

# Об энергоемкости забивки и несущей способности моделей свай с уширениями ствола

<sup>1</sup>\***АТЕНОВ Ерлан Имангалиевич**, постдокторант, [yer\\_at@mail.ru](mailto:yer_at@mail.ru),  
<sup>1</sup>**БЕКБАСАРОВ Исабай Исакович**, д.т.н., профессор, [bekbasarov.isabai@mail.ru](mailto:bekbasarov.isabai@mail.ru),  
<sup>1</sup>НАО «Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати», ул. Сулейменова, 7,  
Тараз, Казахстан,  
\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Изложены результаты забивки и статических испытаний моделей свай с разной продольной формой, проведенных в лабораторных условиях. Выявлено, что сваи с уширениями ствола в большинстве случаев более энергоемки по погружаемости, чем сваи без уширений. Количество уширений оказывает влияние на затраты энергии по забивке свай и их сопротивляемость действию вертикальной осевой нагрузки. Сваи с уширениями ствола, в отличие призматических и пирамидальных свай, обладают большей несущей способностью. Выявленные особенности свай с уширениями обусловлены более эффективным уплотнением и более активным проявлением сил отпора грунта под их уширениями.

**Ключевые слова:** модель, свая, уширения, грунт, основание, испытание, забивка, нагрузка, деформация, несущая способность.

## Введение

В свайном фундаментостроении, наряду с традиционными призматическими сваями, широкое применение получили сваи с необычной продольной формой ствола (имеющие уширения, утолщения и др.). Результаты исследований работы таких свай в различных грунтовых условиях свидетельствуют об их значительной эффективности (по несущей способности), по сравнению с призматическими сваями [1-3].

В настоящее время из забивных свай с уширениями малоизученными являются сваи с плоскими треугольными уширениями ствола, разработанные в геотехнической лаборатории ТарПУ им. М.Х. Дулати [4]. Результаты предварительной расчетной оценки, представленные в работах [5, 6], свидетельствуют о том, что эти сваи, по сравнению со сваями призматической и пирамидальной формы, более предпочтительны при действии статических вдавливающих нагрузок.

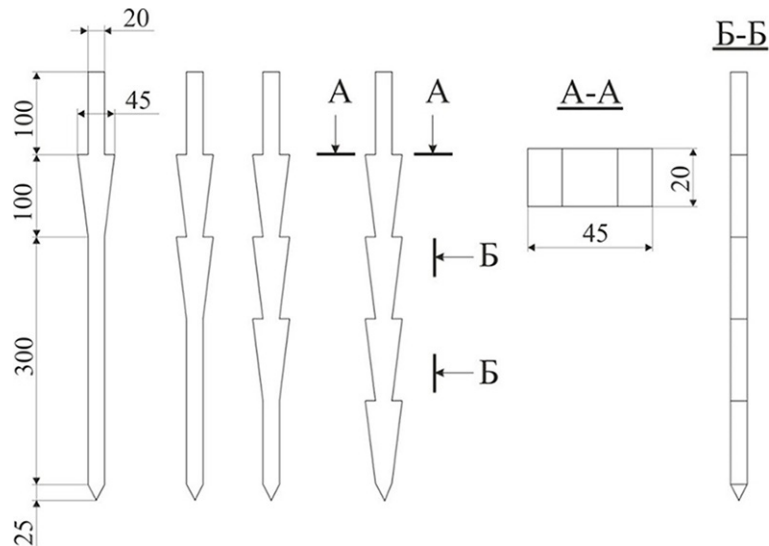
Учитывая изложенные обстоятельства для количественной оценки погружаемости, энергоемкости и несущей способности рассматриваемых свай в сравнении с традиционными видами свай авторами проведены экспериментальные исследования на моделях в лабораторных условиях.

## Методы и объекты исследования

Модели свай выполнены из деревянных брусьев с соотношением размеров моделей к размерам натуральных свай 1:10. Количество уширений в моделях опытных свай принято от 1 до 4 (рисунок 1). С целью сопоставления результатов исследований в экспериментах использованы три контрольные модели свай: из них две – призматических форм, имеющие размеры в сечении соответственно 20×20 мм и 30×30 мм, и одна – пирамидальной формы, имеющая размеры в верхнем сечении 30×30 мм, в нижнем – 20×20 мм. Модель сваи пирамидальной формы имеет отклонение боковых граней к продольной оси  $i_p = 0,01$ . Размеры моделей представлены в таблице 1.

Испытания моделей свай проведены в лотке, заполненном легким песчанистым суглинком. Укладка однородного грунта в лоток производилась его засыпкой и равномерным разравниванием. Лоток оборудован многоцелевыми приспособлениями, позволяющими производить забивку и испытание моделей свай статическими нагрузками. Состав и порядок работы приспособлений описан в работе [7].

Забивка моделей свай в грунт производилась ударником. Ударник массой 0,6 кг



**Рисунок 1 – Схема моделей опытных свай с уширениями**

**Таблица 1 – Размеры и масса моделей свай**

Модель сваи	Размеры, мм					Масса, г
	длина ствола	длина острия	размеры поперечного сечения ствола	ширина уширения	высота уширения	
Опытные:						
- с 1 уширением;	500	15	20×20	45	100	124
- с 2 уширениями;						135
- с 3 уширениями;						147
- с 4 уширениями.						158
Контрольные:						
- призматическая;	500	15	20×20	-	-	116
- призматическая;			30×30			224
- пирамидальная			30×30 / 20×20			160

Примечание: перед чертой даны размеры верхнего сечения, после черты – размеры нижнего сечения.

сбрасывался с постоянной высоты, равной 50 см, что обеспечивало одинаковую энергию удара. В процессе забивки моделей производился подсчет количества ударов и глубины их погружения. Модели свай заглублялись до 44,1-44,7 см (различие не превысило 1,40%).

**Результаты и их обсуждение**

Сведения о результатах забивки моделей свай сведены в таблицу 2. Для сравнительной оценки результатов забивки приняты следующие показатели:

- энергетические затраты на забивку моделей, приходящиеся на единицу объема  $E_v$ , т.е. отношение количества общей энергии, расходуемой на забивку модели сваи, к объ-

ему заглубленной части сваи (таблица 2);

- сравнительная энергоэффективность забивки  $K_z$ , учитывающая отношение общей энергии забивки модели сваи с уширением к общей энергии забивки моделей свай призматических и пирамидальной форм (таблица 3).

Результаты экспериментов позволяют выделить следующие особенности процесса забивки опытных свай:

- в зависимости от количества уширений при одинаковой глубине погружения опытные сваи по сравнению с призматическими и пирамидальными сваями могут обладать как большими (в 1,17-3,33 раза), так и меньшими (на 3-45%) затратами энергии на забивку;

**Таблица 2 – Результаты экспериментов по забивке моделей свай**

Модель сваи	Общая энергия забивки, Е, Дж (количество ударов)	Глубина погружения, L, мм	Объем погруженной части, V, см <sup>3</sup>	Энергетические затраты на забивку, приходящиеся на единицу объема, E <sub>v</sub> , Дж/см <sup>3</sup>
с 1 уширением	97,12 (33)	441	206,4	0,471
с 2 уширениями	132,44 (45)	442	231,8	0,571
с 3 уширениями	170,69 (58)	441	256,4	0,666
с 4 уширениями	206,01 (70)	442	281,8	0,731
призматическая (сечением 20×20)	61,80 (21)	447	182,1	0,339
призматическая (сечением 30×30)	176,58 (60)	441	404,3	0,437
пирамидальная	108,89 (37)	441	262,68	0,415

**Таблица 3 – Сравнительная энергоэффективность забивки K<sub>з</sub> моделей свай**

Вид показателя	Численные параметры показателей для модели сваи с количеством уширений			
	1	2	3	4
K <sub>з1</sub>	1,57	2,14	2,76	3,33
K <sub>з2</sub>	0,55	0,75	0,97	1,17
K <sub>з3</sub>	0,89	1,22	1,57	1,89

Примечание: K<sub>з1</sub> и K<sub>з2</sub> – показатели, относящиеся к моделям свай призматических форм, имеющие размеры в сечении соответственно 20×20 мм и 30×30 мм; K<sub>з3</sub> – то же, для модели пирамидальной сваи.

- энергетические затраты, приходящиеся на единицу объема погруженных свай с уширением ствола в 1,08-2,16 раза больше, чем для свай призматической и пирамидальной форм;

- с увеличением количества уширений в сваях энергетические затраты на их забивку на одинаковую глубину увеличиваются в 1,36-2,12 раза.

Сопrotивляемость моделей свай оценивалась по результатам их статических испытаний вертикальными осевыми нагрузками. Испытания проводились с соблюдением основных положений нормативного документа [8]. Модели свай нагружались до достижения ими осадочных деформаций не менее 40,0 мм.

График зависимости осадок моделей свай при действии вертикальной осевой нагрузки приведен на рисунке 2. Сопrotивляемость и несущая способность, приходящаяся на единицу объема моделей свай, представлены в таблице 4.

Для сравнительной оценки результатов испытаний приняты следующие показатели:

- несущая способность F<sub>d</sub>, устанавливаемая в соответствии с положениями нормативного документа [9];

- несущая способность, приходящаяся на единицу объема F<sub>d</sub><sup>у</sup>, т.е. отношение несущей способности модели сваи к объему заглубленной части сваи;

- сравнительная эффективность модели по сопротивляемости K<sub>н</sub>, учитывающая отношение сопротивляемости модели сваи с уширением к несущей способности модели призматической и пирамидальной сваи (таблицы 5-6).

Результаты испытаний моделей свай позволяют установить следующие особенности работы опытных свай при действии вертикальных осевых нагрузок:

- сваи с уширениями ствола (в зависимости от количества уширений) по сравнению со сваями пирамидальной и призматической форм при одинаковых значениях их осадок обладают как большей несущей способностью (в 1,11-2,84 раза), так и большей (в 1,49-2,70 раза) удельной несущей способностью;

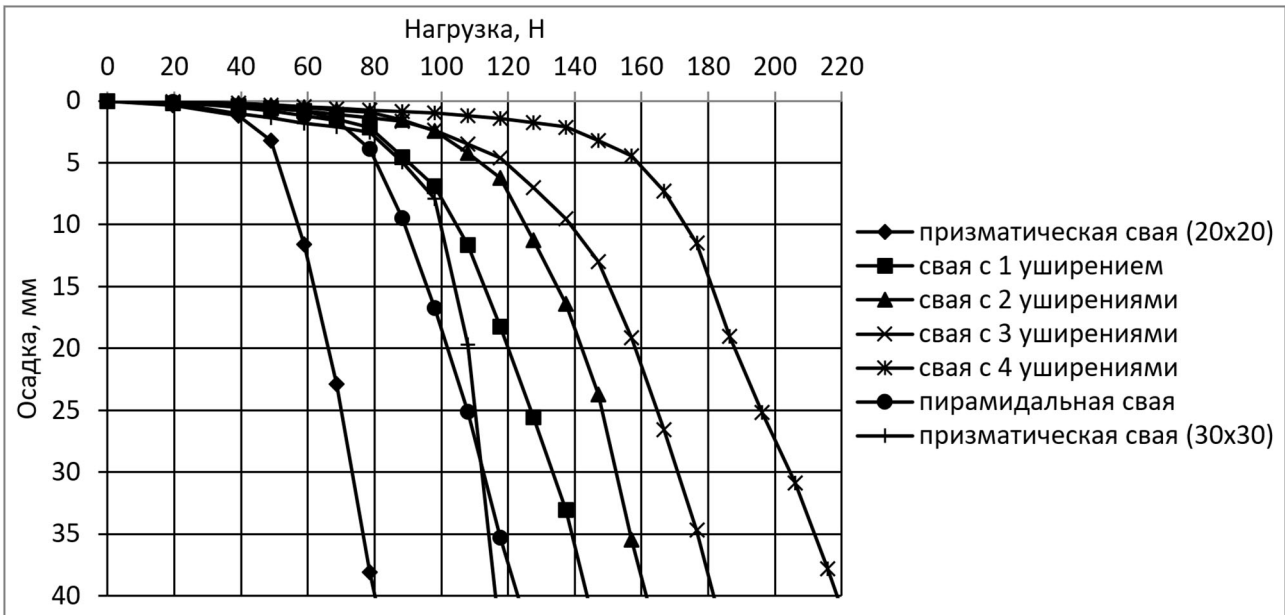


Рисунок 2 – Результаты статических испытаний моделей свай вертикальными осевыми нагрузками

Таблица 4 – Значения  $F_d$  и  $F_d^v$  моделей свай

Модель сваи	Несущая способность, $F_d$ , Н, при глубине осадки, равной		Несущая способность, приходящаяся на единицу объема, $F_d^v$ , Н/см <sup>3</sup> , при глубине осадки, равной	
	20 мм	40 мм	20 мм	40 мм
с 1 уширением	120,2	143,8	0,582	0,696
с 2 уширениями	142,1	161,4	0,613	0,696
с 3 уширениями	158,1	181,9	0,617	0,709
с 4 уширениями	188,0	218,6	0,667	0,776
призматическая (20×20)	66,2	80,2	0,364	0,440
призматическая (30×30)	108,0	116,2	0,267	0,287
пирамидальная	101,8	123,0	0,388	0,468

Таблица 5 – Сравнительная эффективность моделей свай по сопротивляемости  $K_n$  для значения осадки 20 мм

Вид показателя	Численные параметры показателей для модели сваи с количеством уширений			
	1	2	3	4
$K_{n1}$	1,82	2,15	2,39	2,84
$K_{n2}$	1,11	1,32	1,46	1,74
$K_{n3}$	1,18	1,4	1,55	1,85

Примечание:  $K_{n1}$  и  $K_{n2}$  – показатели, относящиеся к моделям свай призматических форм, имеющие размеры в сечении соответственно 20×20 мм и 30×30 мм;  $K_{n3}$  – то же, для модели пирамидальной сваи.

**Таблица 6 – Сравнительная эффективность моделей свай по сопротивляемости  $K_n$  для значения осадки 40 мм**

Вид показателя	Численные параметры показателей для модели свай с количеством уширений			
	1	2	3	4
$K_{н1}$	1,79	2,01	2,27	2,73
$K_{н2}$	1,24	1,39	1,57	1,88
$K_{н3}$	1,17	1,31	1,48	1,78

- с увеличением количества уширений несущая способность опытных свай (при одинаковых значениях осадок) увеличивается в 1,12-1,56 раза, а их удельная несущая способность – в 1,0-1,15 раза.

### Выводы

В целом результаты выполненных экспериментальных исследований позволяют сформулировать следующие основные выводы:

- энергетические затраты на погружение свай с уширением ствола, а также их несущая способность (удельная несущая способность) при действии вертикальной осевой

нагрузки повышаются с увеличением количества уширений;

- при одинаковой глубине забивки, а также при одинаковых осадках, для свай с уширениями ствола, в отличие от призматических и пирамидальных свай, характерна более высокая несущая способность (удельная несущая способность).

Выявленные особенности поведения свай с уширениями ствола, в отличие от сравниваемых (традиционных) свай, на наш взгляд, обусловлены более эффективным уплотнением и активным проявлением сил отпора грунта под наклонными гранями каждого уширения свай.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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, 262, Article number: 012102, 2017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012102>
2. Movahedi Rad, M. «Reliability Based Analysis and Optimum Design of Laterally Loaded Piles», Periodica Polytechnica Civil Engineering, 61 (3), pp. 491-497, 2017. <https://doi.org/10.3311/PPci.8756>
3. Бекбасаров И.И., Байтелиев Р.Т., Шилибеков С.К., Исаков Г.И. Новые перспективные ресурсосберегающие свайные конструкции // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 81-92.
4. Бекбасаров И.И., Исаков Г.И. Забивная железобетонная свая. Инновационный патент РК № 76564. – Астана, 2012. – Бюллетень № 1. – 3 с.
5. Бекбасаров И.И., Атенев Е.И. О несущей способности забивных свай с плоскими уширениями ствола // Материалы МНП конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве». – Алматы: КазГАСА, 2018. – С. 123-128.
6. Бекбасаров И.И., Атенев Е.И. Сравнительная оценка несущей способности свай с разной продольной формой // Материалы XIII МНК молодых ученых «Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане». Том II. – Тараз: Тараз университеті, 2019. – С. 24-25.
7. Бекбасаров И.И., Атенев Е.И., Шаншабаев Н.А. О лабораторном оборудовании для забивки и испытаний моделей свай // Механика и технологии. – 2019. – № 4. – С. 125-133.
8. ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014. – 47 с.
9. СП РК 5.01-103-2013. Свайные фундаменты. – Астана: КазНИИСА, 2015. – 181 с.

### **Діңгегі кеңейтілген қадалар модельдерінің қағу кезіндегі энергия сыйымдылығы мен жүк көтеру қабілеті туралы**

<sup>1</sup>\***АТЕНОВ Ерлан Иманғалиұлы**, постдокторант, yer\_at@mail.ru,

<sup>1</sup>**БЕКБАСАРОВ Исабай Исақұлы**, т.ғ.д., профессор, bekbasarov.isabai@mail.ru,

<sup>1</sup>«М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті» КеАҚ, Сүлейменов көшесі, 7, Тараз, Қазақстан,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Ұзындығы бойынша пішіні әртүрлі қада модельдерін зертхана жағдайында соққылап қағу және статикалық сынау жұмыстарының нәтижелері баяндалған. Діңгегі кеңейтілген қадалардың қарапайым қадалармен салыстырғанда қағылуы бойынша энергия шығыны басым екендігі анықталды. Кеңейтілген бөліктерінің саны қаданы қағу кезіндегі энергия шығынына және вертикалды жүктемелермен батыру кедергісіне әсер ететіні байқалды. Призмалық және пирамидалық қадаларға қарағанда діңгегі кеңейтілген қадалардың жүк көтеру қабілетінің жоғары екендігі айқындалды. Діңгегі кеңейтілген қадалардың анықталған ерекшеліктері кеңейтілген бөліктерінің астындағы топырақ қабатының тиімді тығыздалуымен және едәуір топырақ тойтарысы күшінің туындауымен түсіндіріледі.

**Кілт сөздер:** модель, қада, кеңейту, топырақ, негіз, сынақ, қағу, жүктеме, деформация, жүк көтеру қабілеті.

### **On the Energy Consumption of Pile Driving and the Bearing Capacity of Pile Models with Shaft Broadenings**

<sup>1</sup>\***ATENOV Yerlan**, Postdoctoral Fellow, yer\_at@mail.ru,

<sup>1</sup>**BEKBASAROV Isabai**, Dr. of Tech. Sci., Professor, bekbasarov.isabai@mail.ru,

<sup>1</sup>NCJSC «M.Kh. Dulaty Taraz Regional University», Suleymenov Street, 7, Taraz, Kazakhstan,

\*corresponding author.

**Abstract.** The results of driving and static tests of pile models with different longitudinal shapes, carried out in laboratory conditions, are presented. It was found that piles with broadening of the trunk are, in most cases, more energy intensive in terms of immersion than piles without broadening of the trunk. The amount of broadening affects the energy costs of driving piles and their resistance to the effect of pressing vertical load. Piles with broadening of the trunk, unlike prismatic and pyramidal piles, have greater bearing capacity. The revealed features of piles with broadening are due to a more effective compaction and a stronger manifestation of soil repulsion forces under their broadening.

**Keywords:** model, pile, broadening, soil, foundation, test, driving, loading, deformation, bearing capacity.

## REFERENCES

1. 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, 262, Article number: 012102, 2017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012102>
2. Movahedi Rad, M. «Reliability Based Analysis and Optimum Design of Laterally Loaded Piles», Periodica Polytechnica Civil Engineering, 61 (3), pp. 491-497, 2017. <https://doi.org/10.3311/PPci.8756>
3. Bekbasarov I.I., Baiteliev R.T., Shilibekov S.K., Isakov G.I. Novyye perspektivnyye resursosbergayushchiye svaynyye konstruksii [New promising resource-saving pile structures] // Bulletin of PNRPU. Construction and architecture. – 2014. – No. 4. – Pp. 81-92. [In Russ].

4. Bekbasarov I.I., Isakov G.I. Zabivnaya zhelezobetonnyaya svaya [Driven reinforced concrete pile]. Innovative patent of the Republic of Kazakhstan No. 76564. – Astana, 2012. – Bulletin No. 1. – 3 p. [In Russ].
5. Bekbasarov I.I., Atenov Y.I. O nesushchey sposobnosti zabivnykh svay s ploskimi ushireniyami stvola [On the bearing capacity of driven piles with flat shaft broadenings] // Proceedings of the conference. – Almaty: KazGASA, 2018. – Pp. 123-128. [In Russ].
6. Bekbasarov I.I., Atenov Y.I. Sravnitel'naya otsenka nesushchey sposobnosti svay s raznoy prodol'noy formoy [Comparative assessment of the bearing capacity of piles with different longitudinal shapes] // Proceedings of the XIII conference of young scientists «Innovative development and demand for science in modern Kazakhstan». Volume II. – Taraz: Taraz University, 2019. – Pp. 24-25. [In Russ].
7. Bekbasarov I.I., Atenov Y.I., Shanshabaev N.A. O laboratornom oborudovanii dlya zabivki i ispytaniy modeley svay [On laboratory equipment for driving and testing pile models] // Mechanics and Technologies. – 2019. – No. 4. – Pp. 125-133. [In Russ].
8. GOST 5686-2012 Grunty. Metody polevykh ispytaniy svayami. Mezhdgosudarstvennyy standart [Soils. Methods of field tests with piles. Interstate standard]. – Moscow: Standartinform, 2014. – 47 p. [In Russ].
9. SP RK 5.01-103-2013. Svaynyye fundamenty [Pile foundations]. – Astana: KazNIISA, 2015. – 181 p. [In Russ].