

## ВЛИЯНИЕ УГЛА ЗАОСТРЕНИЯ НАКОНЕЧНИКА НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПОГРУЖЕНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ

Пойта П.С., Юськович Г.И., Юськович В.И, Семенюк С.М.

Одним из путей снижения общей стоимости фундаментов из забивных свай является уменьшение энергетических и трудовых затрат на их погружение за счет совершенствования технологических приемов установки в грунт и создания новых конструктивных решений [1, 2].

Оценка влияния угла заострения свай на энергоемкость их погружения в грунт в реальных грунтовых условиях оценивали экспериментальным путем. Опыты проводились на сваях-моделях, выполненных из дерева. Длина сваи была принята равной 1000 мм, а размеры поперечного сечения – 50×50 мм. Угол заострения наконечника свай изменился от 10° до 180° и принимался равным 10°, 20°, 30°, 45°, 60°, 90° и 180°. Для забивки свай применялись ударные грузы массой 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 и 5,0 кг, имеющие цилиндрическую форму и сквозное отверстие для свободного скольжения по направляющему стержню. Соотношение масс ударных грузов и моделей свай было принято 0,5/1; 1/1; 2/1; 3/1 и 5/1.

Сущность методики проводимых опытов заключалась в замере числа ударов и определении энергии погружения моделей в грунт до требуемых отметок. Число ударов груза подсчитывалось на каждые 100 мм погружения сваи в грунт, а к концу забивки – на каждые 10 мм.

Модели свай забивались в полевых условиях в грунт естественной влажности и плотности. Было проведено три серии опытов на экспериментальных площадках №1, №2 и №3, которые характеризовались различными грунтовыми условиями (табл. 1.).

Такие грунтовые условия экспериментальных площадок выбраны в связи с наибольшей распространенностью этих грунтов на территории Республики Беларусь.

Таблица 1 – Физико-технические характеристики грунтовых условий

Номер площадки	Вид грунта	Характеристика грунта:		
		наименование	един. изм.	кол-во
1	2	3	4	5
№1	Песок мелкозернистый	Плотность	т/м <sup>3</sup>	1,65
		Угол внутреннего трения	град.	32
		Коэффициент сцепления	МПа	0,002
№2	Глина мягкопластичная	Степень влажности	дол. ед.	0,44
		Число пластичности	дол. ед.	0,19
№3	Торфяной грунт	Показатель констистенции	дол. ед.	0,62
		Степень заторфованности	дол. ед.	0,62

В каждой серии опытов проводились испытания всех моделей свай при различном соотношении масс ударного груза и сваи, а также различной высоте падения ударного груза. Таким образом, все опыты в каждой серии делились на две группы. Первая группа опытов проводилась при одинаковой высоте падения грузов и различной их массе. Высота падения ударного груза во всех опытах была принята равной 1 м. Во второй группе опытов каждая модель сваи забивалась при одинаковой энергии удара, то есть с изменением массы груза менялась и высота его падения. При такой методике проведения опытов предотвращалось влияние высоты падения груза и его массы на энергоемкость забивки.

Для исключения влияния случайных факторов на результаты опытов каждая модель сваи при различных условиях забивки погружалась в грунт не менее шести раз. Погружение моделей свай выполнялось на глубину до 0,75 м. Фактическое расстояние между погружаемыми моделями принималось равным 500 мм.

Результаты испытаний приведены в таблице 2. Зависимости энергозатрат на погружение свай от угла заострения наконечника и массы ударного груза представлены на рисунке 1.

Таблица 2 – Результаты испытаний моделей свай с различными углами сбега граней наконечника

Соотношение масс моделей свай и груза	Вид грунта	Затраты энергии в кДж на погружение моделей свай с углами сбега граней наконечника, град.						
		10	20	30	45	60	90	180
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1/0,5	песок	31,9	28,0	25,8	25,5	27,5	28,0	28,3
	мелкозернистый	27,6	24,5	22,5	22,3	23,9	24,2	24,5
	глина	3,1	2,7	2,5	2,5	2,52	2,55	2,7
1/1	торфяной грунт	27,0	24,1	22,3	22,0	23,8	24,1	24,4
	песок	24,2	21,6	20,4	20,1	21,9	22,0	22,3
	мелкозернистый	2,54	2,3	2,1	2,1	2,1	2,2	2,25
1/2	глина	23,6	21,0	19,8	19,56	20,9	21,1	21,7
	песок	20,6	18,9	17,8	17,5	19,1	17,2	19,2
	мелкозернистый	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0	2,2	2,14
1/3	торфяной грунт	22,7	20,5	19,5	19,0	20,2	20,5	20,9
	песок	20	18,1	17,4	17,0	18,1	18,2	18,5
	мелкозернистый	2,25	2,0	1,95	1,92	1,98	2,0	2,07
1/5	торфяной грунт	20,5	19,0	17,5	17,4	18,4	18,6	19,0
	песок	18,0	16,7	15,7	15,6	16,2	16,3	16,6
	мелкозернистый	1,8	1,6	1,5	1,5	1,55	1,55	1,6

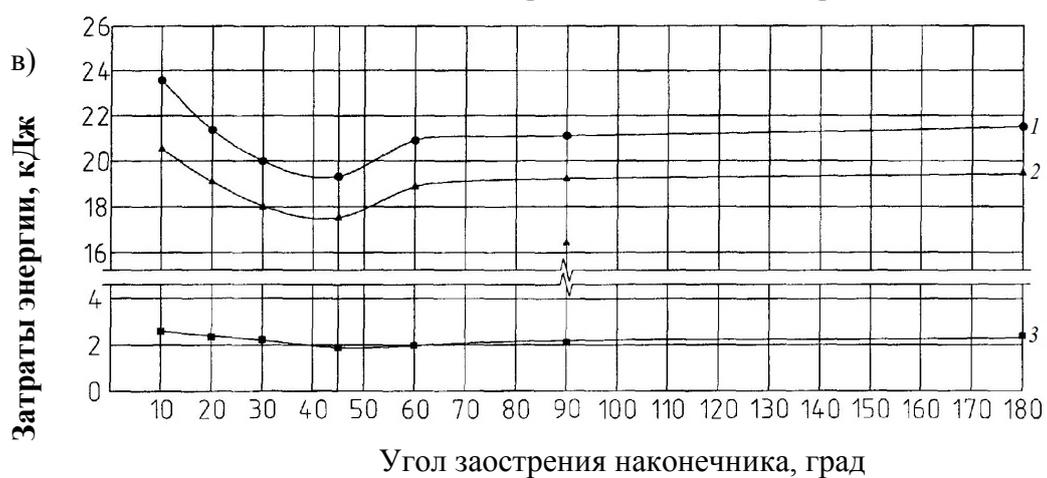
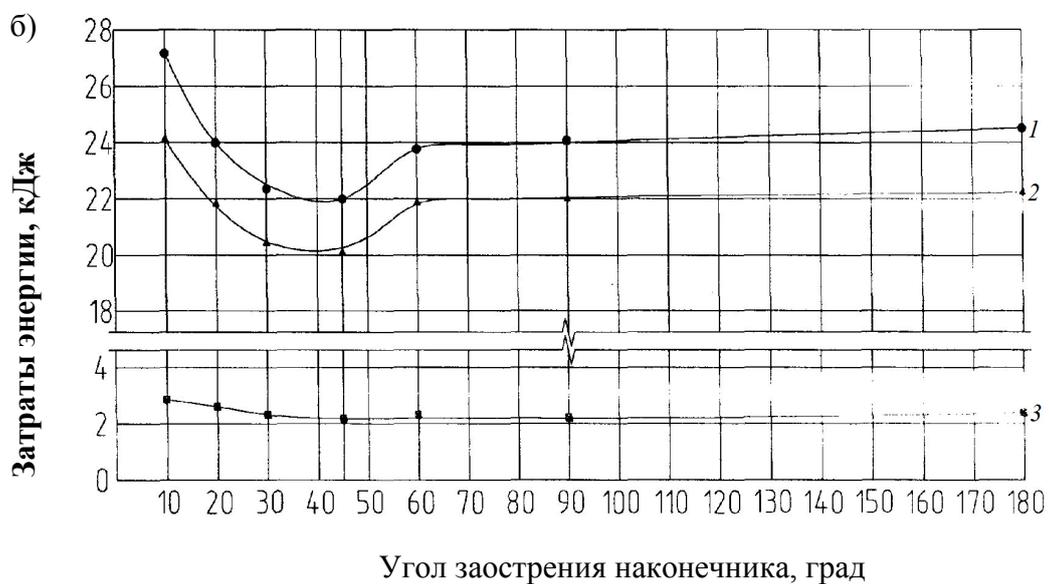
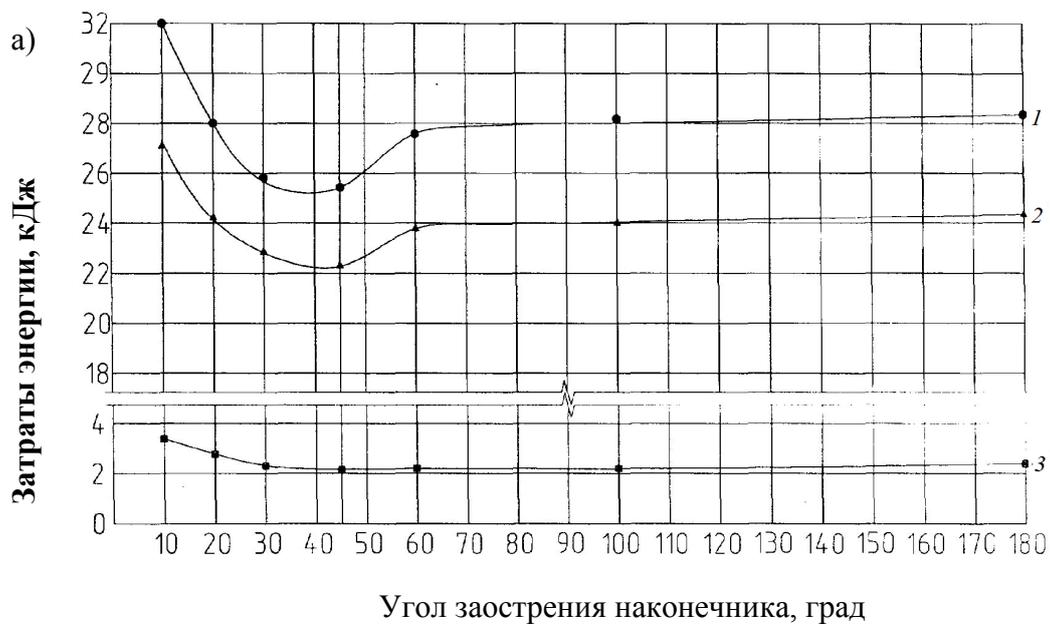
**Примечание:** в таблице приведены средние значения энергозатрат из шести определений.

Анализ результатов опытов показывает, что максимальные затраты энергии необходимы на погружение моделей свай с углами заострения наконечника менее  $30^{\circ}$ . Энергоемкость забивки свай с углом заострения наконечника  $10^{\circ}$  на  $15...20\%$  выше в песчаных грунтах, на  $13...19\%$  – глинистых грунтах и  $15...19\%$  – торфяном грунте энергоемкости погружения моделей свай с углом заострения наконечника  $30^{\circ}$  и  $45^{\circ}$ .

С увеличением угла сбега граней наконечника от  $50^{\circ}$  до  $60^{\circ}$  затраты энергии на забивку моделей резко возрастают. Однако, абсолютные значения энергозатрат при углах заострения наконечника  $60^{\circ}$  ниже, чем при  $10^{\circ}$ . Дальнейший рост энергоемкости погружения моделей свай наблюдается с увеличением угла заострения наконечника до  $180^{\circ}$ . Разница в энергозатратах на погружение свай с углами заострения наконечника  $45^{\circ}$  и  $60^{\circ}$  составляет  $5...8\%$ ,  $4...7\%$ ,  $0...0,8\%$ , а при углах заострения наконечника  $45^{\circ}$  и  $180^{\circ}$  –  $8...10\%$ ,  $5,5...10\%$ ,  $6...7\%$ , соответственно, в песчаных, глинистых и торфяном грунтах. Увеличение энергоемкости забивки моделей свай при углах сбега граней наконечника от  $60^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  незначительно и составляет  $2,5...6\%$ . Энергозатраты на погружение свай с углом заострения наконечника  $30...45^{\circ}$  отличаются не более чем на  $1,2\%$ . Следует также отметить, что при погружении свай грузами разной массы, но одинаковой энергоемкости удара, конечные затраты энергии были примерно такими же, как и при постоянной высоте падения груза.

Рациональными величинами углов сбега граней наконечника призматических свай, с точки зрения обеспечения минимальной энергоемкости их погружения, являются  $30...45\%$ , что согласуется с результатами теоретических представлений [2].

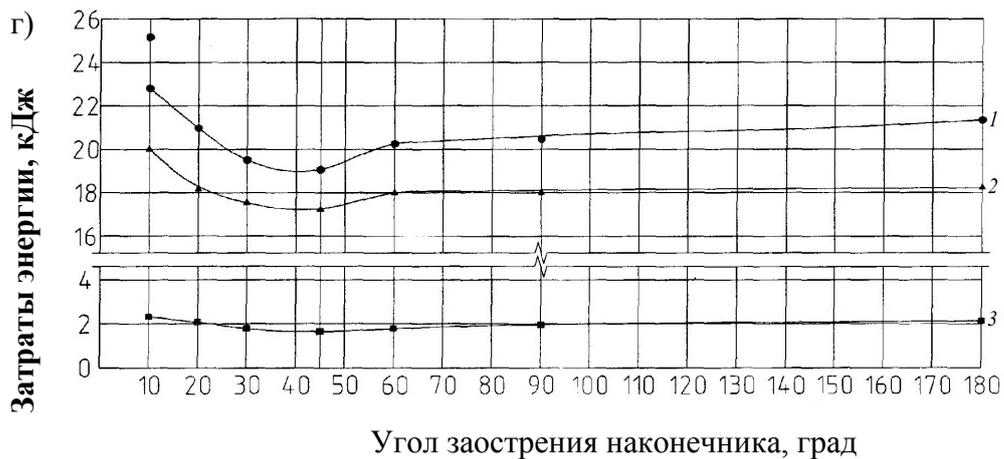
Существенное влияние на величину энергозатрат при погружении моделей свай оказывает величина соотношения между массой груза и массой модели сваи. При уменьшении отношения масс груза и модели сваи  $\mu$ , энергоемкость забивки во всех видах грунтов увеличивается (рис. 2).



а) – при соотношении масс модели сваи и груза 1:0,5; б) – при соотношении масс модели сваи и груза 1:1; в) – при соотношении масс модели сваи и груза 2:1.

1 – на площадке №1; 2 – на площадке №2; 3 – на площадке №3.

Рисунок 1 – Зависимость энергозатрат на погружение моделей свай от угла заострения наконечника (начало):



г) – при соотношении масс модели сваи и груза 3:1

д) – при соотношении масс модели сваи и груза 5:1.

1 – на площадке №1; 2 – на площадке №2; 3 – на площадке №3.

Рисунок 1 – Зависимость энергозатрат на погружение моделей свай от угла заострения наконечника (окончание):

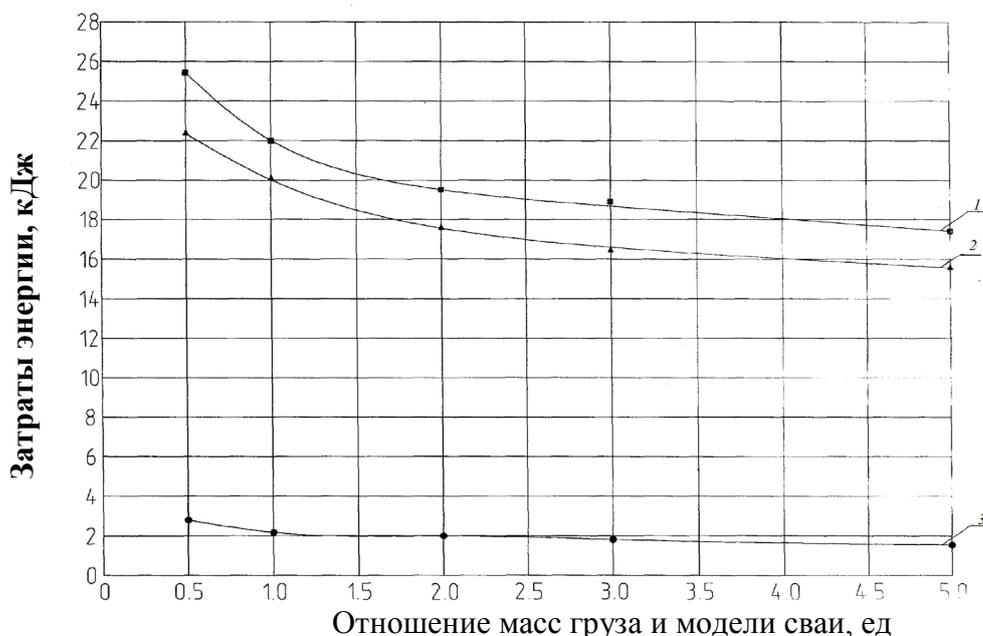
Наиболее интенсивен рост энергозатрат при уменьшении  $\mu$  от 2 до 0,5. Разница в энергозатратах при этом составляет около 22% в зависимости от вида грунта. Причем, в слабых грунтах эта разница менее заметна. Увеличение массы груза приводит к уменьшению затрат энергии.

С увеличением  $\mu$  более 2 снижение энергозатрат незначительно. Энергоемкости погружения свай при соотношении масс груза и моделей 2 и 5 отличаются на 11%, 12% и 25%, соответственно, в песчаных, глинистых и торфяных грунтах. Наиболее существенная разница наблюдается в слабых грунтах.

Несмотря на эффективность применения ударных грузов большей массы, для практического применения могут быть рекомендованы сваебойные молоты с массой ударной части превышающей массу погружаемой сваи не более чем в 1,5...2 раза. При большем соотношении масс сваи и ударной части молота и незначительной экономии энергозатрат, существенно увеличивается стоимость сваебойной установки и затраты на ее эксплуатацию. Значительное увеличение массы ударной части молота может также привести к недопустимым деформациям в области оголовка свай, особенно, железобетонных, и к разрушению ствола сваи. При применении для погружения свай дизель-молотов с большой ударной части по отношению к массе сваи, будет наблюдаться нестабильность работы молота, особенно в начальной стадии забивки, из-за недостаточной высоты отскока ударной части.

Сравнивая затраты энергии на погружение моделей свай с углами сбега наконечника 45° и 180° следует отметить, что в случае залегания на строительных площадках слабых грунтов возможно применение «тупых» свай. Незначительное увеличение энергозатрат на забивку

таких свай (до 6...7%) компенсируется снижением затрат при их изготовлении. В песчаных грунтах разница в энергозатратах может быть весьма существенной, особенно при забивке коротких свай, и достигать 10...20%. На рисунках 6 и 7, в качестве примера, представлены ходограммы погружения моделей свай с углом заострения наконечника  $45^{\circ}$  и «тупых» свай в песчаный, глинистый и торфяной грунты при отношении масс груза и модели сваи 2:1. Конечные результаты энергозатрат при погружении свай отличаются на 10% в песчаных, на 9% – в глинистых и 7% – в торфяном грунтах. Более заметна разница в энергозатратах при погружении в песчаный грунт.



1 – на площадке №1; 2 – на площадке №2; 3 – на площадке №3.

Рисунок 2 – Зависимость затрат энергии на погружении модельной сваи от отношении масс груза и модели сваи при угле заострения наконечника  $45^{\circ}$

Таким образом, величина угла заострения сваи оказывает существенное влияние на энергозатраты при ее погружении. Рациональная величина угла колеблется в пределах от  $30$  до  $45^{\circ}$ . При выборе сваебойных молотов следует учитывать, что наиболее целесообразно превышение массы ударной части молота над массой сваи в 1,5...2 раза.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Конструкции свай с усовершенствованными формами выполнения наконечника и стволов /В.П. Чернюк, П.С. Пойта. Расчет, проектирование и устройство свайных фундаментов. – Брест, облтипография, 1998. – С. 138...140.
2. Коваль В.Е. Лапкин В.Б. Рациональные конструкции свайных фундаментов и свай/ Специальные строительные работы. – М.:ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1986. – Вып. 1. – С.1-6.