi.org/10.55956/IXKK9037>*

**Введение.** Влияние формы нижнего конца забивных железобетонных призматических свай на их поведение в грунтах интересовало специалистов давно [1-3]. До настоящего времени однозначного мнения по данному вопросу среди ученых не существует, несмотря на ряд специальных исследований, проведенных в этом направлении.

Так Буровым В.П. и Гончаровым Б.В., как отмечается в работе [1], изучались вопросы влияния угла заострения сваи на усилие ее вдавливания в грунт, а также на формирование уплотненного ядра под острием сваи. Опыты проводились в лабораторных и полевых условиях с применением свай малых размеров с углами заострения от 15° до 90° и без острия. Установлено, что угол заострения сваи оказывает существенное влияние на форму и размеры уплотненной зоны, которая формируется под нижним концом сваи. Авторами также выявлено, что в глинистых грунтах при углах заострения свай 180° и 90° усилия их вдавливания в грунт примерно одинаковы. При уменьшении угла заострения свай от 90° до 60° усилия вдавливания уменьшаются на 5-10%. Дальнейшее уменьшение угла заострения до 30° сопровождается снижением усилий вдавливания на 15-20%. Причем характерно, что при

больших скоростях вдавливания свай снижение усилий вдавливания проявляется в более резкой форме.

Ф.К. Лапшиным установлено, что форма и размеры зон пластических деформаций в грунте под нижним концом моделей свай при их статическом нагружении зависят от наличия острия модели и угла его заострения [2]. Для количественного подтверждения этого вывода нами произведена дополнительная обработка экспериментальных данных автора (табл. 1). Разность форм и размеров зон деформирования грунта под нижним концом моделей свай, позволяет предполагать, что неодинаковой должна быть и несущая способность рассматриваемых моделей. Но, к сожалению, сведения, подтверждающие данное предположение, в рассматриваемой работе отсутствуют.

Таблица 1

Результаты экспериментальных данных, полученных Ф.К. Лапшиным [2]

Форма и параметры зоны деформации под нижним концом модели свай	Модель без острия	Модель свай с острием при угле заострения		
		90°	60°	30°
Форма	в виде усеченного эллипсоида, вытянутого в поперечном направлении	шарообразная	эллипсоидообразная, вытянутая в вертикальном направлении	каплеобразная
Высота	1,0 d	1,17 d	1,8 d	2,67 d
Максимальная ширина	1,5 d	1,5 d	2,0 d	1,82 d
Расстояние от нижней границы зоны до нижнего конца модели	1,0 d	0,66 d	0,93 d	0,43 d
Примечание – d – размер поперечного сечения модели свай.				

Г.С. Колесником, И.Б. Рыжковым, В.М. Еникеевым и С.Н. Назаровым на четырех площадках г. Уфы произведена забивка 29 свай с острием и 30 свай без острия, длиной от 6 до 20 м [3]. Результаты забивки оценивались по количеству ударов молотов, затраченных на погружение свай на одинаковую глубину. На основе результатов исследований сделан вывод о том, что в глинистых грунтах отсутствие острия не вызывает увеличения энергоемкости погружения свай. Хотя, из номограмм погружения, представленных авторами, следует, что при глубине забивки более 14 м (на площадке №4), сваи без острия требуют большого количества ударов молота. Аналогичное наблюдается и на площадке №3 при глубине забивки свай более 5 м. Здесь следует отметить, что количество ударов молота, может выступать в качестве достоверного общего энергетического параметра забивки свай только при постоянной высоте сбрасывания ударной части молота. Учитывая, что часть свай погружалась дизель-молотами (высота подъема ударной части которых при работе непостоянна) к результатам рассматриваемых исследований нужно относиться с некоторой осторожностью. Эти сомнения усугубляются еще и естественной неоднородностью грунтов площадок, которая не могла не оказать своего отрицательного влияния на результаты забивки сравниваемых свай.

Анализ изложенных результатов исследований показывает, что полную и достоверную оценку влияния формы нижнего конца свай на их погружаемость, энергоёмкость забивки и несущую способность можно произвести только на основе лабораторных исследований на моделях, исключая воздействие побочных факторов и обеспечивающих высокую точность измеряемых параметров.

**Задачи и методика исследований.** Исходя из представленных доводов, были приняты следующие задачи исследований:

- оценить погружаемость и энергоёмкость моделей свай с разными формами нижнего конца;

- оценить влияние формы нижнего конца моделей на их несущую способность.

Исследования проводились с применением деревянных моделей призматических свай с размерами поперечного сечения 30×30 мм и общей длиной 325 мм. В опытах применялись 6 моделей с 4-мя формами острия (табл. 2). Для расширения диапазона исследований, кроме моделей без острия и с пирамидальным острием в экспериментах использовались модели с нетрадиционной формой нижней части, а именно модели с клиновидным острием и модель с закругленным нижним концом (полуэллипсоидной формы).

Таблица 2

Характеристика моделей опытных свай

Номер (наименование) модели	Длина модели без острия (высота острия), мм	Общий объем модели, см <sup>3</sup>	Масса модели, г
1 (с закругленным острием - полуэллипсоидной формы)	305/20	283,92	115,0
2 (с пирамидальным острием)	300/25	277,5	117,4
3 (без острия или с плоским нижним концом)	325/0	292,5	116,3
4 (с клиновидным острием и углом заострения 30°)	269/56	267,3	114,5
5 (тоже с углом заострения 60°)	299/26	280,8	116,8
6 (тоже с углом заострения 90°)	310/15	285,75	119,2

Исследования проводились в лотке с размерами в плане 55×153 см и глубиной 80 см. В качестве грунта использовался суглинок, уложенный в лоток послойно с уплотнением. До укладки суглинок был измельчен и пропущен через сито диаметром 1 мм. В процессе укладки суглинка осуществлялся контроль его плотности и влажности. Плотность грунта проверялась с применением микропенетрационного метода. Пенетрационные испытания проводились в соответствии с требованиями РДС [4] с использованием усовершенствованного микропенетрометра [5]. Физические характеристики грунта представлены в табл. 3.

Забивка моделей производилась с применением навесного приспособления, обеспечивающего нанесение ударов по модели сваи цилиндрическим элементом, перемещаемым по направляющему стержню [1]. Ударник имел сквозное центральное отверстие, посредством которого осуществлялось перемещение ударника по поверхности направляющего

стрежня. Нижний конец направляющего стрежня вставлялся в выемку в голове модели, что обеспечивало строгую соосность и вертикальность ударов при забивке модели. Масса ударного элемента составляла 2,5 кг.

Таблица 3

Физические характеристики грунта

Влажность на границе текучести $W_L$	Влажность на границе раскатывания $W_p$	Влажность, $W$ , %	Плотность, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Плотность грунта в сухом состоянии $\rho_d$ , т/м <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$
26,71	17,5	15,67-15,98	1,46-1,49	1,26-1,28	1,12-1,15

Исследования включали в себя две серии испытаний. В первой серии испытаний модели погружались одинаковым количеством ударов, равным 20. Во второй серии модели забивались на одинаковую глубину. Высота сбрасывания ударника в обоих случаях принималась равной 15,0 см. В процессе забивки при каждом ударе измерялся остаточный отказ моделей при помощи индикатора часового типа с точностью до  $\pm 0,01$  мм.

Несущая способность моделей определялась путем проведения их динамических испытаний после истечения 6 суток после забивки. Динамические испытания состояли в нанесении по модели 3-х ударов с постоянной высоты. Средняя величина отказа модели (от залога в три удара)  $S_c$  использовалась для расчета силы динамического сопротивления грунта внедрению модели в грунт  $F_{гр}$  по формуле (1), которая в последующем использовалась для определения несущей способности модели сваи  $F_c$  по формуле (2) [1]

$$F_{гр} = (1/k_p S_c) \times \{ QH - [Q(k_m + \mu_c \sin \alpha) \times (H + S_c)] - k_b \sqrt{0,5gH^3} - S_c(q_c - Q_{нс}) \}, \quad (1)$$

$$F_c = tF_{гр} + f, \quad (2)$$

где:  $F_{гр}$  - сила динамического сопротивления грунта внедрению модели сваи при ударе, Н;  $k_p$  – коэффициент, определяющий долю фактической работы ударника по преодолению сопротивления грунта от идеализированной работы, равной произведению  $F_{гр} S_c$ ;  $S_c$  - остаточный отказ модели, м;  $Q$  – вес ударника, Н;  $H$  – высота сбрасывания ударника, м;  $k_m$  – коэффициент, определяющий долю конструктивного трения от веса ударника при скольжении ударника по направляющему стержню;  $\mu_c$  – коэффициент трения скольжения;  $\alpha$  – угол наклона направляющего стержня от вертикали в градусах;  $k_b$  – коэффициент, учитывающий влияние вязкости воздуха;  $q_c$  – вес модели сваи, Н;  $Q_{нс}$  - вес направляющего стержня, Н;  $F_c$  - несущая способность модели, Н;  $t, f$  – коэффициенты, соответственно равные 0,8208 и 2,8096 Н.

**Результаты исследований.** Результаты первой серии испытаний приведены в таблице 4 и на рисунках 1 и 2.

Из результатов испытаний видно, что при одинаковом количестве ударов ударника модели погружены на разную глубину (от 229,5 мм до 266,7 мм, разница составляет 37,2 мм или 16,2%). Наибольшая глубина забивки имеет место для модели 4 с клиновидным острием и углом заострения 30°. Для данной модели свойственны также наименьший отказ (в конце забивки) и соответственно – наибольшая несущая способность. Второе место по погружаемости (по глубине забивки) и несущей способности занимает модель 1 с закругленным острием. Модель 2 с пирамидальным (традиционным) острием по рассматриваемым параметрам находится на третьем месте.

Таблица 4

Результаты первой серии испытаний моделей свай

Номер модели	Глубина забивки, мм	Остаточный отказ модели при последнем ударе $S_c$ , мм	Удельная энергоёмкость забивки $E_v$ , Дж/см <sup>3</sup>	Сила сопротивления $F_{гр}$ , Н	Несущая способность $F_c$ , Н
1	258,3	8,3	0,329	420,2	347,7
2	250,6	8,9	0,350	391,6	317,2
3	229,5	9,9	0,356	351,9	291,6
4	266,7	7,3	0,342	478,3	395,4
5	248,9	9,3	0,347	374,7	310,4
6	241,7	9,6	0,349	362,9	300,7

Примечание – Удельная энергоёмкость забивки  $E_v$  представляет собой отношение суммы потенциальной энергии всех ударов по модели к объёму ее погруженной части.

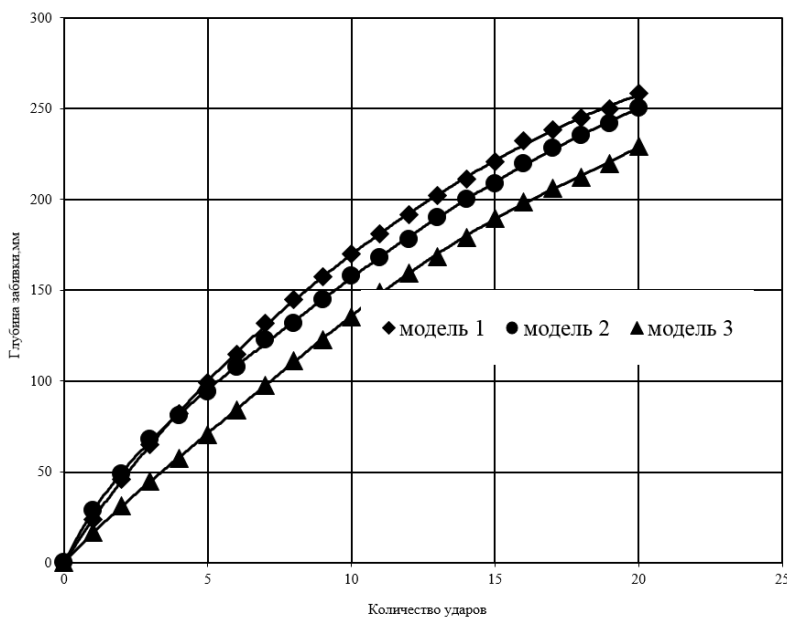


Рис. 1. Ходограммы забивки моделей 1-3 при одинаковых ударах ударника

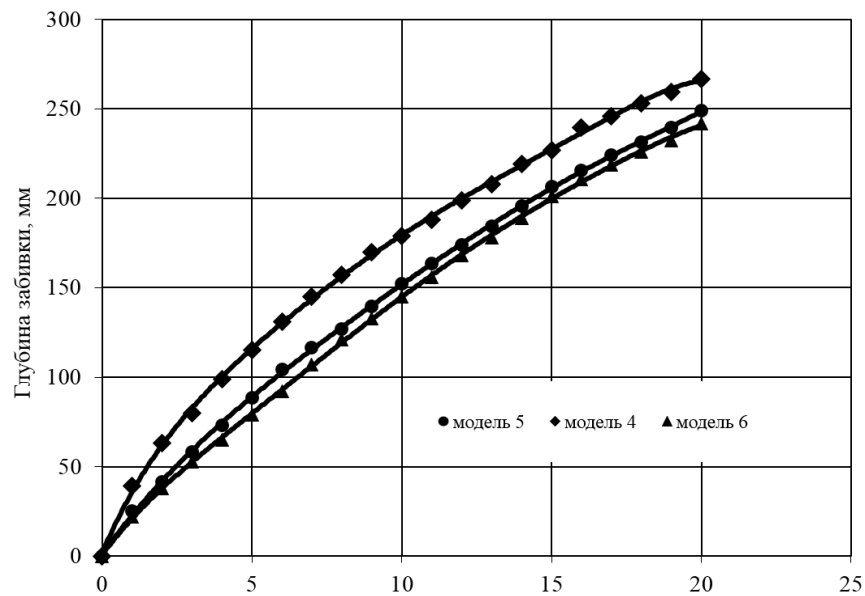


Рис. 2. Ходограммы забивки моделей 4-6 при одинаковых ударах ударника

Наименьшая глубина погружения, наибольший отказ и соответственно наименьшая несущая способность характерна для модели 3 с плоским нижним концом. Для моделей 4, 5 и 6 с клиновидным острием прослеживается влияние угла заострения. Так с увеличением угла заострения от 30° до 90° наблюдается уменьшение глубины забивки (на 6,7-9,4%), увеличение отказа (на 27,4-31,5%) и уменьшение несущей способности моделей (на 21,5-24,0%). Форма нижнего конца моделей и угол заострения моделей с клиновидным острием оказывают влияние и на удельную энергоёмкость забивки. Так наибольшей удельной энергоёмкостью обладает модель 3 с плоским нижним концом, а наименьшей – модель 1 с закругленным острием (разница между ними составляет 7,6%).

Результаты второй серии испытаний, представлены в таблице 5 и на рисунках 3 и 4.

Таблица 5

Результаты второй серии испытаний моделей свай

Номер модели	Глубина забивки, мм	Количество ударов	Остаточный отказ модели при последнем ударе $S_c$ , мм	Удельная энергоёмкость забивки $E_v$ , Дж/см <sup>3</sup>	Сила сопротивления $F_{гр}$ , Н	Несущая способность $F_c$ , Н
1	202,1	13	10,4	0,276	334,79	277,6
2	200,1	14	10,0	0,312	348,31	288,7
3	198,9	16	9,3	0,329	374,76	310,4
4	199,2	12	12,0	0,287	289,75	240,6
5	198,1	14	11,4	0,310	305,16	253,3
6	201,1	15	11,0	0,317	316,34	262,5

Модели забиты практически на одинаковую глубину (от 198,1 мм до 202,1 мм, разница составляет 4 мм или 2%) разным количеством ударов

ударника (от 12 до 16 ударов, разница составляет 4 удара или 33,3%). Как и в испытаниях второй серии, наибольшая удельная энергоёмкость характерна процессу забивки модели 3 с плоской подошвой, а наименьшая – модели 1 с закругленным острием (разница между ними составляет 16,1%). Удельная энергоёмкость забивки модели 2 с пирамидальным острием на 5,2 % ниже удельной энергоёмкости модели 3. Для моделей 5 и 6 по сравнению с моделью 4 имеет место увеличение рассматриваемого параметра на 8,0 и 10,5% за счет увеличения угла заострения соответственно на 30° и 60°.

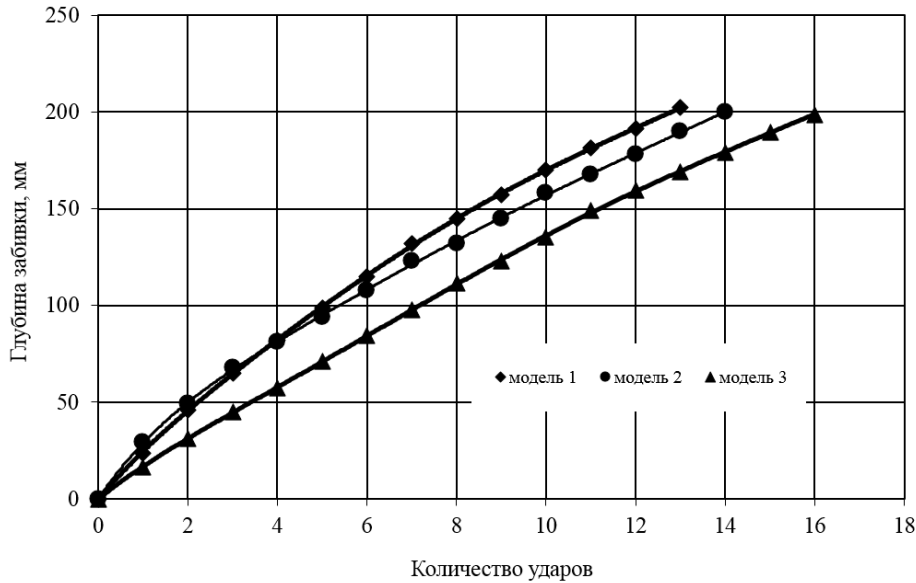


Рис. 3. Ходограммы забивки моделей 1-3 при их одинаковой глубине погружения

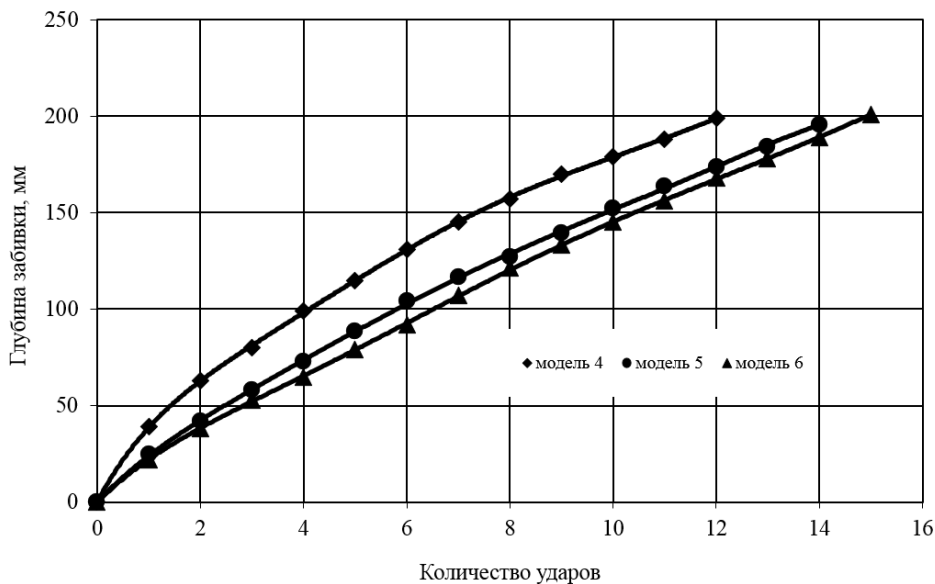


Рис. 4. Ходограммы забивки моделей 4-6 при их одинаковой глубине погружения

Наименьший отказ в конце забивки и соответственно наибольшая несущая способность принадлежит модели 3 с плоским концом. Несущая способность модели 2 с пирамидальным острием на 7,0% ниже несущей способности модели 3. На третьем месте по несущей способности находится модель 1 с закругленной нижней частью (на 3,8% меньше чем у модели 2). Наименьшая несущая способность характерна для модели 4 с клиновидным острием и углом заострения 30°. Для моделей 5 и 6 по сравнению с моделью 4 наблюдается повышение несущей способности на 5,3 и 9,1% за счет увеличения угла заострения соответственно на 30° и 60°.

Как правило, при проектировании свайных фундаментов, сваи в пределах площадки или ее части заглубляются на одинаковую глубину. Поэтому большой практически интерес для специалистов представляют результаты второй серии испытаний. Учитывая данное обстоятельство для учета влияния формы нижнего конца свай на энергоемкость их забивки и несущую способность, нами на стадии проектирования свайных фундаментов рекомендуются использовать следующие зависимости, полученные на основе результатов указанной серии испытаний

$$E_v = k_v E_{vb}, \quad (3)$$

$$F_c = k_f F_{cb}, \quad (4)$$

где:  $k_v$  и  $k_f$  - коэффициенты, учитывающие влияние формы нижнего конца сваи и равные соответственно: 1,05 и 1,08 - для сваи с плоской подошвой (без острия); 0,88 и 0,96 - для сваи с закругленным (полуэллипсоидным) нижним концом; 0,92 и 0,83 - для сваи с клиновидным острием при угле заострения 30°; 0,99 и 0,88 - для сваи с клиновидным острием при угле заострения 60°; 1,02 и 0,91 - для сваи с клиновидным острием при угле заострения 90°;  $E_{vb}$  - удельная энергоемкость забивки сваи с пирамидальным острием;  $F_{cb}$  - несущая способность сваи с пирамидальным острием.

**Закключение.** На основе результатов проведенных исследований можно однозначно утверждать, что форма нижнего конца сваи и угол ее заострения оказывают влияние на погружаемость сваи, удельную энергоемкость ее забивки и несущую способность.

Наиболее предпочтительными по несущей способности являются сваи без острия (с плоским нижним концом). Но, они требуют больших энергетических затрат молотов для забивки, чем сваи с иной формой нижнего конца. Сваи с традиционным пирамидальным острием по несущей способности уступают сваям без острия, но они по сравнению с ними менее энергоемки при забивке. По удельной энергоемкости забивки наиболее эффективны сваи с закругленной нижней частью. Кроме того, такие сваи по сравнению со сваями с клиновидным острием обладают большей несущей способностью. Из свай с клиновидным острием по удельной энергоемкости предпочтительны сваи с углом заострения нижней части 30°, а по несущей способности – сваи с углом заострения нижней части 90°.

#### Список литературы

1. Бекбасаров, И.И. Оценка влияния параметров свай и штампов на их погружаемость и несущую способность фундаментных конструкций [Текст]:



- монография / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков, А. Аманбай. - Тараз: Изд-во «Тараз университеті», 2014. - 146 с.
2. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям [Текст] / Ф.К. Лапшин. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1979. – 152 с.
  3. Бартоломей, А.А. Ресурсосберегающие технологии возведения фундаментов из свай заводской готовности [Текст] / А.А. Бартоломей, Б.В. Бахолдин, Б.В. Гончаров [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. - 111 с.
  4. РДС РК 5.01-09-2003. Оперативный контроль за плотностью грунтов в условиях строительной площадки при их уплотнении [Текст]. - Астана: Проектная академия «KAZGOR», 2003. – 11 с.
  5. Инновационный патент Республики Казахстан №27783. Микропенетромметр для испытаний грунтов [Текст]. Опубликовано 18.12.2013, бюл. №12.

Материал поступил в редакцию 20.12.22.

**М.Н. Байтемиров, Б.Б. Жанұзақов**

«ҚазҚСҒЗИ» АҚ ОҚФ, Тараз қ., Қазақстан

#### **ТӨМЕНГІ ҰШЫНЫҢ ТҮРЛІ ПІШІМДЕРІ БАР ПРИЗМАТИКАЛЫҚ ҚАДАЛАРДЫҢ ҚАҒЫЛУЫ, ЭНЕРГИЯ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ЖҮК КӨТЕРУ ҚАБІЛЕТІ ТУРАЛЫ**

**Аңдатпа.** Нүктесіз, түбі дөңгеленген, пирамидалық нүктесі бар, сондай-ақ әртүрлі нүктелік бұрыштардағы сына тәрізді нүктесі бар қадалардың үлгілерін қолданып эксперименталды зертханалық зерттеулердің нәтижелері берілген. Төменгі ұшының пішіні және қада үлгілерінің қайрау бұрышы олардың батыру тереңдігіне, қозғалыстың меншікті энергия шығынына және көтеру қабілетіне әсер ететіні анықталды. Қада үлгілерінің көтергіштігін бағалау үшін динамикалық сынақ әдісі әзірленді және қолданылды.

**Тірек сөздер:** қада, топырақ, қада үлгісі, қаданың шөгү қабілеті, қағу, энергия сыйымдылығы, жүк көтергіштігі, шөгү, қарсылық күші.

**M.N. Baitemirov, B.B. Januzakov**

SKB JSC “Kazakh RICA”, Taraz, Kazakhstan

#### **ON SUBMERSIBILITY, ENERGY INTENSITY AND BEARING CAPACITY OF PRISMATIC PILES WITH DIFFERENT SHAPES OF THE LOWER END**

**Abstract.** The results of experimental laboratory studies using models of piles without a point, with a rounded bottom part, with a pyramidal point, and with a wedge-shaped point at various point angles are presented. It has been established that the shape of the lower end and the angle of sharpening of the pile models affect their immersion depth, the specific energy consumption of the driving and the bearing capacity. To assess the bearing capacity of pile models, a dynamic test method was developed and used.

**Keywords:** pile, soil, pile model, pile sink ability, driving, energy consumption, bearing capacity, settlement, failure.

#### **References**

1. Bekbasarov I.I., Isakov G.I., Amanbay A. Otsenka vliyaniya parametrov svay i shtam-pov na ikh pogruzhayemost' i nesushchuyu sposobnost' fundamentnykh konstruktsiy [Evaluation of the influence of the parameters of piles and stamps on

- their immersion and bearing capacity of foundation structures]: monograph. - Taraz: Publishing House "Taraz University", 2014. -146 p. [in Russian].
2. Lapshin F.K. Raschet svay po predel'nym sostoyaniyam [Calculation of piles for limit states]. - Saratov: Saratov University Press, 1979. - 152 p. [in Russian].
  3. Bartolomei A.A., Bakholdin B.V., Goncharov B.V. Resursosberegayushchiye tekhnologii vozvedeniya fundamentov iz svay zavodskoy gotovnosti [Resource-saving technologies for building foundations from prefabricated piles]. - Moscow: Stroyizdat, 1990. -111 p. [in Russian].
  4. RDS RK 5.01-09-2003. Operational control over the density of soils in the conditions of a construction site during their compaction. - Astana: Design Academy "KAZGOR", 2003. - 11 p. [in Russian].
  5. Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 27783. Micropenetrometer for soil testing. Published on 12/18/2013, bul. No. 12. [in Russian].