

Международная образовательная корпорация

УДК 626.822:823.82/.83+624.154.3:155.39

На правах рукописи



**ШАНШАБАЕВ НУРЖАН АСКАРБЕКОВИЧ**

**Разработка конструкций пирамидально-призматических свай и оценка их несущей способности для устройства отдельно стоящих фундаментов гидротехнических сооружений**

8D07411 – «Гидротехническое строительство и сооружения»

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научный консультант:

Бекбасаров Исабай Исакович,  
доктор технических наук

Зарубежный научный консультант:

Пойта Пётр Степанович,  
доктор технических наук, профессор

Республика Казахстан  
Алматы, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙ В СОСТАВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ .....	15
1.1 Буронабивные и буросекущиеся сваи.....	15
1.2 Забивные сваи и свайные шпунты.....	21
1.3 Сваи с наклонной боковой поверхностью.....	30
1.4 Предпосылки к созданию пирамидально-призматических свай... Выводы по 1 главе.....	33 34
2 ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ СВАЙ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ .....	36
2.1 Лабораторное и полевое оборудование.....	36
2.1.1 Плоский лоток и навесное приспособление.....	36
2.1.2 Пространственный лоток и навесное оборудование.....	38
2.1.3 Установка и стенд для полевых испытаний.....	40
2.2 Характеристика и размеры моделей свай.....	42
2.2.1 Модели свай плоской формы.....	42
2.2.2 Маломасштабные модели свай.....	44
2.2.3 Крупномасштабные модели свай.....	46
2.3 Условия и методика исследований.....	49
2.3.1 Методика исследований послойного деформирования грунта.....	49
2.3.2 Грунтовые условия и методика лабораторных исследований.....	51
2.3.3 Грунтовые условия и методика полевых испытаний .....	56
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПИРАМИДАЛЬНО-ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК .....	59
3.1 Особенности деформируемости грунта при забивке моделей.....	59
3.2 Лабораторные исследования погружаемости моделей свай и их сопротивляемости действию статических нагрузок.....	67
3.2.1 Погружаемость и энергоемкость забивки моделей свай.....	67
3.2.2 Сопротивляемость моделей свай действию вертикальной вдавливающей нагрузки .....	76
3.2.3 Сопротивляемость моделей свай действию горизонтальной нагрузки .....	89
3.2.4 Сопротивляемость моделей свай действию выдергивающей нагрузки .....	94
3.3 Результаты исследования работы ППС в полевых условиях.....	98
Выводы по 3 главе.....	108

4	МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПИРАМИДАЛЬНО-ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ПРИМЕНЕНИЮ .....	111
4.1	Метод расчета несущей способности свай при действии вертикальной вдавливающей нагрузки.....	111
4.2	Метод расчета сопротивляемости свай горизонтальной нагрузке	118
4.3	Метод расчета несущей способности свай при действии выдергивающей нагрузки.....	121
4.4	Рекомендации по устройству свай .....	124
4.5	Технико-экономическая оценка применения свай.....	135
	Выводы по 4 главе.....	138
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	139
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	142
	ПРИЛОЖЕНИЕ А – Параметры и критерии моделирования экспериментов .....	151
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Программа для расчета несущей способности забивных железобетонных пирамидально-призматических свай (ТРР-20.24) на вдавливающую статическую нагрузку .....	154
	ПРИЛОЖЕНИЕ В – Расчетная нагрузка сваи по материалу .....	158
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Акты внедрения .....	160
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Рабочие чертежи пирамидально-призматических свай с напрягаемой и не напрягаемой арматурой и рекомендации по проектированию и устройству ППС .....	166
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Патенты на полезные модели .....	192

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

- НТП РК 03-05.1-2011 Проектирование стальных конструкций. Часть 1-9. Проектирование стальных свай и шпунтов. – Астана: АО «КазНИИСА», ТОО «Астана Строй-Консалтинг» 2015. – 156 с.
- ГОСТ Р. 57365-2016/EN 12063:1999 Стены шпунтовые. Правила производства работ. – М.: Стандартинформ, 2017. – 61 с.
- РД 31.31.33-85 Рекомендации по проектированию глубоководных портовых гидротехнических сооружений с использованием сварных шпунтов. – М., 1985. – 35 с.
- ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
- ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Межгосударственный стандарт (EN 12390-1:2009, NEQ; EN 12390-2:2009, NEQ; EN 12390-3:2009, NEQ; EN 12390-4:2009, NEQ). – М.: Стандартинформ, 2018. – 36 с.
- ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2013. – 44 с.
- ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
- ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014. – 47 с.
- СП РК EN 1997-1:2004/2011 Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила. – Астана: РГП «КазНИИСА», 2016. – 156 с.
- СП РК 5.01-103-2013 Свайные фундаменты. – Астана: АО «КазНИИСА», 2015. – 181 с.
- СТ РК EN 12699-2012 = EN 12699:2000 Выполнение специальных геотехнических работ. Вытесняющие сваи. – Астана: РГП «Казахстанский институт стандартизации сертификации», 2012. – 49 с.
- СП РК 5.01-101-2013 Земляные сооружения, основания и фундаменты. – Астана: АО «КазНИИСА», 2015. – 108 с.
- ГОСТ 23279-2012 Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 11 с.

- ГОСТ 6727-80\* Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 7 с.
- ГОСТ 34028-2016 Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 46 с.
- СП РК 3.04-107-2014 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – Астана: АО «КазНИИСА», 2015. – 103 с.
- СП РК 3.04-103-2014 Основания гидротехнических сооружений. – Астана: АО «КазНИИСА», 2015. – 84 с.
- Серия 1.011.1-10 Сваи забивные железобетонные. Выпуск 1. Часть 1. Сваи цельные сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой. Рабочие чертежи. – М.: Фундаментпроект, 1989. – 151 с.
- Серия 1.011.1-10 Сваи забивные железобетонные. Выпуск 2. Сваи цельные сплошного квадратного сечения с напрягаемой арматурой. Рабочие чертежи. – М.: Фундаментпроект, 1992. – 82 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

- гидротехническое сооружение – это плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ, берегов и дна русел рек; сооружения (дамбы), ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; устройства от размывов на каналах, а также другие сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения вредного воздействия вод и жидких отходов;
- основание сооружения – пласты грунта ниже подошвы фундамента, подготовленные для непосредственного восприятия нагрузки от сооружения;
- грунт – обобщенное наименование всех видов горных пород, являющихся объектом инженерно-строительной деятельности человека;
- деформация основания – деформация, возникающая в результате передачи усилий от сооружения на основание или изменения физического состояния грунта основания в период строительства и эксплуатации сооружения;
- нагрузка – механическое воздействие, мерой которого является сила, характеризующая величину и направление этого воздействия, и вызывающая изменение напряженно-деформированного состояния конструкций сооружений и их оснований;
- свая – полностью или частично погруженный в грунт стержень, служащий для передачи давления от сооружения на нижележащие слои грунта;
- свая забивная – свая заводского изготовления, погружаемая в грунт путем забивки, вибрирования, вдавливания, подмыва или комбинированным методом;
- свайный куст – компактно размещаемая группа свай, объединенная ростверком и передающая нагрузку на основание, как правило, от одиночной колонны или опоры;
- несущая способность сваи – максимальная нагрузка, которую можно допустить на одиночную сваю по грунту;

ростверк	– распределительная балка или плита, объединяющая поперху группы или ряды свай;
фундамент	– опорная конструкция здания или сооружения, воспринимающая нагрузки от вышележащих элементов и передающих их на основание;
сопротивление свай	– способность свай или поперечного сечения свай выдерживать воздействия без механических повреждений, например: прочность грунта на сдвиг, сопротивление изгибу, сопротивление потере устойчивости при продольном изгибе, сопротивление растяжению;
сваи буросекущиеся	модификация буронабивных свай. Используются в качестве ленточных или комбинированных (несущих и ограждающих) конструкций;
отрицательные силы трения	– силы, возникающие на боковой поверхности свай при осадке околосвайного грунта и направленные вертикально вниз;
основание свай	– часть массива грунта, воспринимающая нагрузку, передаваемую сваей, и взаимодействующая со сваей;
расчетная нагрузка, передаваемая на сваю	– нагрузка, равная продольному усилию, возникающему в свае от проектных воздействий на фундамент при наиболее невыгодных их сочетаниях;
насосная станция	– комплекс гидротехнических сооружений и оборудования, обеспечивающий забор воды из источников и транспортировку ее с помощью насосных агрегатов к напорному бассейну или месту потребления;
насосный агрегат	– собранный в единый узел насос, двигатель и устройство для передачи мощности от двигателя к насосу.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие обозначения и сокращения:

ТарРУ им. М.Х. Дулати ЖФ РГП «Казводхоз»	– Таразский региональный университет имени Мухамеда Хайдара Дулати; – предприятие-оператор, осуществляющее деятельность по управлению водными ресурсами; подразделение Комитета по водным ресурсам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан;
ТОО «Проектный институт Казгипровод хоз»	– предприятие, осуществляющее проектно-изыскательскую деятельность по инженерно-гидрогеологическим работам, в т.ч. технологическому проектированию гидротехнических сооружений;
ПРУП «Геосервис»	– центр инженерных изысканий и геомониторинга Республики Беларусь, осуществляющий комплексные изыскания по инженерно-геодезическим, инженерно-геологическим, геофизическим и гидрогеологическим исследованиям;
ЮКФ АО «КазНИИСА»	– южно-казахстанский филиал акционерного общества «Казахский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры»;
БрГТУ	– Брестский государственный технический университет;
БНТУ	– Белорусский национальный технический университет;
КОКСНВО МНиВО РК	– Комитет по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан;
Scopus, Clarivate Analytics	– международные реферативные базы данных научных публикаций;
ГРЭС	– государственная районная электростанция;
ГЭС	– гидроэлектростанция;
ОАО	– открытое акционерное общество;
АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	– Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева». Научный центр по проблемам гидротехнического и энергетического строительства, а также эксплуатации гидротехнических объектов;
АО «Ленгидропрое кт»	– Акционерное общество «Ленгидропроект» проектно-изыскательский институт, имеет организационно-правовую форму акционерного общества. Основной профиль

	деятельности - проектирование, контроль строительства и обследование гидротехнических сооружений;
ГТС	– гидротехническое сооружение;
МКЭ	– метод конечных элементов;
ПВХ	– поливинилхлорид;
США	– Соединённые Штаты Америки;
ИЧ	– индикатор часового типа;
ДГМСИ	– Джамбулский гидромелиоративно-строительный институт;
ПСГ МГ-4	– пенетрометр статического действия предназначен для ускоренного контроля качества уплотнения грунта, а также прочностных характеристик грунтов земляного полотна – угла внутреннего трения, удельного сцепления, модуля упругости;
ГОСТ	– государственный стандарт;
СП РК	– свод правил Республики Казахстан;
СТ РК	– национальный стандарт Республики Казахстан;
Java	– язык компьютерного программирования;
ППС	– пирамидально-призматическая свая;
ППС-1	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 30×30/20×20 см с пирамидальным участком длиной 1,0 м;
ППС-2	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 30×30/20×20 см с пирамидальным участком длиной 2,0 м;
ППС-3	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 30×30/20×20 см с пирамидальным участком длиной 3,0 м;
ППС-4	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 30×30/20×20 см с пирамидальным участком длиной 4,0 м;
ППС-5	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 40×40/20×20 см и пирамидальным участком длиной 1,0 м;
ППС-6	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 40×40/20×20 см и пирамидальным участком длиной 2,0 м;
ППС-7	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 50×50/20×20 см и пирамидальным участком длиной 1,0 м;
ППС-8	– пирамидально-призматическая свая с размерами сечения 50×50/20×20 см и пирамидальным участком длиной 2,0 м;
ПрС-1	– призматическая свая с размерами сечения 20×20 см;
ПрС-2	– призматическая свая с размерами сечения 30×30 см;
ПС-1	– пирамидальная свая с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см.

## ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В настоящей диссертации применяются следующие единицы измерений в соответствии с международной системой единиц (СИ):

м – метр;

т – тонна;

% – процент;

мм – миллиметр;

см – сантиметр;

кг/см<sup>3</sup> – килограмм на кубический сантиметр;

МПа – мегапаскаль;

° – градус;

г – грамм;

кг/м<sup>3</sup> – килограмм на кубический метр;

г/см<sup>3</sup> – грамм на кубический сантиметр;

Дж – джоуль;

Дж/см<sup>3</sup> – джоуль на кубический сантиметр;

кН – килоньютон;

кПа – килопаскаль;

Н – ньютон;

Н/см<sup>3</sup> – ньютон на кубический сантиметр;

м<sup>2</sup> – квадратный метр;

м<sup>3</sup>/с – кубический метр в секунду;

см<sup>3</sup> – кубический сантиметр.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** В большинстве случаев гидротехнические сооружения (акведуки, селепроводы, дюкеры, трубопроводы, подпорные стенки, насосные станции и др.) возводятся и эксплуатируются в сложных инженерно-геологических, гидрогеологических и рельефных условиях (на структурно неустойчивых грунтах, на площадках с высоким уровнем грунтовых вод, на склонах, оврагах, руслах рек, на участках с проявлением оползневых процессов, подтоплений и др.). Поэтому устойчивость и долговечность этих сооружений, во многом определяется прочностью и надежностью их оснований и фундаментов. Традиционно устройство гидротехнических сооружений в рассматриваемых условиях сопровождается повышением трудовых, материальных и финансовых затрат, существенная доля которых приходится на устройство их оснований и фундаментов. Следовательно, в гидротехническом строительстве целесообразно использовать такие фундаментные конструкции, которые являются эффективными как по несущей способности, так и по стоимости возведения. К подобным геотехническим конструкциям, как правило, относятся свайные фундаменты из забивных свай. Как правило, в ряде ситуаций это единственно рациональное решение для сооружений, возводимых в грунтах с недостаточной сопротивляемостью нагрузкам.

Свайные фундаменты являются одним из разновидностей фундаментов зданий и сооружений гидротехнического направления. В практике гидротехнического строительства в основном используются свайные фундаменты из забивных свай разной продольной формы. Из них наиболее часто применяются призматические и пирамидальные сваи. Пирамидальные сваи, в зависимости от угла наклона их боковых граней в 1,35-2,5 раза лучше призматических свай по несущей способности. Но, энергетические затраты сваебойных молотов на погружение пирамидальных свай в 2-3 раза выше, что сопровождается еще и увеличением продолжительности их забивки, и износом оборудования. Следовательно, призматические сваи, уступая пирамидальным сваям по несущей способности, обладают существенными преимуществами перед ними по энергоемкости и продолжительности забивки. Для использования существующих достоинств, как призматической, так и пирамидальной сваи, целесообразным является создание новой разновидности сваи, часть ствола которой обладает призматической, а часть – пирамидальной формой. Причем, верхняя часть ствола сваи, должна быть пирамидальной, а нижняя – призматической. Такое сочетание геометрических форм в пределах ствола сваи обеспечит эффективное уплотнение слабых грунтов, традиционно залегающие с поверхности площадки, и которые, как правило, при забивке призматических свай, разрыхляются.

В настоящее время в свайной геотехнике и в гидротехническом строительстве подобные фундаментные конструкции отсутствуют, что

свидетельствует об актуальности их создания и изучения особенностей их забивки и работы при действии статических нагрузок.

**Целью исследований** является разработка конструкций пирамидально-призматических свай и оценка их несущей способности при действии статических нагрузок.

Исходя из поставленной цели, **задачами исследований**, являются:

- изучение особенностей послойного деформирования грунта при забивке пирамидально-призматических свай;
- исследование особенностей работы пирамидально-призматических свай при действии на них вдавливающей, выдергивающей и горизонтальной статических нагрузок;
- оценка влияния вида грунта и размеров пирамидального участка свай на их энергоемкость забивки и несущую способность;
- разработка рекомендаций и предложений по применению пирамидально-призматических свай под фундаменты зданий и сооружений гидротехнического назначения;
- разработка номенклатуры и рабочих чертежей свай для их заводского изготовления.

**Объектом исследований** являются забивные железобетонные пирамидально-призматические сваи.

**Предметом исследований** служат деформируемость грунта, погружаемость и энергоемкость забивки пирамидально-призматических свай в грунты, а также их сопротивляемость действию статических нагрузок.

**Научная новизна исследований** состоит в следующем:

- разработана конструкция пирамидально-призматической сваи (свая защищена патентом РК на полезную модель №4521 от 05.12.18 г.);
- выявлены закономерности изменения формы и размеров деформированной зоны грунта при погружении пирамидально-призматических свай;
- оценена погружаемость, энергоемкость и несущая способность опытных свай по сравнению с призматическими и пирамидальной сваями;
- выявлено влияние длины пирамидального участка сваи, а также размеров ее верхнего сечения на ее погружаемость, энергоемкость забивки и несущую способность;
- разработаны методы определения несущей способности пирамидально-призматических свай при действии, вдавливающей и выдергивающей нагрузок, а также предложения по расчету сопротивления свай горизонтальной нагрузке;
- составлена номенклатура и рабочие чертежи пирамидально-призматических свай и рекомендации по их применению при устройстве фундаментов зданий и сооружений гидротехнического назначения.

**Практическая значимость работы.** Результаты экспериментальных исследований, а также разработанные методы и рекомендации включены в Р-1-24 «Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из пирамидально-призматических свай». Применение Рекомендаций позволит

рационально проектировать фундаменты из пирамидально-призматических свай под фундаменты гидротехнических объектов, а, следовательно, и использовать их в практике гидротехнического строительства. Повышенная несущая способность пирамидально-призматических свай по сравнению с призматическими сваями позволит снизить расход арматуры и бетона в гидротехническом строительстве, за счет сокращения количества свай или их длины в составе фундаментов зданий и сооружений гидротехнического назначения;

Разработана и утверждена следующая исполнительная техническая документация по изготовлению опытных свай в производственных условиях:

- Альбом 1. Рабочие чертежи. «Свай забивные железобетонные пирамидально-призматические». Свай цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой»;

- Альбом 2 Рабочие чертежи. «Свай забивные железобетонные пирамидально-призматические». Свай цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой».

Применение перечисленных документов позволит наладить производство и выпуск пирамидально-призматических свай на отечественных предприятиях с целью использования их при возведении гидротехнических объектов.

**Методика исследований.** В исследованиях использовались: принципы и условия моделирования свай, процесса их забивки и работы при действии нагрузок; методы проведения лабораторных и полевых экспериментов; приемы выполнения расчетов по определению несущей способности свай; способы компьютерной обработки и графического оформления результатов экспериментальных исследований; правила разработки номенклатуры и рабочих чертежей, а также программного обеспечения «ТРР-20.24»; методика составления программы расчета несущей способности свай; сметный расчет на основе программного комплекса АВС.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

- результаты лабораторных исследований по установлению закономерностей изменения формы и размеров деформированной зоны грунта при забивке моделей свай;

- результаты лабораторных и полевых исследований по оценке погружаемости и энергоемкости забивки свай;

- результаты лабораторных и полевых исследований по оценке сопротивляемости свай при действии статических вдавливающих, выдергивающих и горизонтальных нагрузок;

- методы определения несущей способности свай при вдавливающих и выдергивающих нагрузках, и предложение по расчету сил сопротивления свай при горизонтальном нагружении;

- рабочие чертежи свай и рекомендации по их применению в гидротехническом строительстве.

### **Связь диссертационной работы с научно-грантовыми проектами:**

- данная работа выполнена в рамках реализации гранта по программно-целевому финансированию BR24992867 – «Разработка ресурсосберегающих технологии для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра» Комитета науки МНВО РК.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

- международной конференции «Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы территорий» (Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, 2021 г.);

- XIII международной научной конференции молодых ученых «Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане» (ТарПУ им. М.Х. Дулати, г. Тараз, 2019 г.);

- на производственных собраниях ЖФ РГП «Казводхоз» (г. Тараз, 2019 г.), ТОО «Проектный институт Казгипроводхоз» (г. Алматы, 2019 г.), филиала БАК им. Д.А. Кунаева (г. Талгар, 2019 г.), ПРУП «Геосервис» (г. Минск, 2021 г.) и ЮКФ АО «КазНИИСА» (г. Тараз, 2019-2020 г.г.);

- на кафедральных семинарах ТарПУ им. М.Х. Дулати (ежегодно), БрГТУ (2018-2021 г.г.) и БНТУ (2021 г.).

**Публикации.** По материалам исследований опубликованы:

- 6 статей в научных журналах, включенных в перечень изданий, рекомендуемых КОКСНВО МНиВО РК;

- 2 статьи – в республиканских научных журналах;

- 4 статьи – в сборниках материалов конференций;

- 4 статьи – в зарубежных и отечественных журналах («Periodica Polytechnica Civil Engineering», «Acta Montanistica Slovaca» и «News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences») входящих в базу данных Scopus и Clarivate Analytics.

Получено 2 патента на полезную модель РК – №4521 и №4386.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованных источников из 126 наименований (в том числе 88 зарубежных), и приложений. Работа изложена на 193 страницах машинописного текста, содержит 64 рисунков, 48 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, д.т.н., профессору Бекбасарову И.И., за постоянную поддержку и всестороннюю помощь при подготовке диссертационной работы.

Автор выражает особую благодарность зарубежным консультантам, д.т.н., профессору Никитенко М.И. и д.т.н., профессору Пойта П.С., за их ценные замечания по содержанию диссертационной работы.

Отдельные слова признательности за помощь в выполнении экспериментальных исследований выражается PhD Атену Е.И.

# **1 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙ В СОСТАВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Для строительства ряда гидротехнических сооружений наиболее часто применяются свайные конструкции. Во многих случаях это единственно возможное рациональное решение при их возведении в неблагоприятных инженерно-геологических, природно-климатических и стесненных условиях [1-3].

В гидротехническом строительстве в основном используются буронабивные, буроसेкущие, забивные, шпунтовые и анкерные сваи [4].

## **1.1 Буронабивные и буросякущиеся сваи**

Особенности устройства, проектирования и расчета буронабивных свай для возведения гидротехнических сооружений и результаты их исследований отражены в работах Круглицкого Н.Н., Мильковского С.И., Скворцова В.Ф., Шейнблума В.М., Федорова Б.С., Саинова М.П., Смородинова М.И., Баранова А.Е., Придановой О.В., Вдовенко А.В., Митюниной Г.П., Унайбаева Б.Б. и др.

Наиболее распространенным вариантом применения буронабивных свай в гидротехническом строительстве является их использование в качестве противофильтрационных завес плотин. Впервые подобная завеса устроена в 1948 году при возведении плотины Хэйлис в США (штат Калифорния) [5,6]. Аналогичный метод устройства противофильтрационных завес плотин был разработан и в бывшем СССР трестом «Гидроспецстрой». Данный метод реализован советскими специалистами в 1959 году при устройстве основания плотины Шерубай-Нурина (Чурубай-Нурина) водохранилища Карагандинской ГРЭС-II. Противофильтрационные завесы из буронабивных свай успешно возведены и в основании плотин Ереванской ГЭС (Армения) и Сионской ГЭС (Грузия) [7].

Свайные конструкции этих первых противофильтрационных завес устроены путем предварительного бурения скважин диаметром 0,6-1,0 м и последующего их заполнения бетоном. При этом для формирования сплошной свайной стенки работы выполнялись в две очереди [8,9]. Первая очередь работ включала в себя подготовку скважин и их бетонирование. При этом расстояние между скважинами первой очереди не должно было превышать их диаметра. Вторая очередь работ состояла в бурении скважин между готовыми сваями и в их бетонировании. В результате такого чередования работ под сооружением образовалась сплошная стена из буронабивных свай, необходимой длины и требуемой глубины. Так длина свайной стены-завесы Шерубай-Нурина плотины составила 950 м, а ее глубина - 23 м. Завеса под данной плотиной устроена в песчано-галечниковых грунтах толщиной 7- 40 м. На Ереванской и Сионской ГЭС глубина и длина противофильтрационных завес имели меньшие размеры.

Буронабивные сваи нередко используются и в качестве фундаментных конструкций ряда гидротехнических сооружений. Так, фундаменты из двух

рядов буронабивных свай устроены под опоры водовода Зарамагской ГЭС. Длина водовода составляет 649 м, а внутренний диаметр труб – 7,5 м. Каждая секция водовода длиной 40 м обладала весом 150 т. Применение фундаментов из буронабивных свай способствовало снижению неравномерных осадок сооружения [10].

Буронабивные сваи устроены и в основании фундаментной плиты оголовка донного водосброса-водовыпуска Юмагузинского гидроузла [11]. На данном объекте использовались сваи диаметром 0,5 м и длиной от 20 до 44 м, что позволило увеличить несущую способность фундамента и исключить появление неравномерных осадок основания.

Барановым А.Е. [12] при возведении Юмагузинского гидроузла наряду с разработанными противокарстовыми мероприятиями для обеспечения устойчивости и прочности башенного водоприемника предложено устройство в его основании резервных буронабивных железобетонных свай. Данное проектное предложение, реализованное на данном объекте, было направлено на повышение уровня безопасной эксплуатации сооружения в условиях карстовых проявлений. Результатами соответствующего мониторинга подтверждена эффективность принятого решения.

Традиционно буронабивные сваи, используемые при возведении зданий и сооружений изготавливаются бетонными или железобетонными. В работе [13] Придановой О.В. выполнена экспериментально-теоретическая оценка возможности использования в составе гидротехнических сооружений буронабивных свай из золошлаковых смесей. Применение золошлаковых смесей в качестве материала буронабивных свай придает им неоспоримые преимущества по сравнению с бетонными сваями. Так за счет роста прочности золошлакового материала в течении 15-20 лет повышается прочность свайных конструкций на изгиб (на 30-35%) и на сжатие (на 40-50%). Это, в свою очередь, способствует повышению несущей способности свай. Немаловажным является и то, что при изготовлении указанных свай не требуется применение таких традиционных строительных материалов, как песок и щебень. Буронабивные сваи из золошлаковых смесей рекомендованы к применению для снижения активного давления грунта обратной засыпки на причальные набережные стенки. Исследованиями установлено, что устройство в теле обратной грунтовой засыпки свайных рядов (в зоне призмы обращения) разгружает причальную шпунтовую стенку, уменьшая усилия в ее анкерных тягах на 14%, прогибы – на 27% и перемещения верха стенки – на 17 мм. Таким образом применение золошлаковых буронабивных свай снижает напряженно-деформированное состояние причальных стенок набережных и способствует улучшению экологической безопасности территорий с золошлаковыми отходами.

В работе [14] специалистами для устройства противофильтрационного элемента каменно-набросной перемычки рекомендуется использовать диафрагму не из бетонных буронабивных свай, а из буронабивных свай из глиноцементобетона. Такое решение обосновано результатами исследований, выполненных по изучению напряженно-деформированного состояния бетонной диафрагмы при действии сейсмических сил. Установлено, что воздействие горизонтальной сейсмической нагрузки увеличивает деформации изгиба

бетонной диафрагмы и вызывает появление в ней растягивающих напряжений, которые могут превышать прочность бетона свай на растяжение. При этом, наиболее опасным (уязвимым) местом диафрагмы при действии сейсмической нагрузки является зона сопряжения свай со скальным основанием. Поэтому авторами предлагается повысить податливость диафрагмы путем ее сопряжения со скальным основанием с помощью специальной «подушки» из глиноцементобетона.

В практике строительства и исследований гидротехнических сооружений имеет место применение буронабивных свай для перекрытия русел рек, обеспечения сохранности и устойчивости откосов, берегов, склонов и др. Так, буронабивные сваи диаметром 25 см устроены для перекрытия русла реки Хуанхэ (Китай). Свайный ряд устроен на всю длину русла реки длиной 28 м. Нижние концы свай заглублены на 2,0 м в скальное основание. Для повышения устойчивости сваи усилены металлическими подкосами и заанкерованы в береговую часть реки [15].

Вдовенко А.В. и Митюниной Г.П. в работе [16] представлен вариант устройства противооползневой конструкции из буронабивных свай. Особенностью такой конструкции является то, что буронабивные сваи соединены между собой двумя ярусами наклонных плит, выполняющих разгружающие функции. Для обеспечения устойчивости сваи крепятся стальными тягами, заделанными в грунтовые анкера в нижней части откоса. В верхней части откоса сваи закрепляются клиновидными анкерами. Разгружающие плиты нанизываются на сваи через специальные отверстия в них и крепятся к ним с помощью закладных деталей. В отличие от забивных свайных конструкций буронабивные сваи в составе противооползневых и берегоукрепительных конструкций могут устраиваться в стесненных условиях, с исключением производственного шума и ударно-вибрационных воздействий на грунтовое основание и близрасположенные объекты [17].

В работе [18] описаны результаты исследований по устройству буронабивных свай в основании подпорной стенки, возведенной на горе Коктобе (Алматы). Сваи длиной 4 м и диаметром 0,4 м устроены с защитной силикатной оболочкой в засоленных грунтах. Сравнительными экспериментами выявлено, что несущая способность свай с защитной силикатной оболочкой в 2,5-3,2 раза превышает несущую способность обычной буронабивной бетонной сваи. Установлено также, что процесс увлажнения засоленных грунтов вызывает снижение несущей способности буронабивных свай при действии статической вдавливающей нагрузки. Причем для свай с защитной силикатной оболочкой доля снижения несущей способности составляет 8,9%, а для обычной сваи – 27,7%. Буронабивные сваи с защитной силикатной оболочкой, обладающие более высокой несущей способностью рекомендуются к применению в засоленных илисто-глинистых грунтах.

Наряду с буронабивными сваями, в гидротехническом строительстве, для возведения противодиффузионных завес и элементов успешно применяются и бурсекущие сваи, которые можно отнести к их разновидностям. Бурсекущие сваи, как и буронабивные сваи, устраиваются в две технологические очереди, но отличаются размерами и выполняются с частичным перекрытием поперечных

сечений соседних свай. Армирование таких свай принимается объемным или жестким (из профильных элементов). В качестве материала свай используется как бетон, так и иные материалы.

В работах [19, 20] изложен первый опыт использования буросекущих свай в России. Так в 2016 году для устройства противofильтрационного элемента в виде диафрагмы каменно-земляной плотины Нижне-Бурейской ГЭС применены буросекущие сваи. При устройстве диафрагмы пробурено 417 основных и 47 дополнительных скважин, которые были заполнены глиноцементобетоном. Высота буросекущих свай из указанного фofильтрационно-устойчивого материала, в пределах плотины, составляла 37 м. Толщина диафрагмы составила 1,2 м. Нижние концы свай заглублялись в скальные грунты. Свайная диафрагма устроена взамен ядра плотины из суглинистого грунта.

Эффективность использования глиноцементобетона в качестве материала свайной противofильтрационной диафрагмы подтверждаются исследованиями Саинова М.П. и Кудрявцева Г.М. [21]. Авторами установлено, что вид и свойства материала диафрагмы оказывают существенное влияние на ее сопротивляемость изгибу при действии гидростатического давления. Выявлено, что в буросекущей свайной диафрагме из глиноцементобетона растягивающие напряжения при ее изгибе не проявляются (при модуле деформации глиноцементобетона менее 1000 МПа). Это обеспечивает надежность и устойчивость работы противofильтрационных элементов плотин.

Как известно, применение буронабивных свай в строительстве, в том числе и в гидротехническом строительстве имеет ограничения, которые, в первую очередь, связаны с глубиной их устройства. Так глубина (длина) буронабивных свай традиционно не превышает 30-40 м. При большей глубине устройства сложно обеспечить целостность ствола свай. Поэтому использование буронабивных свай для устройства противofильтрационных элементов высоких плотин представляет собой большой риск, что часто вызывает отказ от их применения. Учитывая данное обстоятельство, специалистами ОАО «Гидроспецпроект» предложено при возведении Гоцатлинской ГЭС (Россия) высотой 69 м устроить многоярусную противofильтрационную диафрагму [22]. По замыслу специалистов такая диафрагма должна состоять из нескольких свайных ярусов (рядов) по высоте. При этом нижний ярус буронабивных свай заглубляется в грунтовое основание, а каждый последующий свайный ярус устраивается с поверхности монолитной плиты, которая закладывается поверху нижележащего свайного яруса. Высота каждого яруса должна быть не более 30 м. Как буронабивные сваи, так и плиты между ними предложено устраивать из глиноцементобетона. Исследованиями [22, с.1-23; 23-25], в том числе методом численного моделирования установлено, что использование многоярусных и одноярусных противofильтрационных элементов плотин из буронабивных свай, изготовляемых с применением грунтоцементобетона повышает их надежность. Причем, чем ближе материал буронабивных свай к грунту плотины по деформируемости, тем выше работоспособность противofильтрационных диафрагм.

Зависимость деформируемости, а следовательно работоспособности свайных противofильтрационных элементов от свойств глиноцементобетона

обусловили проведение Королевым В.М., Смирновым О.Е., Аргалом Э.С. и Радзинским А.В. [26] комплекса испытаний образцов различного состава глиноцементобетона, именуемого ими композитным материалов. Исследования выполнены с целью подбора оптимального состава композитного материала буронабивных свай по его физико-механическим характеристикам, выставленным в проекте Гоцатлинской плотины. Экспериментально выявлено, что рациональным для буронабивных свай является композитный материал, в состав которого входят сульфатостойкий портландцемент марки 400, щебень с фракцией 5-10 или 5-20 мм, мытый песок с модулем крупности 3,32, бентонитовый глинопорошок марки ПБН, порошковый лингосульфат марки ЛСТП и суперпластификатор марки С-3. При этом расход цемента должен составлять 180 кг/м<sup>3</sup>. Для проверки результатов исследований, а также для отработки технологии изготовления буронабивных свай специалистами выполнены также опытно-производственные работы. Результаты работ показали хорошую заполняемость скважин оптимальным составом композитного материала, а также его достаточную плотность и прочность.

Результаты исследований по изучению состава и свойств глиноцементобетона для свайных и траншейных противofильтрационных элементов плотин представлены и в работе [27]. Автором на основе анализа результатов экспериментов и данных ряда зарубежных специалистов указывается, что количество цемента, используемого для получения грунтоцементобетона свай, должно быть не меньше 100 кг/м<sup>3</sup> и не больше 200 кг/м<sup>3</sup>, а количество бентонитовой глины – не менее 15-20 кг/м<sup>3</sup> и не более 100 кг/м<sup>3</sup>. Выявлено, что вместо бентонитовой глины можно использовать обыкновенную глину, или ее смесь с бентонитовой глиной. Отмечается также, что при более прочных составах грунтоцементобетона в сваях имеет место увеличение вертикальных эксплуатационных напряжений, почти в 5-7 раза. Это вызвано более высоким модулем деформации (в 100 МПа и выше) прочных составов материала свай. Результаты исследований показывают, что при больших значениях коэффициента фильтрации грунтов основания целесообразно использование буросекущих свай.

Буросекущие сваи, кроме устройства противofильтрационных элементов плотин используются также и для возведения защитных сооружений гидротехнических объектов [28]. Так при строительстве Зарамагской ГЭС-1 в Республике Северная Осетия буросекущие сваи применены для устройства ограждающей стены. Данная свайная стена предназначена для защиты котлована здания ГЭС от заполнения водой в период выполнения строительно-монтажных работ. Стена возведена как цельная конструкция из 580 бетонных свай длиной от 9 до 40 м (рисунок 1.1). При строительстве указанной ГЭС буросекущие сваи использованы и в качестве фундаментных конструкций подпорной стенки. Под подпорную стенку устроено более 500 свай длиной 24 м. Подпорная стенка возведена как защитное сооружение здания ГЭС от камнепада.



Рисунок 1.1 – Устройство буросекущихся свай для защиты котлована здания Зарамагской ГЭС-1

Буросекущие сваи, используемые как основные несущие конструкции противофильтрационных элементов плотин, в процессе эксплуатации могут иметь повреждения в виде трещин, отколов и т.п. Причинами этому служат изменение температурного режима плотин, воздействие сейсмических нагрузок и ряда других природных и техногенных факторов. В работах [29,30] Орищуком Р.Н., Котловым О.Н. и Гуняшовой Ф.И. представлены результаты исследований по самозалечиванию буросекущихся свай противофильтрационных диафрагм грунтовых плотин. Предлагается заполнять наклонные и горизонтальные трещины в стволе свай путем устройства вдоль их боковой поверхности (после верхового переходного слоя) специального защитного (залечивающего) слоя из песка. При раскрытии трещины в свае песок из залечивающего слоя попадает (замывается) в трещину и перемещаясь внутри нее заполняет ее полость. С обратной стороны трещина закрывается материалом нижней переходной зоны плотины. В результате проведенных полевых опытов зафиксированы факты замыва (заполнения) отверстий в теле свай диафрагмы на глубину до 33-44 см.

Буросекущие сваи в гидротехническом строительстве используются не только при возведении новых объектов, но и при выполнении работ по ликвидации аварийных ситуаций эксплуатируемых сооружений. В работе [31] рассмотрены особенности устройства противофильтрационной диафрагмы из буросекущихся свай на аварийном участке русловой плотины Курейской ГЭС. На данном участке ядро плотины находилось в предельном состоянии по трещинообразованию, что и послужило причиной выполнения ремонтных работ. Работы по устройству свай из глинобетона выполнены с гребня плотины. Сваи длиной 35 м пересекали ядро плотины, прорезали мелкозернистые пески, залегающие в основании плотины и заглублялись на 3-5 м в плотные суглинистые и супесчаные грунты. Скважины под сваи устраивались с применением обсадных труб. Длина возведенной диафрагмы составила 140 м.

Противофильтрационная диафрагма из буросекущих свай выполнена без уменьшения напора воды, действующего на плотину.

В целом на основе результатов исследований российских и других зарубежных ученых специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» совместно со специалистами АО «Ленгидропроект» разработаны рекомендации по проектированию, расчёту и возведению противофильтрационных элементов из глиноцементобетонных буросекущихся свай [32]. Издание этих рекомендаций позволило систематизировать и регламентировать вопросы, связанные с применением буросекущих свай в составе грунтовых плотин.

## **1.2 Забивные сваи и свайные шпунты**

Вопросами исследования и применения забивных свай и фундаментов из них под гидротехнические сооружения в разные годы занимались многие ученые, среди которых следует отметить Ковалева В.А., Абдул Крима С.Р., Каганова Г.М., Кубенова Р.Т., Кадирова О., Глаговского В.Б., Бахтина Б.М., Бекбасарова И.И., Усманова Р.А., Салимова С.В., Коровкина В.С., Рахаринусиа А.П., Костромина Ф.С., Соснину С.А. и Шеховцева В.А. Ниже представлен краткий обзор результатов их исследований.

В работе [33] Ковалевым В.А. рассматриваются вопросы повышения надежности, а также уменьшения материальных затрат и сокращения продолжительности строительства лотковых каналов и сетевых ГТС, возводимых на просадочных лессовых грунтах, за счет применения свайных фундаментов из свай различной продольной формы. Объектом исследований служили призматические, клиновидные и конусные железобетонные сваи длиной 3-5 м. Опытные сваи испытывались на действие вертикальной вдавливающей и горизонтальной нагрузок. Всего автором проведено 27 опытов с двухкратной повторностью, что свидетельствует о достаточной достоверности полученных результатов. Экспериментальные исследования, показали, что несущая способность свай в просадочных грунтах в значительной мере зависит от уплотнения грунта вокруг сваи в процессе ее забивки. Так, при забивке призматической сваи ширина зоны уплотнения грунта в верхней части достигала 10-15 см, а в нижней части - 35-40 см. Наибольшая ширина зоны уплотнения грунта, равная 150 см, имела место под острием сваи. Размеры уплотненных зон грунта вокруг боковой поверхности клиновидных и конусных свай оказались больше, чем у призматических свай. На основе результатов статических испытаний свай установлено, что сопротивление по боковой поверхности клиновидных и конусных свай до 50% больше, чем аналогичное сопротивление призматических свай. С учетом выявленных особенностей поведения свай разных форм разработана и предложена методика расчета их несущей способности в просадочных грунтах.

Кроме экспериментальной оценки несущей способности свай разных форм Ковалевым В.А. проведены систематические долговременные наблюдения (в течении 15 лет) за деформациями свайных фундаментов водопроводящих лотковых каналов. Установлено, что деформации (осадки) лотковых конструкций на традиционных стойках-опорах составляют более 20 см, а на

свайных фундаментах - менее 3-4 см. Автором предложена методика расчета деформаций лотковых каналов и сетевых ГТС на свайных фундаментах. Методика позволяет учитывать совместную работу свай с окружающим грунтом. Исследователем установлена надежность свайных фундаментов в просадочных грунтах, а также возможность экономии строительных материалов и уменьшения сроков возведения сооружений за счет применения свайных фундаментов.

Абдул Кримом С.Р. [34] выполнены исследования по изучению особенностей поведения свай и свайных фундаментов гидротехнических сооружений в просадочных грунтах с учетом отрицательного трения, возникающего вдоль боковой поверхности свай при их осадке за счет замачивания грунта водой. Автором на основе теоретических исследований разработана обобщенная методика расчета несущей способности и осадок свай с учетом сил отрицательного трения. При этом для соответствия расчетных и экспериментальных результатов в состав методики введены коэффициенты, характеризующие взаимодействие свай с окружающим грунтом. Получены табличные значения этих коэффициентов, что позволяет выполнять предварительный расчет несущей способности свай. Разработанная методика опробирована применительно к свайному фундаменту акведука, запроектированного в лессовых просадочных грунтах.

Кагановым Г.М. [35-37] представлены результаты исследований работы свайных фундаментов, рассматриваемых им в качестве фундаментов многоарочных низконапорных плотин. Исследования, выполненные на моделях, позволили выявить, что прочность материала свай и деформационно-прочностные характеристики грунтов нескального основания плотин оказывают влияние на несущую способность свай и разрушаемость свайных ростверков. Так установлено, что при действии горизонтальной нагрузки прочность материала свай оказывает существенное влияние на несущую способность гибкой свай. Выявлено, что увеличение тангенса угла внутреннего трения рыхлого песка (с добавкой резиновой крошки) на 60% вызывает повышение несущей способности свай со свободной головой на 25%. Аналогичная закономерность характерна и для свай с заземленной головной частью. Но, при этом несущая способность свай с заземленной головной частью на 25-30% выше, чем несущая способность свай без заземления. Опытами выявлена качественная картина разрушения свай в ростверке. Разрушение свай в ростверке происходило с образованием чаще двух и реже одного «пластического шарнира» по их длине. Первый шарнир образовывался в зоне заделки свай в ростверк, а второй - на некоторой глубине от подошвы ростверка. Причем разрушение всех свай в ростверке происходит одновременно. Исходя из минимальных значений горизонтальных, вертикальных и угловых перемещений установлено, что более предпочтительными из свайных фундаментов являются фундаменты, свай в которых расставлены не вертикально и не наклонно, а по козловой схеме, когда их нижние концы раздвинуты в противоположные стороны.

Кубеновым Р.Т. в работе [38] представлен факт неудачного применения забивных свай в просадочных грунтах под сетевые гидротехнические

сооружения юга Казахстана. Так автором указывается, что в результате неожиданных просадок, имевших место в среднепросадочных грунтах Кызыл-Ординской области, наблюдалось массовое разрушение лотковой оросительной сети, возведенной на забивных сваях. Лотковые сооружения, построенные 1984 году, практически через год оказались непригодными к эксплуатации вследствие чрезмерных неравномерных просадочных деформаций свайных опор. При этом максимальные просадки составляли 20-40 см. Затраты на ремонт и восстановление лотковых сооружений почти в 1,5 раза превысили затраты на новое строительство аналогичных сооружений. Исходя из описанного отрицательного факта предложено при проектировании сооружений на просадочных грунтах их просадку рассматривать как один из расчетных состояний первой группы предельных состояний.

Кадиным О. [39] выполнены исследования комбинированных дамб на моделях, в которых оголовок устраивается сквозным из забивных свай-оболочек, объединенных ростверком. Отмечается, что комбинированные дамбы, за счет наличия сквозной части (из свай), по сравнению с глухими дамбами имеют меньшую глубину размыва в период эксплуатации. Это происходит из-за пропуска части воды через сквозную часть дамбы (через пространство между сваями). Другим, немаловажным преимуществом таких дамб, является использование готовых свай, применение которых сокращает сроки строительства и повышает качество работ. Автором установлено оптимальное отношение размера глухой части комбинированной дамбы к размеру ее сквозной части.

В работе [40] Глазовским В.Б. разработаны и предложены методы статических и динамических расчетов фундаментов энергетических и гидротехнических сооружений. Автором разработана методика определения перемещений и углов поворота свай-оболочек в грунтах слоистого напластования. На основе данной методики составлена программа расчета аналогичных параметров свай. Эти результаты исследований получены путем теоретического решения задачи о деформировании свай-оболочки при действии горизонтальной нагрузки с учетом упруго-пластической модели деформирования грунта основания. Разработана также методика расчета несущей способности засасываемых свай, широко используемых для закрепления морских гидротехнических сооружений. Выполнена расчетная оценка влияния на несущую способность засасываемых свай таких факторов как размеры свай, глубины и направления приложения нагрузки на них, а также неоднородность грунтов основания. Кроме того, по результатам выполненных исследований предложена методика расчета деформаций свайного фундамента турбоагрегата, которая позволяет учитывать ее жесткость в верхней части, а также особенности взаимодействия свай между собой в фундаменте.

В работах [41, 42] Бахтиным Б.М. представлены результаты исследований по изучению динамического взаимодействия негрунтовых и грунтовых элементов гидротехнических сооружений, возводимых на сваях в сейсмических районах. В исследованиях рассмотрены вопросы оптимального моделирования свай. Предложены новые критерии моделирования свайных конструкций,

позволяющие повысить достоверность результатов исследований. Также предложена гипотеза, описывающая характер работы системы «свая-грунт» при действии динамической нагрузки. Правильность гипотезы подтверждается результатами испытаний натуральных и модельных свай. Установлено, что соотношение длины и диаметра свай оказывают непосредственное влияние на точность получаемых результатов. Определено оптимальное соотношение этих параметров свай, при которых расхождения между расчетными и экспериментальными данными не превышает 25%.

Бекбасаровым И.И. в работе [43] рассмотрены вопросы устройства свай и свайных фундаментов под линейные гидротехнические сооружения, как акведуки, селепроводы, трубопроводы, лотковые сооружения и др. Автором в качестве объекта исследования рассмотрены забивные призматические сваи сплошного сечения. На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований автором разработана и внедрена методика рационального устройства свай и свайных фундаментов под опоры сооружений. Использование методики позволяет проектировать свайные фундаменты сооружений с учетом обеспечения целостности бетона свай при их забивке, достижения ими необходимой несущей способности и глубины, а также достаточной производительности молотов, используемых для погружения свай. В состав методики входят расчетные методы, позволяющие определять такие параметры процесса забивки свай, как сжимающие напряжения в их головной части при ударах молота, энергия удара молота при погружении свай, высота выпора грунта при забивке свай и ряд других параметров. Выполнен экономический анализ проектов фундаментной части водопроводящих гидротехнических сооружений, по результатам которого предложены корреляционные зависимости, позволяющие производить оперативную оценку стоимости устройства свайных фундаментов под такие сооружения. Основные результаты исследований включены в республиканские нормативно-технические документы по свайной геотехнике.

Свайные конструкции получили распространение и в портовом строительстве, что обусловлено извлечением энергетических ресурсов со дна морских водоемов и интенсивным развитием логистики в сфере водного транспорта. В портовом строительстве для возведения гидротехнических сооружений применяются забивные деревянные, стальные и железобетонные сваи [44]. В работах [45-50] представлены результаты исследований и опыт применения свай в данной сфере.

В работе [45, с.1-24] Салимовым С.В. представлены результаты исследований по определению несущей способности внецентренно сжатых многослойных трубоцементных свай при кратковременных и длительных нагрузках. Сваи рассматриваются в качестве анкеров и предназначены для устройства несущих опор морских ГТС. Автором на 38 образцах двухслойных трубоцементных свай проведены натурные эксперименты. Образцы свай выполнены из внешней трубы диаметром 159×6 мм и внутренней трубы диаметром 114×7 мм. Длина свай составляла 1,0 м, 2,60 м и 3,40 м. Образцы свай заполнялись тампонажным портландцементом (в первом случае полностью, во

втором случае - только пространство между трубами). К сваям прикладывались внецентренные продольные и поперечные нагрузки. Обработка и анализ результатов опытов показал, что при больших эксцентриситетах приложения нагрузки деформации свай проявляются в сжатой и растянутой зонах. На основе полученных данных предложена методика расчета несущей способности двухслойных трубоцементных свай при кратковременном и длительном нагружении.

Коровкин В.С. в работе [46, с.1-42] рассматривает проблемы повышения прочности и долговечности портовых ГТС на свайном основании. Для оценки влияния увлажнения грунта, а также его промерзания и оттаивания на состояние и сопротивляемость свай автором проведены полунатурные исследования отдельных свай и свайных конструкций набережной водохранилища. На основе результатов экспериментов предложен расчетный метод прогноза снижения несущей способностей свайного основания причальных сооружений. Метод позволяет учитывать физико-механические характеристики грунта основания при инфильтрационных процессах. Анализом результатов обследования Тюменской набережной исследователем установлено, что свайный фундамент из железобетонных свай-оболочек диаметром 60 см и толщиной стенок 10 мм имел многочисленные трещины различного характера. Доля свай с трещинами достигала 70% от их общего количества в фундаменте. Установлено, что основными причинами образования трещин служат перепад температуры и замерзание заполнителей (гидрофобных смесей) свай-оболочек в зимний период.

В работе [47, с.61-108] Рахаринуси А.П. изучены особенности применения стальных трубчатых свай с открытым нижним концом для возведения портовых ГТС. Выявлено, что высота грунтового ядра, которая формируется в полости этих свай при погружении, значительно больше, чем при погружении железобетонных свай-оболочек, и может достигать их глубины погружения. Оценено влияние диаметра свай, толщины ее стенки и плотности грунта на процесс формирования грунтового ядра в ее полости. Предложены коэффициенты условий работы грунта под нижним концом и по боковой поверхности свай для расчета их несущей способности с использованием расчетных сопротивлений грунтов. Для определения несущей способности свай с применением прочностных характеристик грунтов рекомендовано использование нетрадиционных параметров прочности по Мизесу-Боткину, а не параметры прочности по Мору-Кулону. Получены зависимости, которые позволяют определять осадки стальных трубчатых свай путем построения графиков «осадка-нагрузка» с применением и без применения результатов статических испытаний.

Костроминым Ф.С. в работе [48, с. 1-29] изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по изучению особенностей взаимодействия ГТС гравитационно-свайного типа с грунтами основания. Результаты исследований фундамента гравитационно-свайного типа позволили установить физическую картину его работы в грунтах различной влажности, а также получить параметры, необходимые для учета взаимовлияния составных элементов сооружения с основанием. На основе изучения различных

модификаций модели фундамента разработаны рекомендации по оптимизации параметров свайного поля, жесткости, условий закрепления и расположения свай под фундаментной плитой. Выполненные расчетно-теоретические исследования позволили разработать основные принципы проектирования ледостойких гравитационно-свайных платформ на совместное действие внешних силовых факторов в условиях нелинейной работы грунта. Составлен алгоритм расчета платформ и разработаны методы учета взаимного влияния работы плиты и свай.

Работа [49, с. 1-18], выполненная Сосниной С.А. включает в себя результаты исследований по разработке методики расчета несущей способности стальных трубчатых свай, используемых для закрепления морских гидротехнических сооружений на шельфе. В работе рассмотрены несколько видов свай якорного типа, используемых для закрепления платформ в арктическом шельфе России. С применением плоских моделей свай изучено влияние диаметра свай, глубины их погружения, мест закрепления троса и направления действия силы на их несущую способность. Результатами расчетов МКЭ выявлено повышение несущей способности засасываемой сваи в 1,7 раза при закреплении троса в ее нижней части, по сравнению с креплением троса в верхней части сваи. Данный эффект объясняется перемещением сваи в грунте без ее поворота вокруг оси. Результаты экспериментальных и численных исследований свидетельствуют о высокой несущей способности засасываемых свай и возможности их применения в морском гидротехническом строительстве. Автором предложена методика расчета несущей способности одиночных свай и свайных кустов при воздействии комбинированных нагрузок.

В работе [50, с. 1-23] представлены результаты экспериментальных исследований применения илоцементных и полиэтиленовых свай в качестве основания причальных сооружений порта Темрюк. Разработана методика по расчету несущей способности причалов на илах большой мощности с использованием экспериментальных свай. Проведена сравнительная оценка результатов несущей способности илоцементных свай, полученных в полевых экспериментах с расчетными данными. Их результаты показывают, что несущая способность опытных свай на вдавливающую нагрузку в слабых илах составили в пределах 97,5-112,5 кН. Полученные данные показывают достоверность методики расчета конструкции причалов с применением илоцементных свай. Методика дает точные результаты при определении зон и категорий причалов. Автором отмечается необходимость дальнейшего совершенствования методики с целью повышения точности расчета сцепления грунта и свай и увеличения надежности результатов.

Исследования выполненные Yasser E. [51] посвящены проектированию группы свай под морские сооружения такие как, причалы, платформы, набережные и стационарные морские установки. Автором изучались воздействие различных факторов таких, как силы швартовки, волны, штормовые приливы и текущие воды на группы свай в нескольких грунтах. Рассматривалась угол наклона свай, расстояние между ними, соотношение длины к диаметру свай и величина боковой статической нагрузки. Выявлено, что

увеличения угла наклона свай на  $5^\circ$  повышает сопротивляемость горизонтальным нагрузкам на 40% по сравнению с вертикальными сваями. Несущая способность горизонтальной нагрузке групп свай выше при их парном расположении в группе. При соотношений длины к диаметру 3наблюдается снижение горизонтальной несущей способности свай от 29% до 35%.

В исследований [52] анализируется использование различных типов свайных конструкции в портовом гидротехническом сооружений. В качестве примера рассмотрен пирс терминала Алемуа порта Сантос в Бразилии. Исследования направлена на оценку несущей способности наклонных свай при горизонтальных нагрузках, а также выбора оборудования для их забивки. Выявлено эффективность наклонных свай за счет меньшего смещения причала при воздействии судов и ветровых нагрузок. Установлено также, что применение сборных бетонных трубчатых свай с диаметром 900 мм и толщиной стенок 150 мм по сравнению с цельной сваей диаметром 800 мм экономически эффективно, за счет сокращения материалов, времени и трудовых затрат.

Шеховцевым В.А. в работе [53] представлены результаты исследований по определению прочности и устойчивости трубобетонных конструкций и опорных блоков морских стационарных платформ при воздействии различных нагрузок. Выполнены статические и динамические расчеты платформы ТП-4 с размерами  $46 \times 18 \times 0,8$  м. Платформа устроена на свайном основании, состоящем из 28 вертикальных и 16 наклонных свай диаметром 1,22 м. Сваи изготовлены трубчатыми с бетонным заполнением, и погружены в грунты на глубину 27,3 м.

Результатами расчетов установлено, что конструкции платформы ТП-4 запроектированы с большим запасом несущей способности. Автором представлены особенности конструкции и примеры применения засасываемых свай для постоянного или временного закрепления морских гидротехнических объектов на больших глубинах. Разработана методика, позволяющая оценить несущую способность засасываемых свай. Обоснована возможность использования засасываемых свай для закрепления на морском дне платформы, проектируемой для одного из глубоководных месторождений арктического шельфа России. Выявлено влияние размеров свай, величины заглубления точки приложения нагрузки на них, направления действия нагрузки, а также неоднородности грунтов на несущую способность свай. Изучено также влияние податливости несущего слоя, залегающего под нижними концами свай на деформации свайного фундамента платформы. Предложена методика оценки деформаций свайного фундамента с учетом взаимодействия свай и верхнего строения.

В работе [54] Атеновым Е.И. изложены результаты исследований забивных железобетонных свай с несколькими (от 1 до 4-х) плоскими пирамидальными уширениями ствола, устраиваемых под опоры линейных гидротехнических сооружений. Проведены сравнительные испытания указанных свай с типовыми сваями призматической и пирамидальной форм, в полевых условиях при действии статических вдавливающих нагрузок. Выявлено, что опытные сваи обладают повышенной (1,05-1,56 раза) несущей

способностью. С увеличением количества уширений в свае (от 2 до 4) ее несущая способность увеличивается в 1,06-1,43 раза. Выполнена экономическая оценка устройства фундаментов из свай с уширениями под опоры акведука балочного типа. Установлено, что стоимость устройства фундамента из свай с уширениями на 3-59% меньше стоимости возведения фундамента из призматических свай и фундамента неглубокого заложения. Эффективность применения свай с уширениями объясняется особенностями взаимодействия наклонных граней их уширений с грунтом.



В работе [55] представлены данные об использовании свай-оболочек для возведения катастрофического водосброса на Тасоткельском водохранилище, расположенном в Шуском районе Жамбылской области. Свай-оболочки погружены у нижнего бьефа быстротока в два ряда (рисунок 1.2). Длина свай составляет 22,0 м, а диаметр - 1,0 м.

Рисунок 1.2 – Железобетонные свай-оболочки на катастрофическом водосбросе Тасоткельского водохранилища

В гидротехническом строительстве наряду с забивными сваями широкое применение получили шпунтовые сваи. Основное предназначение шпунтовых свай это их использование в качестве ограждающих конструкций, сдерживающих перемещение грунта или предотвращающих проникновение влаги. Шпунтовые сваи широко применяют также и для укрепления берегов водоемов и причальных сооружений, а также для возведения ряда других гидротехнических объектов [56-58].

Шпунты изготавливаются из металла, железобетона, ПВХ и композитных материалов. Наиболее эффективными среди железобетонных шпунтов являются плоские железобетонные шпунты с габаритными размерами сечения 50×45 см и широкополочный шпунт таврового сечения шириной 1,6 м. Длина этих шпунтов может достигать до 24 м [59]. Менее распространены на практике шпунтовые сваи из композитных материалов. По качественным характеристикам композитные шпунты близки со шпунтами из ПВХ. Опыт удачного применения композитных шпунтов представлен в работе [60]. Так из композитных шпунтовых свай возведена противофильтрационная диафрагма плотины White River (США), длиной 22,0 м и мол в Marina in Austin (США).

В целом из свайных шпунтов самым распространенными являются металлические шпунтовые конструкции. Их доля в общем объеме используемых шпунтовых свай составляет более 50%. К примеру при возведении Волгоградской ГЭС на реке Волга было забито 34000 т металлического шпунта [61]. Стальные шпунтовые сваи плоского и корытного типов (типа Ларсен)

изготавливаются длиной от 8 до 22 м, что позволяет использовать их и на гидротехнических объектах. Так, в районе Павшинской поймы на левом берегу Москвы - реки в г. Красногорск (Россия) сооружена шпунтовая набережная (рисунок 1.3, а). Для обеспечения водовыпуска канализационный коллектор сопряжен с набережной. Узел сопряжения коллектора с набережной принят в виде открылок из шпунтов Ларсена 5-УМ. Открылки перекрыты железобетонным перекрытием. Перекрытие опирается как на шпунты открылок, так и на сваи из стальных труб (диаметром 426 мм, толщиной стенок 10 мм и длиной 10-10,5 м). Сваи погружены в грунт обратной засыпкой открылок [62].

Свайные шпунты типа «Ларсен-5» использованы также и для возведения причала морского порта в поселке Зарубино (Приморского края РФ), расположенного на берегу Тихого океана. Причал общей длиной 650 м возведен в виде заанкерowanego металлического бойверка из шпунта глубиной 12-15 м [63].

В Казахстане стальные шпунтовые сваи типа «Ларсен-5» получили применение при строительстве причала производственной базы Kazakhstan Offshore Industries (КСОI) Ltd в поселке Акшукир, расположенном на восточном берегу Каспийского моря [64] (рисунок 1.3, б). Шпунты использовались для укрепления береговой линии причального сооружения. Забивка свайных шпунтов произведена отечественной компанией «UnexStroy» на глубину более 5 м. Аналогичные шпунтовые сваи использованы и при реконструкции речного порта в г. Атырау.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Устройство шпунтовых свай на левом берегу набережной Москва-реки г. Красногорск (Россия) (а) и на береговой линии производственной базы Kazakhstan Offshore Industries в поселке Акшукир (Казахстан) (б)

Ряд вопросов, посвященных улучшенным конструкциям шпунтовых свай и изучению их работы отражены в исследованиях Носенкова О.П., Новака Ю.В., Немолочнова А.Г. и др.

Носенковым О.П. [65] разработан «U» образный профиль шпунтовой сваи типа «Ларсен» повышенной несущей способности. Автором предложена новая концепция проектирования профилей шпунтов, работающих на изгиб. В соответствии с этой концепцией запатентован профиль стального шпунта «Ларсен-7Н». Численные исследования по прогнозированию прочности U-профилей шпунтовых свай при изгибе под нагрузкой показали их эффективность по сравнению со стальным шпунтом «Ларсен-5S», разработанным в соответствии с Еврайнормами. Установлено, что 1 м стенки шпунта нового профиля обеспечивает повышение момента сопротивления в 1,62 раза. Новаком Ю.В. и др. [66] проведены работы по оценке технических условий и экономической целесообразности применения металлических балочно-шпунтовых свай в качестве несущих элементов гидротехнических сооружений. Анализ результатов исследований показал, что балочно-шпунтовые сваи обладают высокой прочностью, и их использование в качестве элементов гидротехнических сооружений является рациональным решением.

В работе [67] Немолочновым А.Г. изложены результаты комплексных исследований по изучению шпунтовых свай из композитного материала. Проведены лабораторные испытания по оценке несущей способности композитного шпунта на изгиб. Результаты полунатурных испытаний шпунтов в составе подпорной стены берегоукрепительного сооружения показали, что перемещения верха шпунта при горизонтальном воздействии достигают 4,39-4,47 см, превышая допустимые нормы. Пробным вибропогружением шпунтовых свай длиной 8 и 12 м определены границы их бездефектного погружения, а также возможность их использования в качестве несущих конструкций. Анализом напряженно-деформированного состояния шпунтовых композитных свай под нагрузкой установлены допустимые напряжения в них и значения модуля упругости их материала, при которых обеспечивается их безопасная эксплуатация.

### **1.3 Сваи с наклонной боковой поверхностью**

Из анализа результатов исследований зарубежных и отечественных специалистов, представленных в подразделах 1.1 и 1.2, можно заключить, что сваи (бурионабивные, буросекущиеся, забивные, шпунтовые и др.) получили широкое применение в гидротехническом строительстве. Причем, в перечне используемых свайных конструкций, немаловажное место занимают забивные сваи, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с другими видами свай. Но, несмотря на это в гидротехническом строительстве, в подавляющем большинстве случаев из забивных свай применяются только сваи призматической и цилиндрической форм. Хотя в сфере промышленного и гражданского строительства с успехом и довольно широко используются забивные сваи с наклонными боковыми гранями (наклонной боковой поверхностью). К таким видам свай относятся пирамидальные, конические, бипирамидальные, ромбовидные, клиновидные сваи. Результаты исследований показывают, что сваи с сужением их ствола к острию более эффективны по сравнению с традиционными призматическими сваями и обеспечивают

возможность максимально использовать сопротивление грунта по боковой поверхности.

Ниже приведены результаты некоторых наиболее характерных исследований, раскрывающие особенности и преимущества свай с наклонными боковыми гранями.

Известно, что впервые исследования по изучению поведения свай с наклонной боковой поверхностью проведены Дмоховским В.К. Им установлено, что сужение ствола сваи к острию приводит к увеличению общей сопротивляемости сваи нагрузкам в 5-9 раз [68]. Экспериментами выявлено, что по сравнению с призматическими сваями (при одинаковом расходе материала) использование конических свай увеличивает долю нагрузки, воспринимаемой их боковой поверхностью до 75%. При этом жесткость конических свай на изгиб в 2-2,5 раза выше. Стоимость устройства фундаментов из конических свай на 60% меньше, чем стоимость устройства фундаментов из призматических свай [69].

В работе [70] Пономаревым А.Б. предложена конструкция полый конической сваи с высокой удельной несущей способностью. Результаты проведенных полевых и лабораторных исследований показывают, что удельная несущая способность полый конической сваи на 48-54% выше, чем у призматической сваи и на 31-36% выше у пирамидальной сваи аналогичной длины. Достаточно высокую несущую способность конических свай автор объясняет проявлением значительных сил трения и отпора по наклонной боковой поверхности сваи. Разработана методика расчета несущей способности и осадок свай. Полая коническая свая рекомендуется для применения в водонасыщенных и намывных грунтах с поверхностным залеганием плотных грунтов. Применение конических свай обеспечивает снижение стоимости возведения фундаментов на 25-40% по сравнению с фундаментами из призматических и пирамидальных свай.

Результаты исследований, изложенные в работах [71-73], указывают на то, что оптимальный угол наклона боковой поверхности конической сваи, при котором достигается ее наибольшая несущая способность в песчаных грунтах, зависит от угла внутреннего трения этих грунтов. Так, в песках с углом внутреннего трения  $\varphi=33^\circ$  оптимальный угол наклона боковой поверхности конической сваи составил  $\alpha=0,4^\circ$ . А, при значениях угла внутреннего трения песчаного грунта  $\varphi=38^\circ$  и  $\varphi=43^\circ$  значения оптимального угла наклона боковой поверхности сваи соответственно составили  $\alpha=0,8^\circ$  и  $\alpha=1,2^\circ$ . Экспериментами, проведенными с применением МКЭ, определено, что при углах наклона боковой поверхности  $\alpha=0,4^\circ$  и более несущая способность конических свай в составе куста в песчаных грунтах превышает несущую способность цилиндрических свай.

Репецким Д.С. [74] на основе экспериментальных и теоретических исследований оценена работа двухконусных свай в пучинистом грунте. Двухконусная свайная конструкция, разработанная автором представляет собой два конуса, один из которых сужается к верхней части, а другой к нижней части. Особенностью конструкции данного вида сваи является то, что ее верхняя конусная часть, длиной 70 см, не участвует в обеспечении несущей способности

сваи при работе в грунте. Рабочей функцией данного участка сваи является нейтрализация морозного пучения (эффективность нейтрализации морозного пучения достигает до 90%). Нижняя конусная часть сваи является рабочей, и его длина подбирается с учетом требуемой несущей способности сваи. Результаты экспериментов показывают, что несущая способность и удельная несущая способность двухконусных свай в глинистом грунте больше аналогичных параметров призматической сваи соответственно на 14-18% и 48-53%. Предложенные сваи в отличие от призматических свай более надежны в сезоннопромерзающих грунтах, обладающих пучинистыми свойствами.

Дальнейшее продолжение исследований работы двухконусных свай имеет место в работах Добрынина А.О [75]. Автором проведены экспериментально-теоретические исследования двухконусных свай в сезоннопромерзающих водонасыщенных глинистых грунтах. В результате изучения межсвайного пространства свайного куста, состоящих из четырех свай с расстоянием между ними  $3d$  (где:  $d$  - наибольший диаметр сваи), установлено, что осадка фундамента, в основном, обеспечивается за счет осадки слоя грунта, залегающего под уплотненной зоной грунтового массива. Выявлено также, что при осадке сваи 20-40 мм достигается полное развитие сил трения грунтов по ее боковой поверхности. Разработан метод расчета несущей способности двухконусных свай в водонасыщенных глинистых грунтах.

Бахолдиным Б.В. и Игонькиным И.Т. [76], изучалась работа пирамидальных свай на действие вертикальной статической нагрузки. Результаты исследований показывают, что применение пирамидальных свай наиболее эффективно в грунтах, для которых характерны высокие значения модуля деформации и угла внутреннего трения.

В работе [77] изложены результаты исследований особенностей поведения пирамидальных свай под нагрузкой в набухающих грунтах. Авторами установлена зависимость подъема (выпора) свай от угла наклона граней, длины свай и величины, передаваемой на них нагрузки. Выявлены закономерности изменения послойных деформаций грунта вокруг сваи по мере увеличения глубины её погружения. Предложена расчетная формула по определению координат участка ствола, с которого начинается выпор ненагруженной сваи.

Поповичем Н.Н. [78] выполнены экспериментальные исследования одиночных и кустовых пирамидальных свай на совместное действие горизонтальных и вертикальных нагрузок. Установлено, что повышению несущей способности фундаментов из пирамидальных свай при одновременном воздействии вертикальной и горизонтальной нагрузок способствует приложение этих нагрузок с эксцентриситетом относительно оси сваи. Автором разработана методика расчета фундаментов из пирамидальных свай на действие горизонтальной нагрузки и совместное действие вертикальной и горизонтальной нагрузок. Методика основана на использовании коэффициента пропорциональности, зависящего от деформационных характеристик грунтов основания и геометрических параметров фундамента из пирамидальных свай.

Результаты ряда исследований [79-85] свидетельствуют об экономической целесообразности применения свай, имеющих большие размеры в верхнем

поперечном сечении, чем в нижнем сечении. Результатами испытаний выявлено, что сваи с наклонными гранями (с углом наклона от  $0,95^\circ$  до  $1,91^\circ$ ) имеют более высокую (до 50%) несущую способность, чем обычные призматические сваи. Кроме того, установлено, что использование в составе свайных фундаментов свай с наклоном к вертикали  $20^\circ$ - $45^\circ$  приводит к увеличению их несущей способности до 88,5% и вызывает уменьшение просадки до 37,3%.

В работе [86] Медведевой О.П. представлена железобетонная забивная свая, состоящая из верхней призматической и нижней пирамидальной части. Автором изложены результаты экспериментальных исследований по установлению особенностей работы данных свай в пылевато-глинистых грунтах. Опыты проведены на объектах г. Красноярска и г. Кемерово. По результатам сравнительной забивки свай установлено, что ударное погружение опытных свай сопровождается большими затратами сваебойного агрегата, чем при забивке призматических свай такой же длины. Так, для забивки опытной сваи длиной 6 м было затрачено в 1,5-2,5 раза больше ударов молота, чем на забивку призматической сваи. Статическими испытаниями установлено, что несущая способность исследуемых свай на вертикальную нагрузку в 1,5-3,0 раза выше, чем у призматических свай. Испытаниями свай также определена их высокая устойчивость против сил морозного пучения. На основе результатов исследований предложена методика расчета одиночных свай и кустовых фундаментов из них на действие вертикальной вдавливающей нагрузки и сил морозного пучения, а также разработаны рекомендации по их применению.

#### **1.4 Предпосылки к созданию пирамидально-призматических свай**

Из результатов исследований, представленных в подразделе 1.3, следует, что сваи с наклонной боковой поверхностью по несущей способности более предпочтительны, чем традиционные призматические сваи. Это обусловлено, тем, что наклон боковой поверхности сваи к вертикали порождает силы отпора и повышает силы трения грунта вдоль ее боковой поверхности. По мере заглубления сваи силы отпора и трения грунта, действующие на ее наклонную боковую поверхность существенно возрастают. При этом увеличение сопротивляемости грунтов по боковой поверхности сваи сопровождается увеличением энергетических затрат на погружение сваи. Эффект от проявления этих силовых и энергетических факторов, как правило, тем выше, чем больше угол наклона боковой поверхности сваи. Поэтому такие сваи, традиционно, устраивают на небольшую глубину, и требуемая их несущая способность, главным образом, обеспечивается за счет увеличения угла наклона боковой поверхности свай, а не за счет их длины. В отличие от свай с наклонной боковой поверхностью сваи призматической формы принимаются большой длины, так как их необходимая несущая способность обеспечивается, в основном, за счет увеличения глубины погружения, а не за счет увеличения размеров поперечного сечения.

Как видно, как для свай с наклонной боковой поверхностью, так и для призматических свай характерны геометрические параметры, регулируя

которых можно добиваться максимальной несущей способности свай и минимальных затрат на их забивку. Эти обстоятельства легли в основу идеи о создании сваи с комбинированной формой ствола, включающей в себя как пирамидальную (с наклонной боковой поверхностью), так и призматическую части для того, чтобы в рамках одного вида сваи иметь несколько разновидностей свай с разными углами наклона боковых граней пирамидальной части и разной длины ее призматической части ствола. В соответствии с указанной идеей, в такой свае, в отличие от сваи, описанной в работе [86, с. 1-20], предусматривается пирамидальную часть располагать вверху сваи, а призматическую часть – внизу. Такая последовательность расположения составных частей ствола свай, вызвана следующими явлениями:

- при залегании с поверхности площадки слабых, неуплотненных или разрыхленных грунтов, погружение пирамидальной части сваи в конце забивки, позволит существенно уплотнить и повысить их несущую способность;

- при погружении пирамидальной части сваи исключается также разуплотнение околовсвайного грунта и образование полостей между боковой поверхностью сваи и грунтом, которые традиционно имеют место при забивке свай призматической формы (от сотрясений грунта) [87-91];

- погружение призматической части сваи в начале забивки обеспечит точность ее погружения, а также достижение ее нижним концом заглубленного прочного грунта при малых энергетических затратах молота, чем при забивке пирамидальной сваи такой же длины.

Учитывая вышеизложенные доводы, Бекбасаровым И.И. и Шаншабаевым Н.А., предложена новая пирамидально-призматическая свая, новизна которой подтверждена патентом на полезную модель РК №4521 [92].

В настоящей диссертации, представлены результаты исследований пирамидально-призматических свай со следующими размерами:

- длиной от 3 до 6 м;
- длиной верхнего пирамидального участка: 1-5 м;
- размерами сечения верхней части пирамидального участка сваи: 30×30 см, 40×40 см и 50×50 см;
- уклоном пирамидальных граней сваи: 0,007-0,015;
- размерами сечения призматической части ствола сваи: 20×20 см;
- длиной острия - 15 см.

Учитывая новизну предложенных свай, диссертантом организованы и проведены исследования по изучению особенностей их забивки и поведения при действии статических нагрузок применительно к условиям работы зданий и сооружения гидротехнического направления.

### **Выводы по 1 главе**

Анализ исследований и опыта применения свайных конструкций для возведения гидротехнических сооружений позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Буронабивные сваи в гидротехническом строительстве используются в качестве противофильтрационных завес плотин, для перекрытия русел рек, обеспечения сохранности и устойчивости откосов, берегов, склонов и др. Кроме того они успешно применяются при устройстве оснований гидротехнических сооружений. Диаметр используемых свай составляет 0,6-1,0 м, а глубина - до 40 м. В последние годы в качестве противофильтрационной завесы плотин, а также для возведения защитных сооружений гидротехнических объектов кроме буронабивных свай активно применяют буросекущие сваи. Такие сваи устраиваются диаметром до 1,20 м, и глубиной 40 м и более.

2. Довольно широкое применение в гидротехническом строительстве имеют забивные сваи для которых характерны такие качества, как экономичность, технологичность, быстровозводимость и надежность. Выявлены особенности работы различных видов забивных свай (призматических, клиновидных, конусных) и свайных фундаментов из них для возведения ряда гидротехнических сооружений (лотковых каналов, акведуков, морских и речных причалов, набережных, оградительных, берегоукрепляющих сооружений и др.). Разработаны и использованы методы расчета параметров погружения, деформируемости, устойчивости и несущей способности свай и свайных фундаментов, которые учитывают закономерности их совместной работы с гидротехническими сооружениями.

3. Наряду с другими свайными конструкциями в гидротехническом строительстве эффективно используются и шпунтовые сваи, изготавливаемые из различных материалов, в том числе и из композиционных. Наиболее часто используются стальные шпунтовые сваи разного профиля и длины. Разработан ряд новых шпунтовых свай, обеспечивающих высокую несущую способность и надежность возводимых сооружений в виде причалов, ограждений набережных, креплений откосов и др.

4. Из забивных свай в области гидротехнического строительства, в большей степени используются призматические сваи, чем сваи с наклонной боковой поверхностью. Как призматические, так и сваи с наклонной боковой поверхностью имеют свои особенности работы и преимущества. Сваи с наклонной боковой поверхностью по сравнению с призматическими сваями имеют меньшую длину, обладают большей эффективностью по несущей способности и менее эффективны по затратам энергии молотов на их погружение. Призматические сваи имеют большую длину, обеспечивают высокую точность погружения в грунты, а также достижение нижними концами прочных грунтов, залегающих на большой глубине.

5. На основе учета геометрических параметров, определяющих преимущественные особенности свай с наклонной боковой поверхностью ствола и традиционных призматических свай предложена забивная свая, обладающая пирамидально-призматической формой ствола. Обоснована актуальность проведения диссертантом экспериментально-теоретических исследований по изучению процесса забивки пирамидально-призматических свай и особенностей их работы при действии статических нагрузок.

## **2 ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ СВАЙ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1 Лабораторное и полевое оборудование**

Экспериментальные исследования выполнялись в три этапа, и каждый этап состоял из нескольких серий. Первый и второй этапы включали в себя опыты, проводимые в лабораторных условиях, а третий этап – эксперименты в полевых условиях.

На первом этапе исследования проводились с применением плоских маломасштабных моделей свай, а на втором этапе – обычных (пространственных) маломасштабных моделей свай.

Третий этап предусматривал проведение испытаний с использованием крупномасштабных моделей свай.

Лабораторные экспериментальные работы проводились в научно-исследовательской лаборатории инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» НАО «Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати».

Полевые испытания проводились на полигоне производственной базы Южно-Казахстанского филиала АО «КазНИИСА» (г. Тараз).

Опыты с применением плоских моделей свай проводились в плоском грунтовом лотке, оснащенный навесными приспособлениями для их забивки. Конструкция лотка позволяла фиксировать и измерять послойные деформации грунта при погружении моделей.

Опыты с использованием маломасштабных моделей свай выполнялись в пространственном грунтовом лотке. Лоток оснащен навесным оборудованием для забивки моделей свай и их испытаний на действие вдавливающей, горизонтальной и выдергивающей статических нагрузок.

Полевые испытания с применением крупномасштабных свай проводились с использованием механизированной установки. Конструкция установки позволяла осуществлять забивку и испытание свай на действие статических нагрузок.

#### **2.1.1 Плоский лоток и навесное приспособление**

Плоский лоток изготовлен из сосновых досок, толщиной 2 см (рисунок 2.1, 2.2). Габаритные размеры лотка составляют 106×35×60 см (длина, ширина и высота). Для визуального наблюдения за деформациями грунта при забивке моделей фасадная стенка лотка выполнена из толстостенного стекла толщиной 8,0 мм. Для измерения послойных деформаций грунта на поверхность стеклянной стенки наклеена прозрачная полиэтиленовая пленка. Пленка имеет горизонтальные линии с шагом 5,0 мм. Для забивки моделей лоток снабжен подвижным навесным приспособлением. Приспособление обеспечивает забивку модели падающим грузом-ударником. Ударник перемещается по направляющему стержню и с его помощью наносятся удары по модели свай.



Рисунок 2.1 – Плоский лоток с навесным приспособлением

При этом удары наносятся через наголовник, надеваемый на головную часть модели сваи. Детали навесного приспособления изготовлены из металлических элементов. Конструкция вертикальной опоры приспособления позволяет ей свободно вращаться вокруг своей оси на  $180^\circ$ , что обеспечивает забивку моделей с одного пространственного положения. Забивка модели производится в условиях плотного соприкосновения ее одной боковой грани с внутренней поверхностью стеклянной стенки лотка. Такой контакт обеспечивается при помощи направляющего элемента, устанавливаемого в верхней части стеклянной стенки лотка.

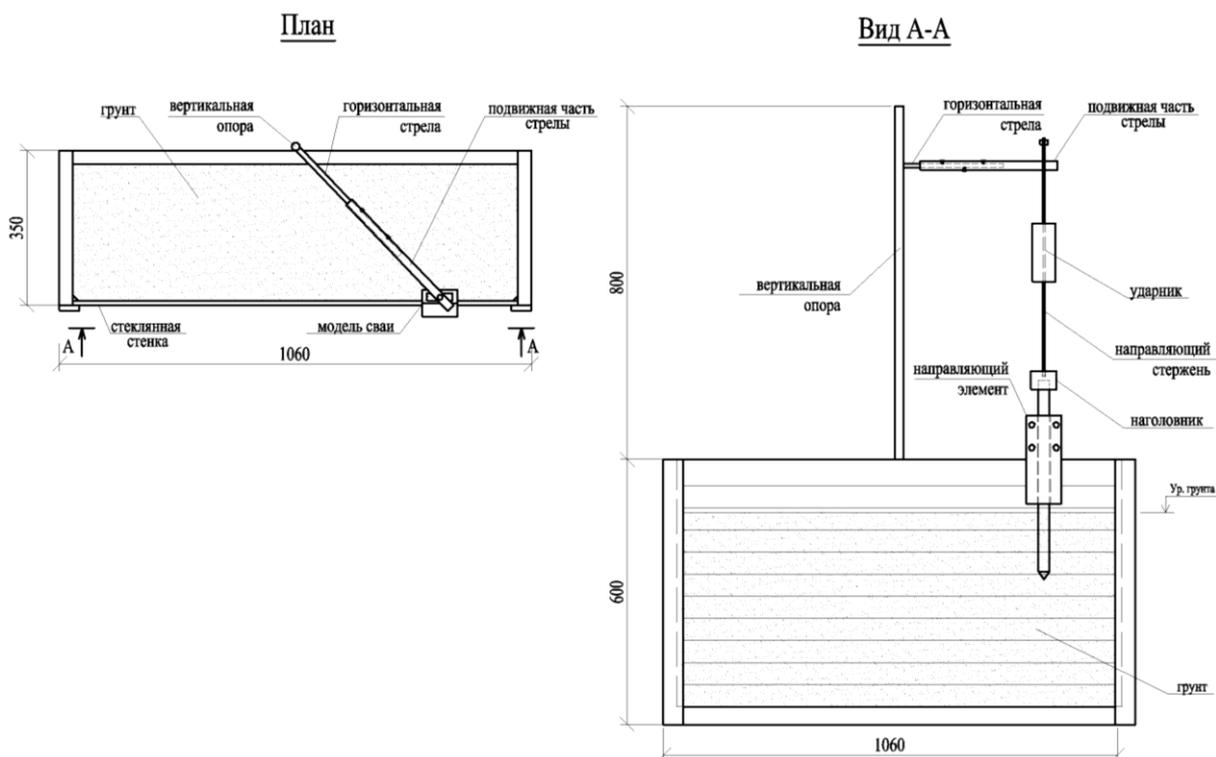


Рисунок 2.2 – Схема плоского лотка с навесным оборудованием

Работы по изготовлению и апробации плоского лотка и навесного приспособления к нему реализованы совместно с инженером НИЛ инженерного

профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» НАО «Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати» Е.И. Атеновым. Особенности конструкции плоского лотка и принципы работы его навесного приспособления представлены в работе [93].

### 2.1.2 Пространственный лоток и навесное оборудование



Рисунок 2.3 – Пространственный лоток с навесным оборудованием

Пространственный лоток изготовлен из сосновых досок. Для удобства использования лоток установлен на металлическую станину (рисунок 2.3). Габаритные размеры лотка составляют 150×55×80 см (длина, ширина и высота). Лоток оснащен навесным оборудованием, которое обеспечивает забивку и испытание моделей на действие вдавливающей, горизонтальной и выдергивающей статических нагрузок.

Рамный каркас оборудования изготовлен металлическим из полых элементов квадратного сечения (рисунок 2.4, а). Размеры сечения элементов каркаса составляют 25×25 мм, а толщина их стенок - 2 мм. Опорная часть рам каркаса упирается в бетонный пол.

Для испытаний моделей свай на действие статической вдавливающей нагрузки навесное оборудование лотка оснащено рычажной системой (рисунок 2.4, б). Рычажная система позволяет передавать вертикальную нагрузку (усилия) на модель сваи ступенчато с помощью оттарированных грузов.

Измерение осадок модели сваи в процессе испытаний (через рычажную систему) производится с помощью индикатора часового типа (ИЧ) с ценой деления 0,01 мм. Оборудование лотка включает в себя роliko-тросовую систему. Система позволяет проводить испытания моделей свай на действие горизонтальной и выдергивающей вертикальной нагрузок (рисунок 2.4, в, г).

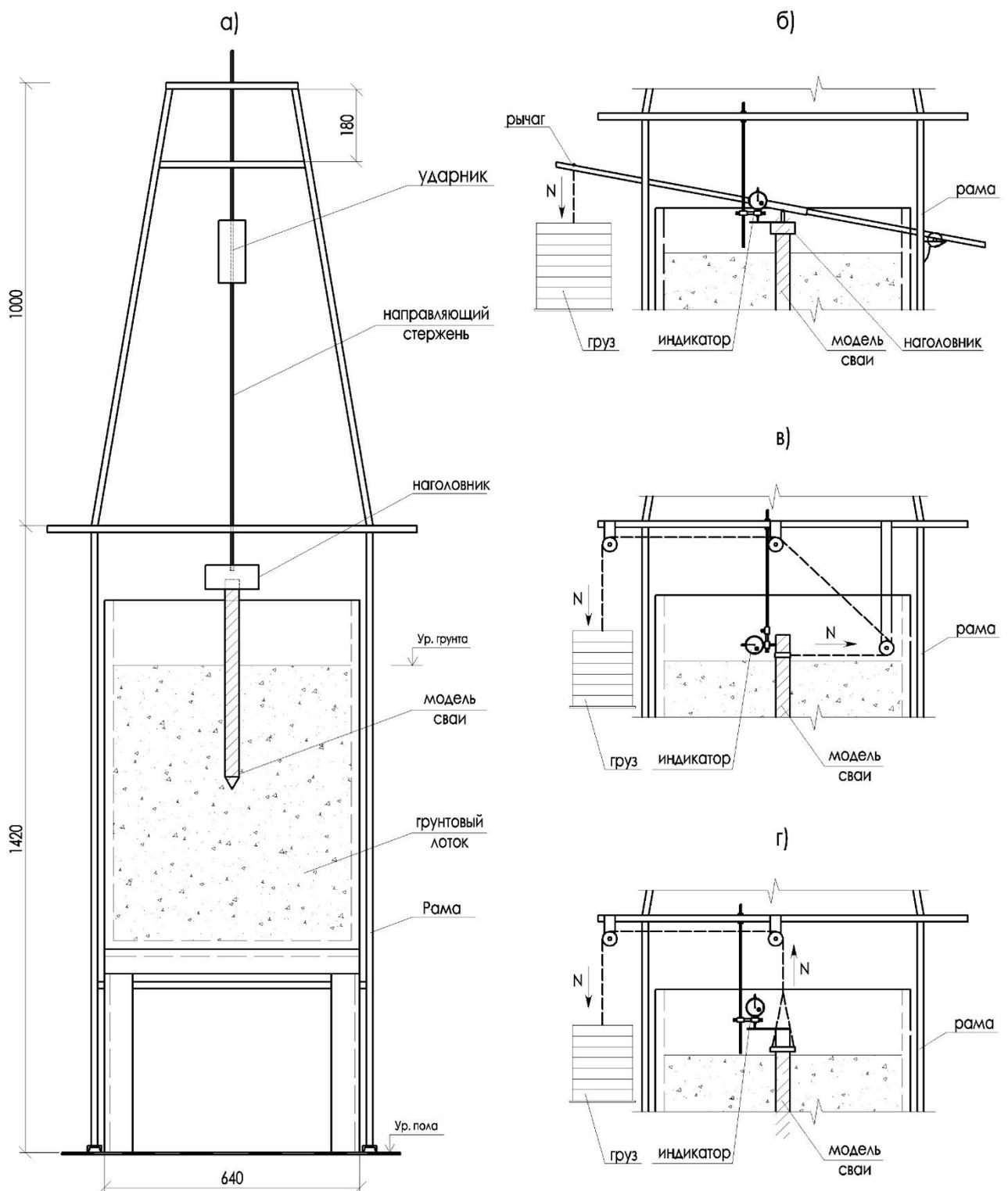


Рисунок 2.4 – Схема пространственного лотка с навесным оборудованием

Работы по разработке и изготовлению пространственного лотка и навесного оборудования к нему выполнены совместно с инженером НИЛ «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» НАО «Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати» Е.И. Атеновым. Конструктивные особенности лотка и навесного оборудования к нему изложены в работе [93, с. 125-133].

### 2.1.3 Установка и стенд для полевых испытаний

Установка механизирована и позволяет выполнять забивку моделей свай и их статические испытания, что характеризует ее в качестве комплексной установки. При принятых размерах и энергетических параметрах (массе и высоте падения) ударника, установка обеспечивает забивку и испытание моделей свай длиной до 2-4 м с размерами сечения от 7×7 см до 15×15 см. Установка предназначена для забивки моделей свай в слабые грунты и грунты средней плотности.

Основными элементами установки являются (рисунок 2.5):

- массивный корпус (платформа и рамно-опорная часть);
- мачта;
- лебедка;
- ударник.

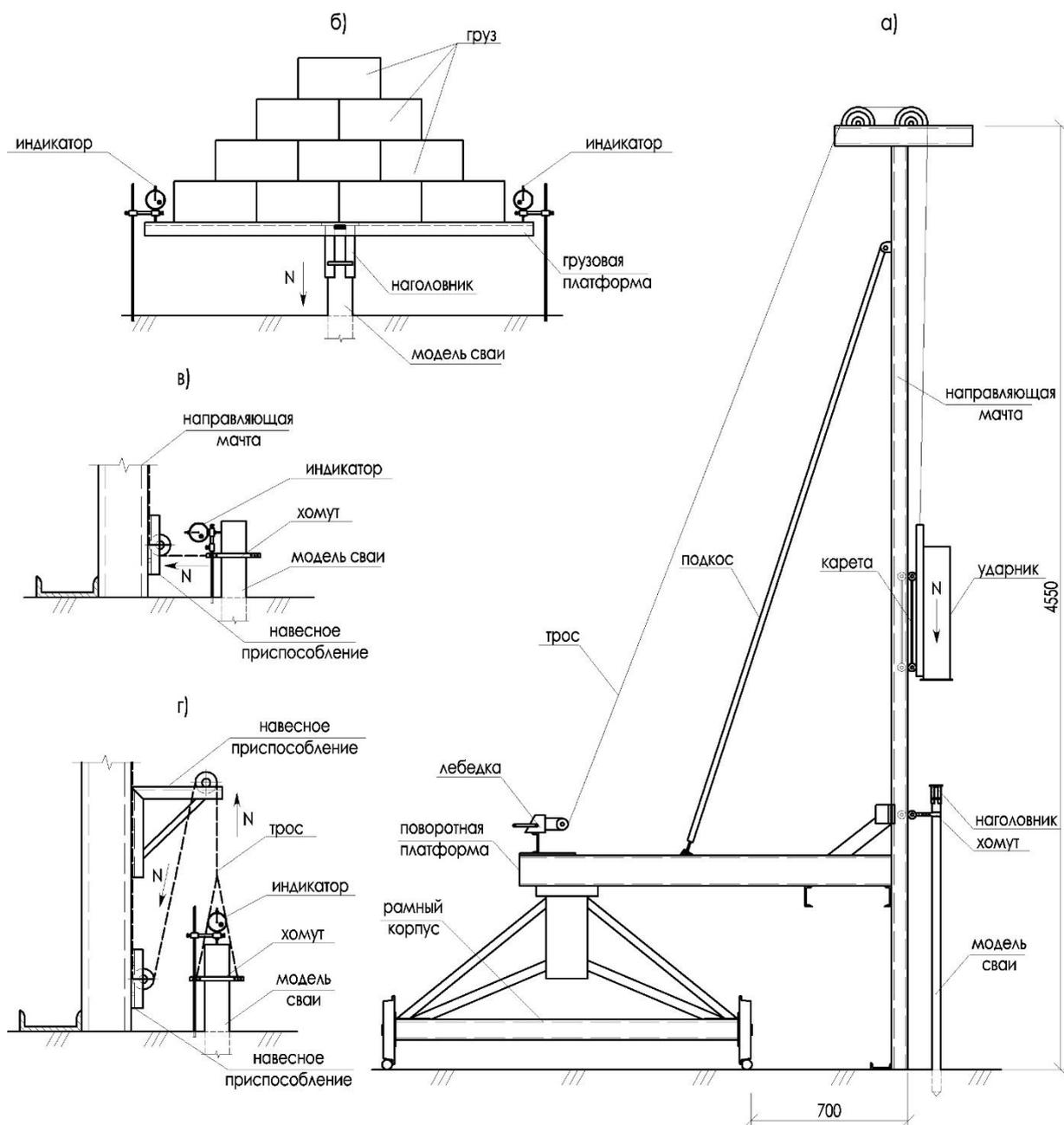
Корпус установки имеет поворотную платформу и рамно-опорную часть и может перемещаться с помощью колесной конструкции по направляющим, уложенным на поверхность грунта. В 80-ые годы 20 века рамный корпус с платформой использовался в ДГМСИ при проведении экспериментальных исследований по изучению процесса вытрамбовывания котлованов под отдельно стоящие фундаменты [94-97].

Рамно-опорная часть и платформа корпуса изготовлены сварными, и состоят соответственно из стальных труб и швеллеров. Рамно-опорная часть корпуса соединена с платформой шарнирно, что обеспечивает вращение платформы вокруг оси на 360°.

При погружении моделей свай удары по ним производятся ударником путем его сброса с определенной высоты по направляющей мачте (рисунок 2.5, а). Подъем ударника выполняется с помощью механической лебедки. Ударник изготовлен полым, что позволяет подбирать его требуемую массу путем засыпки в него сыпучего материала или загрузки грузовых блоков. Нижняя торцовая часть ударника, которая контактирует с наголовником, усилена пластиной. Наголовник с деревянным амортизатором размещается в торцовой части модели сваи и предохраняет ее от разрушений при ударах ударника.

Вертикальность забивки моделей свай обеспечивается направляющим элементом установки. Направляющий элемент включает в себя роликовую часть и хомуты, удерживающие модель сваи. При ударе ударника направляющий элемент перемещается вместе с моделью сваи вниз, не позволяя ей отклоняться от принятого вертикального положения.

Для испытаний моделей свай на действие вдавливающей нагрузки использовался стенд, состоящий из грузовой металлической платформы и грузовых блоков (рисунок 2.5, б). Платформа размещается поверху наголовника, который предварительно надевается на голову модели сваи без амортизатора. Блоки укладываются на грузовую платформу симметрично в соответствии со ступенчатым порядком приложения нагрузки на модель сваи. Осадки модели сваи замеряются индикаторами часового типа с двух противоположных сторон.



а - установка для забивки модели сваи; б – стенд для испытаний модели сваи вдавливающей нагрузкой; в - приспособление для передачи на модель сваи горизонтальной нагрузки; г - приспособление для приложения к модели сваи выдергивающего усилия.

Рисунок 2.5 – Схемы оборудования для забивки и испытаний моделей свай в полевых условиях

Приспособление, предназначенное для приложения к модели сваи горизонтальной нагрузки, выполнено из двух симметрично расположенных уголков с роликом между ними (рисунок 2.5, в). Горизонтальное усилие передается на модель сваи с помощью троса. Трос одним концом соединен с хомутом в головной части модели сваи, а другим концом - с ударником, который

служит в качестве грузовой платформы. Горизонтальная нагрузка на головную часть модели сваи прикладывается путем укладки на верхнюю торцовую поверхность ударника (грузовой платформы) грузовых блоков.

Приспособление, предназначенное для передачи на модель сваи выдергивающего усилия, изготовлено в виде консольной конструкции с роликом (рисунок 2.5, г). Передача выдергивающей нагрузки производится с помощью хомута, закрепленного к головной части модели. Хомут соединен с тросом, другой конец троса закреплен к ударнику. Натяжение троса (приложение усилия) осуществляется путем укладки грузовых блоков на верхнюю торцовую поверхность ударника. Ударник под тяжестью грузовых блоков перемещается вниз, что обеспечивает передачу на модель сваи выдергивающего усилия.

Работы по разработке, изготовлению и предварительному испытанию механизированной установки выполнены совместно с инженером НИЛ «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» НАО «Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати» Е.А. Атеновым. Конструктивные особенности установки изложены в работе [97, с. 134-141].

## **2.2 Характеристика и размеры моделей свай**

### **2.2.1 Модели свай плоской формы**

В исследованиях параметры моделей свай, энергетические параметры ударника, характеристики грунта подбирались на основе принципов геометрического и физического моделирования. Масштабы геометрического моделирования и критерии физического моделирования, устанавливались на стадии подготовки экспериментов. Моделирование лабораторных экспериментов осуществлялось соответствие с классической методикой, усовершенствованной для геотехнических исследований [89, с. 1-195]. Сведения о масштабах и критериях моделирования, принятых в исследованиях, приведены в приложении А.

Плоские модели свай изготовлены с учетом геометрического масштаба моделирования, равного 1:15. Модели длиной 33,3 см и толщиной 8 мм изготовлены путем их вырезки из листа ламината на лазерном станке (модель SIGN-1325 китайского производства). Работы выполнены в цеху кафедры «Технология текстильной промышленности и материаловедение» НАО «Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати». На поверхность моделей свай, которая в процессе испытаний контактирует со стеклянной стенкой лотка, выполнена наклейка ворсистого материала. Наличие такого материала на поверхности модели сваи, обеспечивает ее плотный контакт со стеклянной стенкой лотка. Размеры моделей свай приведены в таблице 2.1.

Всего изготовлено одиннадцать моделей свай (рисунок 2.6). Из них девять представляют собой опытные модели пирамидально-призматических свай (далее – ППС), имеющие разную длину пирамидального участка и разные размеры его сечения. В качестве контрольных моделей свай приняты:

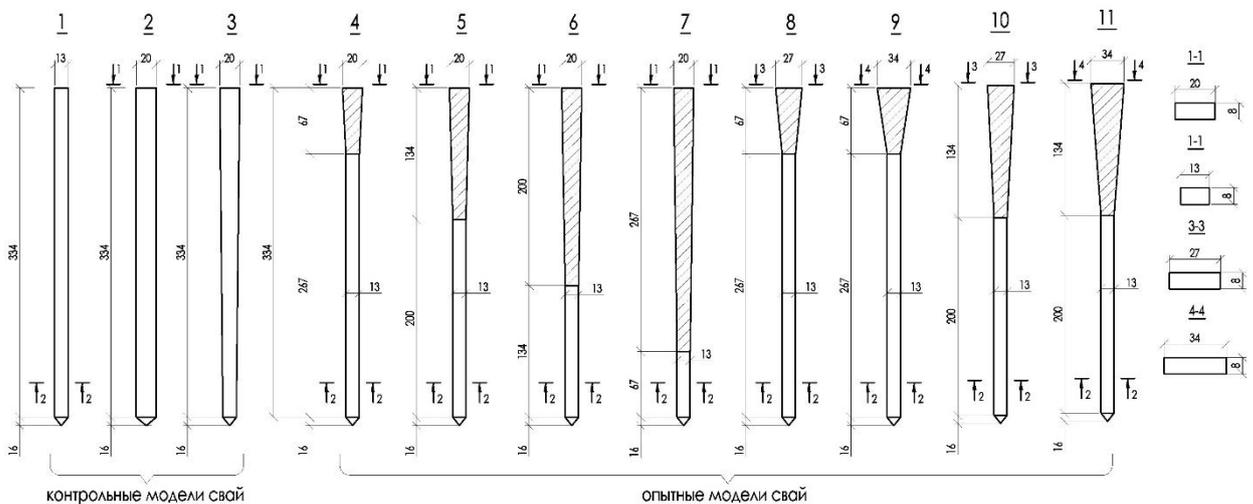
- две модели призматической формы, представляющие собой модели соответствующих свай сечением 20×20 см и 30×30 см;

- одна модель пирамидальной формы, представляющая собой модель пирамидальной сваи с размерами сечения: в верхней части 30×30 см, в нижней части – 20×20 см.

Уклон боковых граней модели пирамидальной сваи к вертикали составил  $i_p = 0,01$ .



а)



б)

Рисунок 2.6 – Общий вид (а) и схемы (б) плоских моделей свай

Таблица 2.1 – Размеры и масса опытных и контрольных моделей свай

Вид модели сваи	Длина ствола, (высота острия), мм	Размеры поперечного сечения ствола, мм	Масса, г
1	2	3	4
Опытные модели: - ППС с размерами сечения поверху 20×8 мм и пирамидальным участком длиной 67 мм;	335 (16)	13×8	

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
- Тоже, с пирамидальным участком длиной 134 мм;			72
- Тоже, с пирамидальным участком длиной 200 мм;			76
- Тоже, с пирамидальным участком длиной 267 мм;			80
- ППС с размерами сечения поверху 27×8 мм и пирамидальным участком длиной 67 мм;			84
- Тоже, с размерами сечения поверху 34×8 мм;			75
- ППС с размерами сечения поверху 27×8 мм и пирамидальным участком длиной 134 мм;			78
- Тоже, с размерами сечения поверху 34×8 мм			82
Контрольные модели:			
- призматическая;	335	13×8	68
- призматическая;	(16)	20×8	90
- пирамидальная.		20×8/13×8	86
Примечание - перед чертой даны размеры поперечного сечения модели в верхней части, после черты – в нижней части.			

### 2.2.2 Маломасштабные модели свай

Модели свай изготовлены методом наплавления (FDM) и распечатаны на 3d принтере (Stratasys Ltd, китайского производства). Расходным материалом является пластик ABS Plus. Геометрический масштаб моделирования принят равным 1:10. Отклонения размеров моделей, допускаемые в технологическом процессе 3d-печати, не превышает 0,02 мм.

Опытные модели ППС 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 принималась 10, 20, 30 и 40 см, а длина их призматического участка соответственно – 40, 30, 20 и 10 см.

В качестве контрольных (сравниваемых) моделей 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  $i_p = 0,01$ . Длина всех моделей принималась одинаковой и составляла 50 см. Общий вид и схемы маломасштабных опытных и контрольных моделей свай представлены на рисунке 2.7.

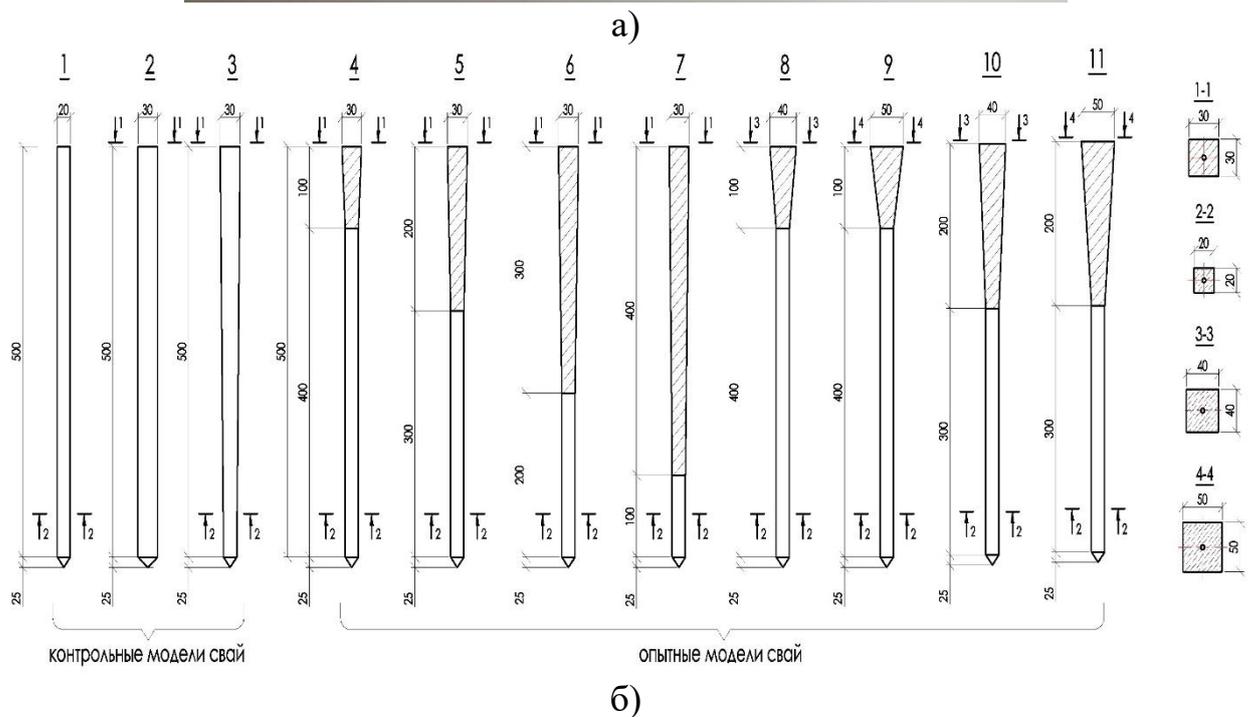


Рисунок 2.7 – Общий вид (а) и схемы (б) маломасштабных моделей свай

Геометрические параметры и масса моделей свай приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Размеры и масса опытных и контрольных маломасштабных моделей свай

Вид модели свай	Длина ствола, (высота острия), мм	Размеры поперечного сечения ствола, мм	Масса, г
1	2	3	4
Опытные модели: - ППС с размерами сечения поверху 30×30 мм и пирамидальным участком длиной 10 см; - Тоже, длиной 20 см;			300 330

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
- Тоже, длиной 30 см;	500 (15)	20×20	360
- Тоже, длиной 40 см;			390
- ППС с размерами сечения попереху 40×40 мм и пирамидальным участком длиной 10 см;			330
- Тоже, с размерами сечения попереху 50×50 мм			360
- ППС с размерами сечения попереху 40×40 и пирамидальным участком длиной 20 см;			360
- Тоже, с размерами сечения попереху 50×50 мм.			390
Контрольные модели:	500 (15)	20×20 30×30 30×30/ 20×20	
- призматическая;			270
- призматическая;			560
- пирамидальная.			420
Примечание - перед чертой даны размеры поперечного сечения модели в верхней части, после черты – в нижней части.			

### 2.2.3 Крупномасштабные модели свай

Для проведения исследований в полевых условиях изготовлены крупномасштабные модели свай. Масштаб моделей принят равным 1:3. Изготовлены модели четырех опытных и трех контрольных (сравниваемых) свай (таблица 2.3).

Опытные модели ППС приняты с пирамидальным участком, длиной от 33,3 см до 133,4 см. В качестве контрольных моделей приняты:

- две модели призматических свай соответственно с размерами сечения 6,7×6,7 см и 10×10 см;

- одна модель пирамидальной сваи с размерами сечения 10×10 см в верхней части и 6,7×6,7 см в нижней части.

Уклон боковых граней модели пирамидальной сваи к стволу равен  $i_p = 0,01$ .

Крупномасштабные модели свай (далее – сваи) изготовлены железобетонными с поперечным армированием ствола и ненапрягаемой продольной арматурой. Порядок и принципы армирования свай приняты с учетом требований стандарта [98]. В качестве продольной арматуры как опытных так и контрольных свай использована стальная арматура периодического профиля диаметром 6 мм. Класс продольной арматуры - А400. Продольные стержни свай собраны в каркас путем их спиральной обмотки стальной проволокой диаметром 3 мм, использованной в качестве поперечной арматуры. Класс поперечной арматуры - Вр-1. Поперечная арматура закреплена к продольным стержням каркаса путем привязки проволокой класса 1,0-О-С (рисунок 2.8, а).



а)



б)

а – арматурные каркасы в опалубке; б – готовые сваи.

Рисунок 2.8 – Образцы арматурных каркасов в опалубке и готовых железобетонных свай

Сваи изготавливались следующим образом. Арматурные каркасы свай укладывались в деревянные опалубки. Для бездефектного извлечения свай из опалубок их внутренняя поверхность обрабатывалась техническим маслом. Размещение арматурного каркаса в опалубке выполнялось с учетом формирования защитного слоя бетона свай необходимой толщины. Для бетонирования свай использовался мелкозернистый бетон. Подбор состава бетона свай осуществлялся с учетом требований стандарта [98, с. 4]. Бетонирование свай сопровождалось вибрационным уплотнением бетонной смеси. Для этого опалубки с арматурным каркасом устанавливались на платформу установки «Грохот КП-109. Затем, по мере заполнения опалубок бетонной смесью, прикладывалось вибрационное воздействие. После набора начальной прочности бетона, сваи извлекались из опалубки и размещались на хранение до достижения необходимой прочности (рисунок 2.8, б). Размеры и вес свай приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Размеры и вес свай

Вид сваи	Длина ствола L (острия), см	Размеры сечения ствола, см	Вес сваи, Н
Опытные сваи: - ППС размерами сечения попереху 10,0×10,0 см и пирамидальным участком 0,2L (33,3 см); - Тоже, длиной 0,4L (66,7 см); - Тоже, длиной 0,6L (100,0 см); - Тоже, длиной 0,8L (133,4).	166,7 (5,0)	6,7×6,7	198,1 212,7 226,3 241,1
Контрольные сваи: - призматическая; - призматическая; - пирамидальная.	166,7 (5,0)	6,7×6,7 10,0×10,0 10,0×10,0/ 6,7×6,7	180,50 386,51 258,0
Примечание - перед чертой указаны размеры поперечного сечения сваи в верхней части, после черты – в нижней части.			

Контроль прочности бетона свай после истечения срока твердения производился путем испытаний контрольных образцов, изготовленных из бетона свай. Контрольные образцы с размерами 100×100×100 мм (рисунок 2.9, а) по составу, технологии изготовления, условиям и срокам хранения соответствовали аналогичным факторам изготовленных свай. Образцы бетона свай испытывались на сжатие при помощи гидравлического пресса П-125 (рисунок 2.9, б, в). Испытания выполнялись в соответствии с требованиями стандарта [99]. Результаты испытаний контрольных образцов приведены в таблице 2.4.



а)

б)

в)

а – формы с бетонной смесью; б и в – образцы после испытания.

Рисунок 2.9 – Контрольные образцы бетона свай и фрагменты их испытаний

Таблица 2.4 – Результаты испытаний контрольных образцов бетона свай

Класс бетона по прочности, МПа	Характеристики образца			Результаты испытания		
	Масса, г	Размеры, см	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность образца, МПа	Средняя прочность образцов, МПа
В15	2179	10×10×10	2179	208,94	19,85	20,82
	2162		2162	208,57	19,81	
	2203		2203	229,29	21,78	

Прочность бетона на сжатие  $R$ , МПа, согласно требованиям стандарта [95], определялась по следующей формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_w, \quad (2.1)$$

где:  $\alpha$  – масштабный коэффициент для приведения прочности испытанного бетона к прочности бетона образца с базовыми размерами, принимаемый равным 0,95 в соответствии с требованиями стандарта [98, с. 4];  $F$  – разрушающая нагрузка, Н;  $A$  – площадь рабочего сечения образца, мм<sup>2</sup>;  $K_w$  – поправочный коэффициент, учитывающий влажность образца в момент испытаний, принимаемый равным 1,0 в соответствии требованиями стандарта [98, с. 6].

Из таблицы 2.4 следует, что по прочности бетон свай соответствует классу В15.

Результаты расчетов несущей способности свай «по материалу» приведены в приложении В диссертационной работы.

## 2.3 Условия и методика исследований

### 2.3.1 Методика исследований послойного деформирования грунта

Эксперименты выполнялись с моделями плоской формы в плоском лотке. В качестве модели грунта в опытах применялся песок средней крупности. Вид

песчаного грунта по гранулометрическому составу и коэффициент его неоднородности устанавливались в соответствии с требованиями стандарта [100]. Зависимость процентного содержания фракций песка от размеров его частиц представлена на рисунке 2.10. Коэффициент неоднородности составил 2,07, что свидетельствует об однородности состава песчаного грунта.

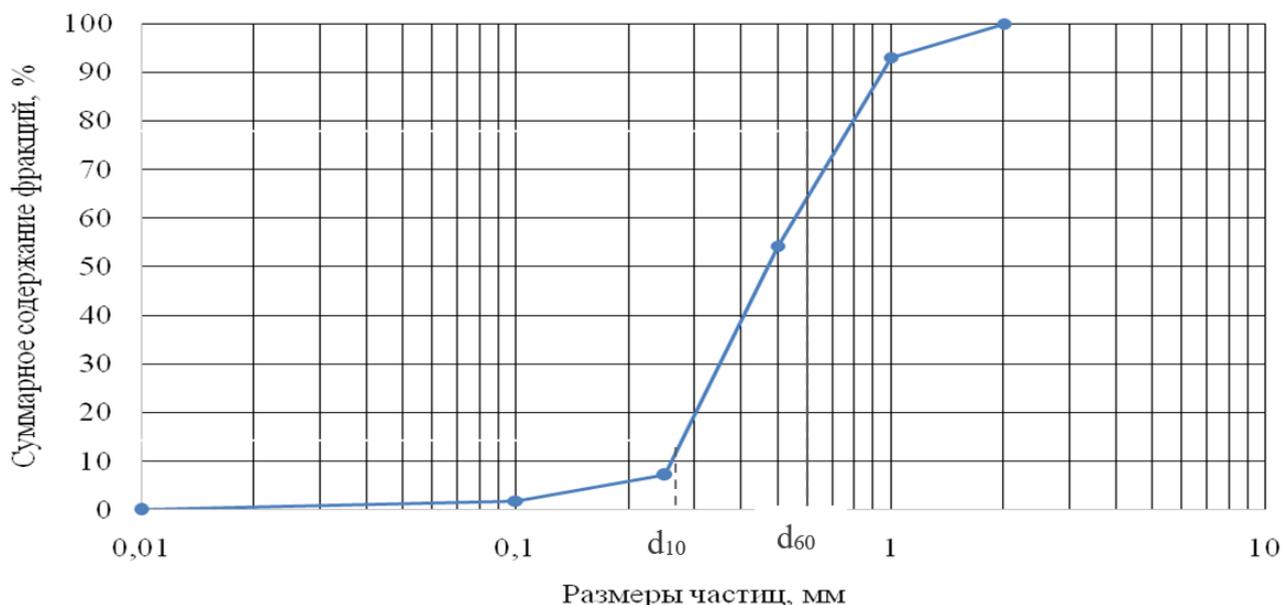


Рисунок 2.10 – Кривая гранулометрического состава песка

Песок в воздушно-сухом состоянии укладывался в лоток послойно. Толщина каждого слоя принималась равной 20 мм. После укладки слой песка подвергался выравниванию и укатке. Границы слоев выделялись цветным сыпучим маркером. Маркер представлял собой порошкообразный краситель желтого цвета, который засыпался поверху каждого уплотненного слоя. Общее количество слоев песка в лотке принято равным 18. Влажность песка  $W$  составила 1,12-1,15%, а плотность  $\rho$  - 1,25-1,33 г/см<sup>3</sup>. Плотностно-влажностные показатели песка устанавливались в соответствии с требованиями стандарта [101].

Модели свай погружались в грунт лотка ударами ударника. Ударник массой 300 г сбрасывался с постоянной высоты 30 см. Модели забивались на глубину 267-270 мм. Максимальная разница между моделями по глубине забивки составила 1,1%. Процесс забивки каждой модели сваи сопровождался регистрацией его остаточного отказа при каждом ударе. Для фиксирования особенностей деформирования слоев песка при забивке модели сваи осуществлялось периодическое фотографирование грунтового напластования со стороны прозрачной стенки лотка. Отклонения (по вертикали и горизонтали) границ слоев песка от первоначального положения устанавливались путем измерения величин их смещений на фотоснимках (рисунок 2.11).

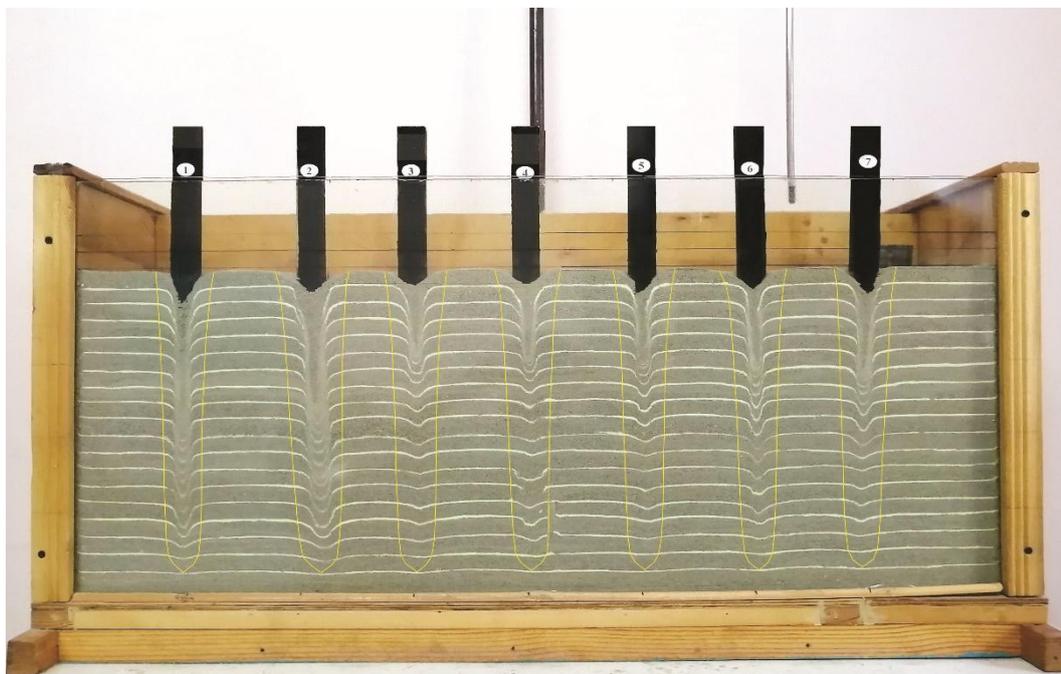


Рисунок 2.11 – Фрагмент забивки моделей свай плоской формы

Исследования по изучению особенностей послойного деформирования грунта при погружении моделей опытных свай включали в себя две серии испытаний:

- серия I – испытания моделей ППС, отличающиеся между собой длиной пирамидального участка (при постоянных размерах поперечного сечения пирамидального участка);

- серия II – испытания моделей ППС с разными размерами верхнего сечения пирамидального участка (при длине пирамидального участка 67 и 134 мм).

### 2.3.2 Грунтовые условия и методика лабораторных исследований

Эксперименты выполнены в пространственном лотке при двух вариантах грунтовых условий. В первом варианте в качестве модели грунта использовался легкий, песчаный суглинок нарушенной структуры, а во втором варианте - песок средней крупности однородного состава, также нарушенной структуры. Виды грунтов установлены в соответствии с требованиями стандарта [100, с. 4].

До укладки в лоток грунты просеивались, очищались от примесей и высушивались. Глинистый грунт просеивался через сито с диаметром отверстий в 2 мм. Укладка грунта производилась ровными слоями с уплотнением каждого слоя путем укатки. Глинистый грунт укладывался в воздушно-сухом состоянии, песчаный грунт – после предварительного увлажнения водой. Толщина уплотненного слоя составляла 10 см. Всего в лотке было устроено 7 грунтовых слоев. Показатели свойств грунтов устанавливались в соответствии с требованиями стандартов [101, с. 2; 102], а также с использованием пенетрационного метода с помощью прибора ПСГ МГ-4. Физико-механические показатели грунтов представлены в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 – 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

Таблица 2.6 – Физико-механические показатели песка

Показатели	Значения
Влажность $W$ , %	9,98-10,32
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,33-1,41
Максимальное сопротивление пенетрации $P_{max}$ , МПа	0,270-0,275
Коэффициент уплотнения $K$	0,81-0,84
Индекс (степень) влажности $I$	0,91-0,93
Модуль деформации $E$ , МПа	15,1-15,9
Угол внутреннего трения $f$ , град	13,0-13,1
Удельное сцепление $c$ , МПа	0,0109-0,0110

Модели свай погружались в грунт лотка ударами ударника (рисунок 2.12). Масса ударника составляла 600 г, а высота ее сбрасывания – 500 мм. Остаточные отказы моделей свай в процессе их забивки устанавливались по измерительной шкале, которая представляла собой миллиметровую бумагу, наклеенную на поверхность модели. Глубина забивки моделей в экспериментах с глинистым грунтом составила 441-447 мм (максимальная разница 1,3%), а в экспериментах с песчаным грунтом – 430-436 мм (максимальная разница 1,4%).

Испытания моделей свай статическими вдавливающей (рисунок 2.13), горизонтальной (рисунок 2.14) и выдергивающей (рисунок 2.15) нагрузками выполнялись с учетом требований стандарта [102, с. 5] и свода правил [103].

Нагрузки к сваям прикладывались ступенями после достижения деформациями необходимого уровня условной стабилизации на каждой ступени нагружения. Вертикальные деформации (осадки) свай при действии вдавливающей нагрузки доводились до значений не менее 40 мм. Горизонтальное нагружение свай производилось до перемещений их головной части не менее чем 10 мм. Выдергивающие же усилия прикладывались к сваям до полного их извлечения из грунта. Вертикальные и горизонтальные деформации моделей свай фиксировались с помощью оттарированного индикатора часового типа ИЧ-10 с точностью до 0,01 мм.



Рисунок 2.12 – Фрагмент забивки модели сваи

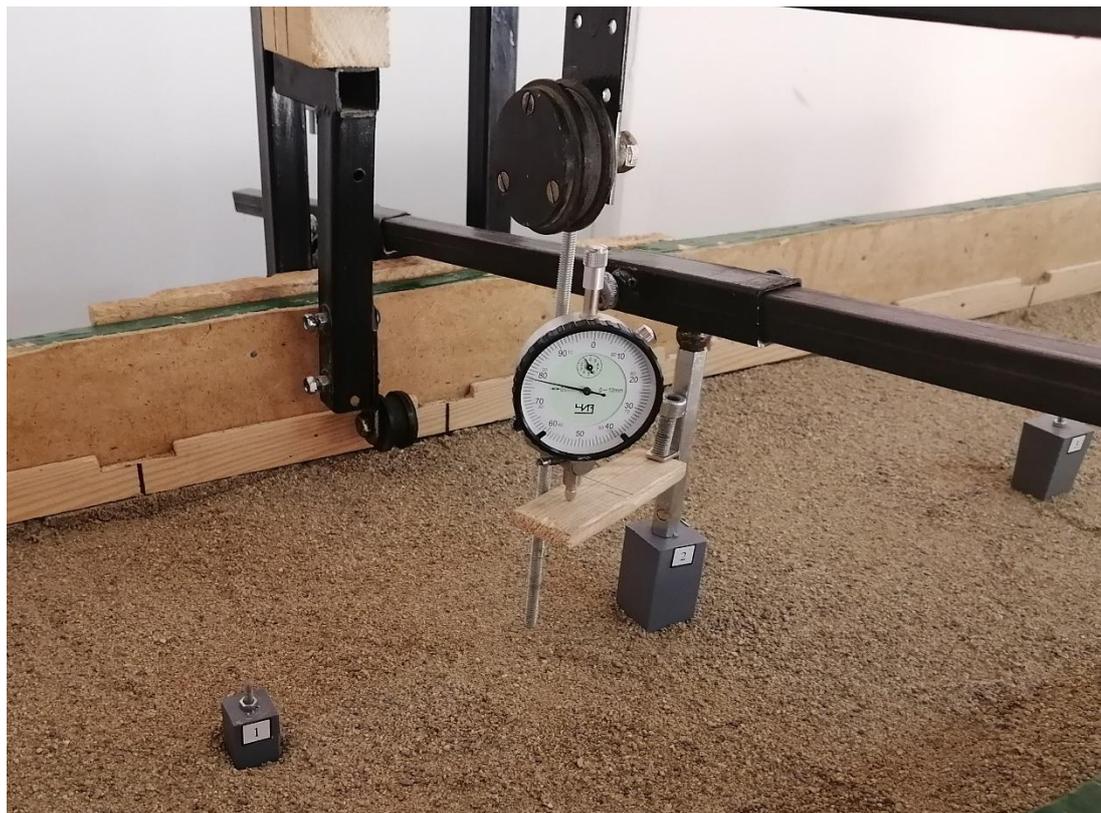


Рисунок 2.13 – Фрагмент и испытания модели сваи на действие вдавливающей нагрузки

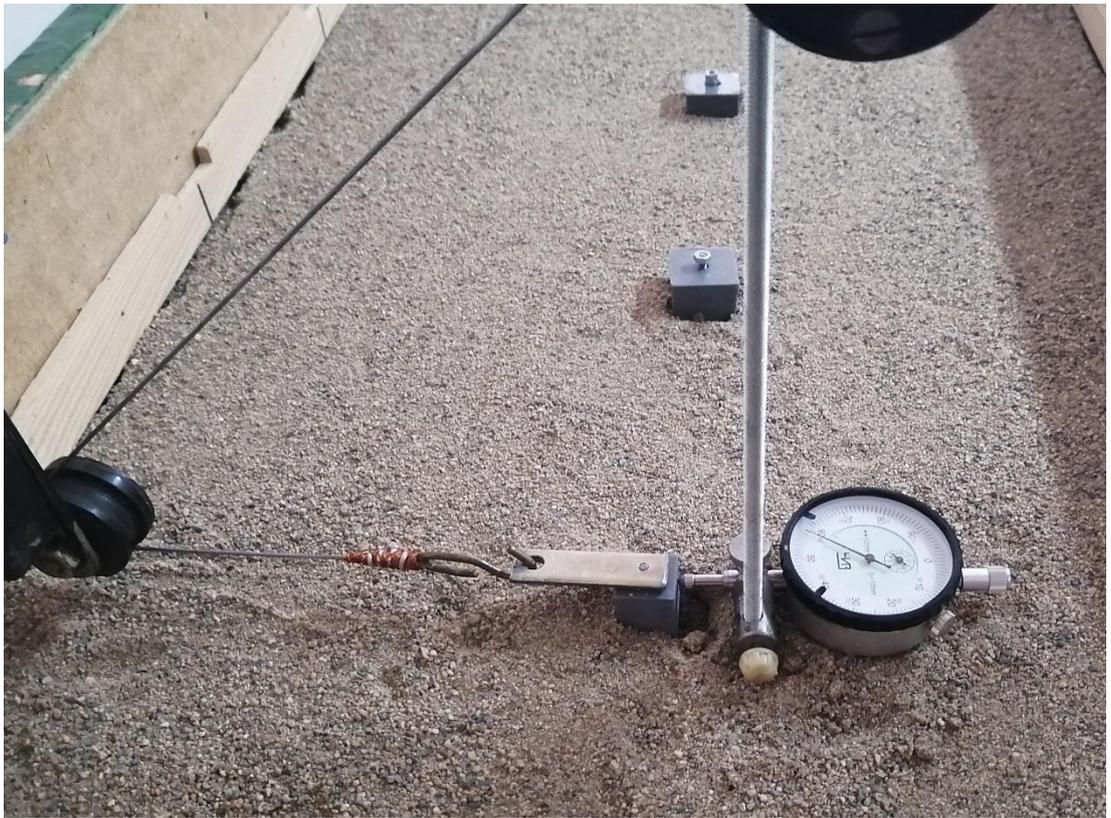


Рисунок 2.14 – Фрагмент испытания модели сваи на действие горизонтальной нагрузки



Рисунок 2.15 – Фрагмент испытания модели сваи на действие выдергивающей нагрузки

Несущая способность моделей свай при действии вдавливающей, поперечной и выдергивающей нагрузок по результатам испытаний устанавливалась в соответствии с требованиями строительных правил [104] по формуле:

$$F_d = \gamma_c \frac{F_{u,n}}{\gamma_g}, \quad (2.2)$$

где:  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы модели сваи, принимаемый равным 1,0;  $F_{u,n}$  – нормативное значение предельного сопротивления модели сваи, принимаемое равным ее наименьшему предельному сопротивлению по результатам испытаний;  $\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту, принимаемый равным 1,0.

Характеристическая величина сопротивления грунта сжатию при вдавливании модели сваи (аварийное характерное сопротивление грунта вдавливанию модели сваи)  $R_{c;k}$  определялась в соответствии с требованиями свода правил [103, с.122 ] как минимальное из двух значений, установленных по следующим формулам:

$$R_{c;k} = [(R_{c;m})_{mean} / \xi_1], \quad (2.3)$$

$$R_{c;k} = [(R_{c;m})_{min} / \xi_2], \quad (2.4)$$

где:  $R_{c;m}$  - измеренная величина  $R_c$  (предельного сопротивления грунта сжатию), кН;  $(R_{c;m})_{min}$  - минимальное значение сопротивления  $R_{c;m}$ , кН;  $(R_{c;m})_{mean}$  - среднее значение сопротивления  $R_{c;m}$ ;  $\xi_1$  и  $\xi_2$  - поправочные коэффициенты, принимаемые в зависимости от количества испытанных моделей свай.

Характеристическая величина сопротивления выдергиванию модели сваи  $R_{t;k}$  определялась в соответствии с требованиями свода правил [100, с. 2] как минимальное из двух значений, установленных по формулам:

$$R_{t;k} = [(R_{t,m})_{mean} / \xi_1], \quad (2.5)$$

$$R_{t;k} = [(R_{t,m})_{min} / \xi_2], \quad (2.6)$$

где:  $R_{t,m}$  - измеренная величина  $R_t$  (предельного сопротивления модели сваи выдергиванию), кН;  $(R_{t,m})_{min}$  - минимальное значение сопротивления  $R_{t,m}$ , кН;  $(R_{t,m})_{mean}$  - среднее значение сопротивления  $R_{t,m}$ ;  $\xi_1, \xi_2$  - поправочные

коэффициенты, принимаемые в зависимости от количества испытанных моделей свай.

Лабораторные исследования, проводимые в постространственном лотке, включали в себя три серии испытаний:

- серия I – испытания моделей ППС, отличающихся между собой длиной пирамидального участка (при постоянных размерах поперечного сечения пирамидального участка);

- серия II – испытания моделей ППС с разными размерами верхнего сечения пирамидального участка (при длине пирамидального участка 10 см);

- серия III – испытания моделей ППС с разными размерами верхнего сечения пирамидального участка (при длине пирамидального участка 20 см).

При обработке результатов исследований для удобства анализа приняты условные сокращения в наименованиях моделей свай (таблица 2.7):

Таблица 2.7 - Условные сокращения в наименованиях моделей свай

Условное сокращение	Наименование модели
ППС-1	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 30×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 10 см
ППС-2	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 30×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 20 см
ППС-3	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 30×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 30 см
ППС-4	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 30×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 40 см
ППС-5	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 40×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 10 см
ППС-6	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 40×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 20 см
ППС-7	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 50×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 10 см
ППС-8	Модель пирамидально-призматической сваи с размерами сечения 50×30/20×20 мм с пирамидальным участком длиной 20 см
ПрС-1	Модель призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм
ПрС-2	Модель призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм
ПС-1	Модель пирамидальной сваи с размерами сечения поверху 30×30 мм и понизу 20×20 мм

### 2.3.3 Грунтовые условия и методика полевых испытаний

Полевые испытания свай проводились на территории производственной базы Южно-Казахстанского филиала АО «КазНИИСА» в предварительно подготовленных грунтовых условиях. Размеры экспериментальной площадки в плане составляли 6,0×3,0 м. Подготовка площадки состояла в отрывке котлована глубиной 3,0 м, выемке крупнообломочного грунта и в послойной засыпке, выравнивании и уплотнении в котловане глинистого грунта - супеси. Физико-механические показатели грунта площадки устанавливались в соответствии с

требованиями стандартов [100, с. 4; 101, с. 2] и пенетрационным методом с помощью прибора ПСГ МГ-4 (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Физико-механические показатели супеси

Показатели	Значения
Влажность, $W$ , %	12,16-13,58
Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1400-1670
Влажность на границе текучести, $W_m$ , %	15,54-17,76
Влажность на границе раскатывания, $W_p$ , %	8,66-10,08
Число пластичности, $I_p$	6,88-6,90
Показатель текучести, $I_L$	0,51
Максимальное сопротивление пенетрации, $P_{max}$ , МПа	1,47-1,62
Коэффициент уплотнения, $K$	0,89-0,94
Индекс (степень) влажности, $I$	0,75-0,84
Модуль деформации, $E$ , МПа	31,6-33,6
Угол внутреннего трения, $f$ , град	17,1-17,6
Удельное сцепление, $c$ , МПа	0,018-0,019

Погружение свай в грунт площадки производилось с соблюдением требований стандарта [105]. Забивка свай выполнялась ударником при постоянной энергии каждого удара. Ударник массой 40 кг сбрасывался с высоты 0,5 м (рисунок 2.16, а). Масса ударника и высота его сбрасывания устанавливались в соответствии с методикой моделирования процесса забивки свай, разработанной Бекбасаровым И.И. и представленной в работе [106]. В последующем принятые расчетные энергетические параметры ударника уточнялись путем пробной забивки свай до начала экспериментов. Глубина погружения свай составила 141,2-145,6 см (максимальная разница 3,02%).

Испытания свай статическими нагрузками проводились в соответствии свода правил [102, с. 2].

Ступенчато-возрастающее нагружение свай статической вдавливающей нагрузкой (рисунок 2.16, б) выполнялось с обеспечением требуемой условной стабилизации их осадок во времени. Испытания свай проводились до достижения ими осадок не менее 40 мм.

Испытания свай на действие горизонтальной нагрузки (рисунок 2.16, в) проводились до достижения перемещений их головной части не менее, чем 10 мм. Очередные ступени горизонтальной нагрузки прикладывались к свае после достижения перемещениями ее головы условной стабилизации.

Выдергивающая нагрузка (рисунок 2.16, г) в ступенчато-возрастающем режиме прикладывались к сваям до наступления фазы «срыва», т.е. до преодоления сопротивления грунта.

Несущая способность свай при действии статических нагрузок устанавливалась в соответствии со сводом правил [104, с. 10] по формуле (2.2). Характеристические величины сопротивлений грунта вдавливанию и выдергиванию свай устанавливались с учетом требований свода правил [103, с. 28] соответственно по формулам (2.3)-(2.4) и (2.5)-(2.6).

Вертикальные деформации и горизонтальные перемещения свай в процессе их статических испытаний измерялись при помощи индикатора ИЧ-10 с точностью до 0,01 мм.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.16 – Фрагменты забивки свай (а) и их испытаний на действие вдавливающей (б), горизонтальной (в) и выдергивающей (г) нагрузок

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПИРАМИДАЛЬНО-ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

#### 3.1 Особенности деформируемости грунта при забивке моделей

Результаты исследований, направленные на изучение особенностей формирования и изменения деформированной зоны грунта при забивке моделей ППС, представлены на рисунках 3.1 и 3.2, а также в таблицах 3.1-3.4.

Таблица 3.1 – Результаты забивки плоских моделей

Вид модели сваи	Полная энергия ударов, затраченная на забивку $E$ , Дж (количество ударов)	Глубина погружения $L_p$ , мм
I серия испытаний		
Опытные модели: Модель ППС с размерами сечения 20×8/13×8 мм и пирамидальным участком длиной 67 мм	54,74 (62)	335,0
Тоже, длиной 134 мм	56,50 (64)	334,5
Тоже, длиной 200 мм	58,78 (66)	335,0
Тоже, длиной 267 мм	60,04 (68)	335,0
Контрольные модели: Модель призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм	52,98 (60)	334,5
Тоже, с размерами сечения 20×8 мм	70,64 (80)	335,0
Модель пирамидальной сваи с размерами сечения поверху 20×8 мм и понизу 13×8 мм	61,81 (70)	334,5
II серия испытаний		
Опытные модели: Модель ППС с размерами сечения 20×8/13×8 мм и пирамидальным участком длиной 67 мм	52,98 (60)	335,0
Тоже, с размерами сечения 27×8/13×8	56,50 (64)	334,5
Тоже, с размерами сечения 34×8/13×8	60,04 (68)	335,0
Модель ППС с размерами сечения поверху 20×8 мм и пирамидальным участком длиной 134 мм	54,74 (62)	335,0
Тоже, с размерами сечения 27×8/13×8	58,78 (66)	334,5
Тоже, с размерами сечения 34×8/13×8	61,81 (70)	335,0
Контрольные модели: Модель призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм	51,21 (58)	334,5
Тоже, с размерами сечения 20×8 мм	70,64 (80)	335,0
Примечание - перед чертой указаны размеры сечения модели пирамидального участка ППС в верхней части, после черты – в нижней части.		

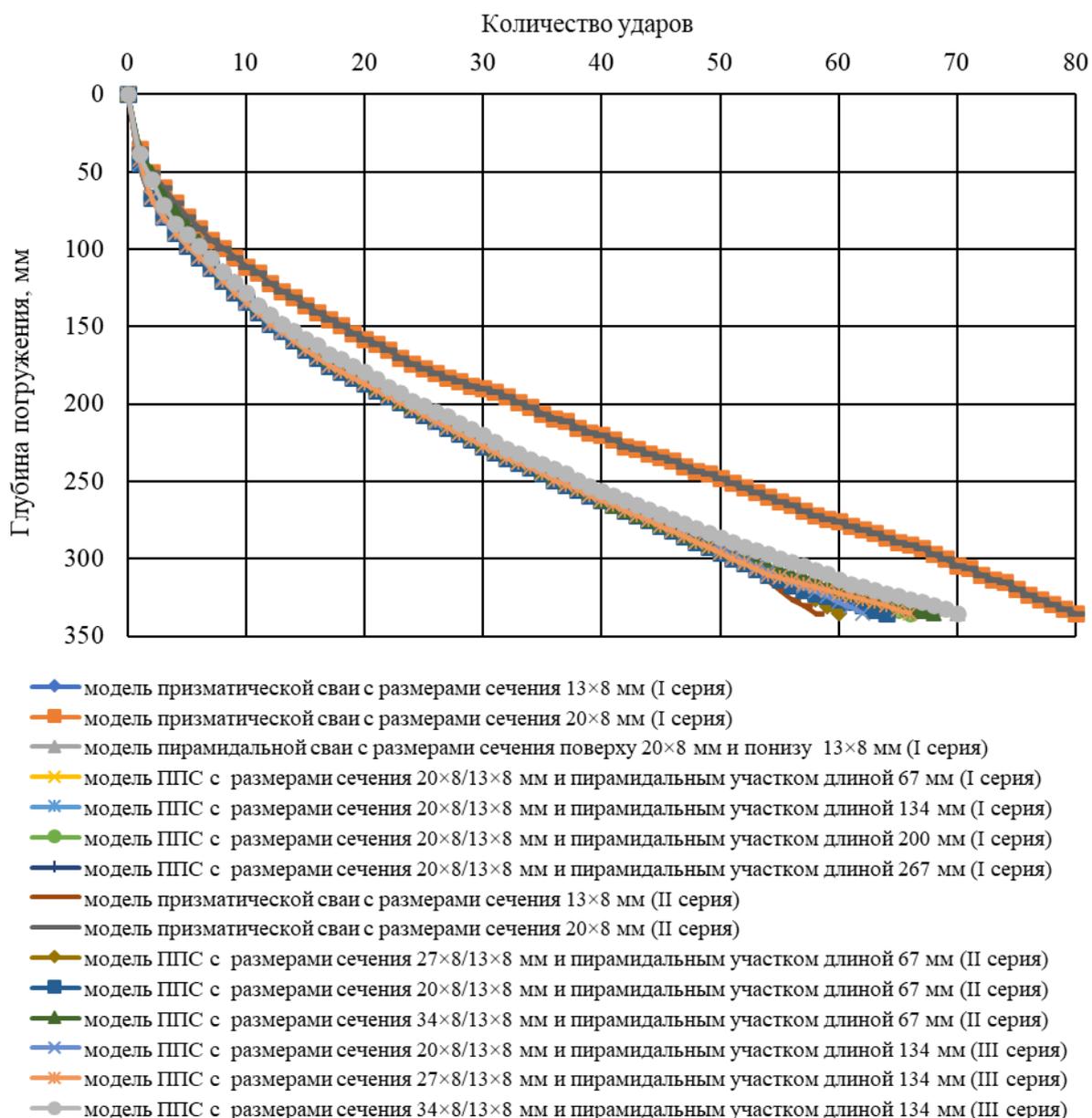


Рисунок 3.1 – Зависимость количества ударов ударника от глубины погружения плоских моделей свай

Оценка сравнительной энергоемкости забивки плоских моделей ППС производилась по коэффициенту относительной энергоемкости забивки  $J_3$ , определяемому по формуле:

$$J_3 = \frac{E^o}{E^k}, \quad (3.1)$$

где:  $E^o$  - полная потенциальная энергия, затраченная на погружение опытной модели свай, Дж;  $E^k$  - полная потенциальная энергия, затраченная на погружение модели контрольной свай, Дж.

Значения коэффициентов относительной энергоемкости забивки  $J_3$  моделей свай для I и II серий испытаний приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения коэффициентов относительной энергоемкости забивки  $J_{э}$  плоских моделей ППС

Вид опытных моделей свай	Значения коэффициентов относительной энергоемкости забивки опытных моделей свай		
	$J_{э1}$	$J_{э2}$	$J_{э3}$
I серии испытаний			
Модель ППС с размерами сечения 20×8/13×8 мм и пирамидальным участком длиной 67 мм	1,03	0,78	0,90
Тоже, длиной 134мм	1,07	0,80	0,91
Тоже, длиной 200мм	1,11	0,83	0,95
Тоже, длиной 267 мм	1,13	0,85	0,97
II серии испытаний			
Модель ППС с размерами сечения поверху 20×8/13×8 мм и пирамидальным участком длиной 67 мм	1,03	0,75	-
Тоже, с размерами сечения 27×8/13×8	1,10	0,80	-
Тоже, с размерами сечения 34×8/13×8	1,17	0,85	-
Модель ППС с размерами сечения 20×8/13×8 мм и пирамидальным участком длиной 134 мм	1,07	0,78	-
Тоже, с размерами сечения 27×8/13×8	1,15	0,83	-
Тоже, с размерами сечения 34×8/13×8	1,21	0,87	-
<p>Примечания</p> <p>1 <math>J_{э1}</math>, <math>J_{э2}</math> и <math>J_{э3}</math> – коэффициенты, относящиеся соответственно к модели свай призматической формы с размерами сечения 13×8 мм, модели свай призматической формы с размерами сечения 20×8 мм и модели свай пирамидальной формы;</p> <p>2 Перед чертой указаны размеры сечения модели пирамидального участка ППС в верхней части, после черты – в нижней части.</p>			

Результаты экспериментов (рисунок 3.1, таблицы 3.1 и 3.2) позволяют выявить следующие особенности забивки плоских моделей ППС:

- энергетические затраты на забивку моделей ППС в зависимости от длины пирамидального участка могут быть как больше в 1,03-1,13 раза, так и на 3,0-22,0% меньше, чем на забивку призматических и пирамидальной свай (при их одинаковой глубине забивки);

- с увеличением размеров сечения верхней части пирамидального участка моделей ППС энергетические затраты на их забивку могут быть как в 1,03-1,21 раза больше, так и на 13,0-25,0% меньше, чем на забивку призматической модели свай (при их одинаковой глубине забивки).

Эксперименты по забивке плоских моделей показали существенное деформирование грунта вокруг ствола моделей ППС. Изменения горизонтальных изолиний слоев, представленные на рисунке 3.2, свидетельствуют об их перемещении по направлению забивки моделей свай. Ширина деформируемой зоны грунта вокруг свай, в опытах (на уровне слоев массива), принята как расстояние между двумя крайними точками, с которых начинался изгиб изолиний. В целом деформированная зона вокруг модели свай включает в себя грунт,

уплотненный вдоль ее боковой поверхности и под острием. В таблицах 3.3 и 3.4 приведены сведения о ширине деформированной зоны грунта на границах каждого однородного слоя после забивки моделей свай для I-ой и II-ой серии испытаний.

Таблица 3.3 – Сведения о ширине деформированной зоны грунта после забивки моделей (I серия испытаний)

Расстояние до границы слоя, см	Ширина деформированной зоны грунта после забивки моделей, мм						
	модель ППС с размерами сечения 20×8/13×8 мм и длиной пирамидального участка, мм				модель призматической сваи (13×8 мм)	модель призматической сваи (20×8 мм)	модель пирамидальной сваи (20×8/13×8 мм)
	67	134	200	267			
0	65	69	71	73	56	81	68
2	57	63	65	67	52	73	64
4	53	58	60	64	49	70	59
6	50	54	56	59	47	68	56
8	48	52	54	57	44	65	52
10	46	50	53	55	43	63	51
12	44	48	49	53	42	60	49
14	43	45	48	50	40	59	48
16	42	44	47	48	39	58	46
18	41	44	46	46	38	57	45
20	40	43	43	45	37	56	44
22	39	42	43	44	37	55	44
24	38	41	42	43	37	53	43
26	37	40	41	42	36	52	43
28	36	39	40	41	36	50	42
30	35	37	38	39	35	47	40
32	33	35	37	38	33	43	38
34	32	33	33	34	29	38	33

Анализ данных, представленных в таблице 3.3 и на рисунке 3.2, (а) (относящихся к I серии испытаний), показывает, что ширина деформированной зоны грунта вокруг моделей ППС на уровне поверхности грунта:

- в 1,16-1,30 раза больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм;

- в 1,11-1,25 раза меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×8 мм;

- в 1,01-1,07 раза больше, чем у модели пирамидальной сваи.

На уровне острия моделей свай ширина деформированной зоны грунта вокруг моделей ППС:

- в 1,10-1,17 раза больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм;

- в 1,12-1,19 раза меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×8 мм;

- в 1,05 раза меньше, и в 1,03 раза больше, чем у модели пирамидальной сваи.

Увеличение длины пирамидального участка моделей ППС в 2-4 раза сопровождается увеличением ширины деформированной зоны грунта в их верхней части в 1,03-1,12 раза, а в нижней части - в 1,03-1,06 раза.

Из рисунка 3.2 (а) видно, что продольная форма зон деформирования грунта вокруг моделей ППС близка к конусообразной форме. Причем ее близость к конусообразной форме, тем выше, чем длиннее ее пирамидальный участок. Конусообразная форма деформируемой зоны грунта характерна и для процесса забивки модели пирамидальной сваи. Для моделей призматических свай форма деформируемой зоны грунта в продольном сечении традиционно близка к цилиндрической форме.

Таблица 3.4 – Сведения о ширине деформированной зоны грунта после забивки моделей (II серия испытаний)

Расстояние до границы слоя, см	Ширина деформированной зоны грунта после забивки моделей, мм							
	модель ППС с пирамидальным участком 67 мм и размерами сечений, мм			модель ППС с пирамидальным участком 134 мм и размерами сечений, мм			модель призматической сваи (13×8 мм)	модель призматической сваи (20×8 мм)
	20×8/ 13×8	27×8/ 13×8	34×8/ 13×8	20×8/ 13×8	27×8/ 13×8	34×8/ 13×8		
0	66	71	75	74	80	84	57	79
2	62	69	71	70	77	81	54	75
4	60	66	68	66	75	79	52	74
6	58	64	66	65	72	76	50	72
8	56	62	64	63	69	73	48	70
10	55	60	62	60	67	71	47	68
12	54	58	59	57	64	67	46	65
14	53	57	58	55	59	63	45	65
16	51	54	55	53	56	59	44	62
18	49	51	53	51	50	52	42	60
20	47	49	51	48	44	47	42	58
22	45	47	49	46	41	44	40	57
24	43	45	47	44	40	41	39	55
26	39	43	45	41	36	38	37	52
28	37	41	43	39	35	36	35	49
30	35	38	41	37	35	35	33	45
32	33	35	37	35	33	34	31	40
34	29	30	31	31	30	31	29	35

Из анализа данных, представленных в таблице 3.4 и на рисунке 3.2 (б) (относящихся ко II серии испытаний) следует, что ширина деформированной

зоны грунта вокруг моделей ППС с длиной пирамидального участка 67 мм (на уровне поверхности грунта):

- в 1,16-1,32 раза больше, чем у призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм;

- в 1,05-1,20 раза меньше, чем у призматической сваи с размерами сечения 20×8 мм.

На уровне острия моделей свай ширина деформированной зоны вокруг моделей ППС с длиной пирамидального участка длиной 67 мм:

- в 1,03-1,07 раза больше, чем у призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм;

- в 1,13-1,21 раза меньше, чем у призматической сваи с размерами сечения 20×8 мм.

Ширина деформированной зоны грунта вокруг моделей ППС с длиной пирамидального участка 134 мм (на уровне поверхности грунта) в 1,30-1,47 раза больше, чем у призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм, а по сравнению с моделью призматической сваи с размерами сечения 20×8 мм она как в 1,07 раза больше, так и в 1,06 раза меньше.

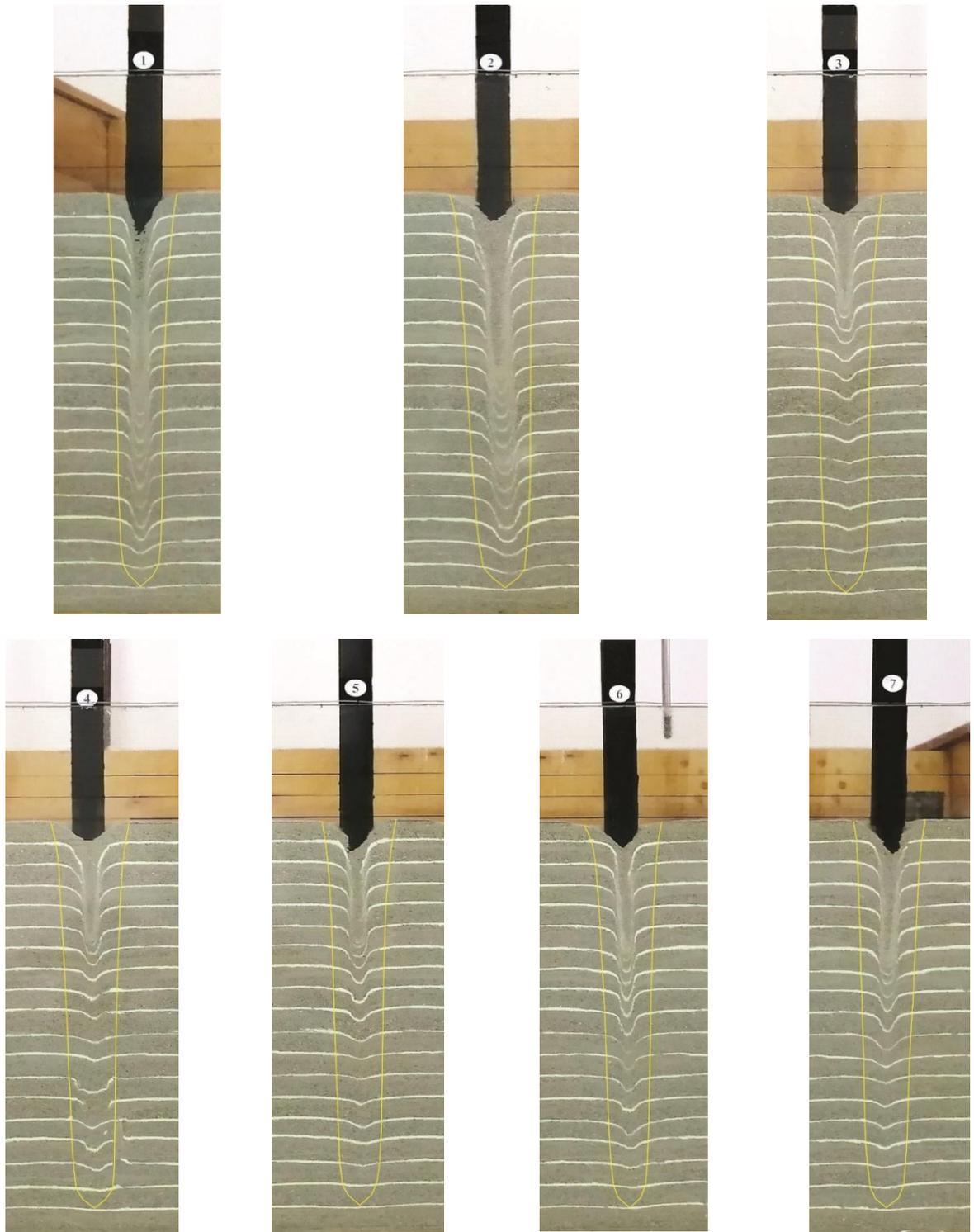
На уровне острия моделей свай ширина зоны деформированной грунта вокруг моделей ППС с длиной пирамидального участка 134 мм:

- в 1,03-1,07 раза больше, чем у призматической сваи с размерами сечения 13×8 мм;

- в 1,13-1,17 раза меньше, чем у призматической сваи с размерами сечения 20×8 мм.

Увеличение размеров сечения верхней части пирамидального участка вызывает рост ширины деформированной зоны грунта вокруг моделей ППС. Так для моделей ППС с длиной пирамидального участка 67 мм увеличение размеров сечения верхней части их пирамидального участка в 1,35-1,70 сопровождается ростом ширины деформированной зоны грунта в 1,06-1,14 раза, а для моделей ППС с длиной пирамидального участка 134 мм этот прирост составляет 5,0-13,0%.

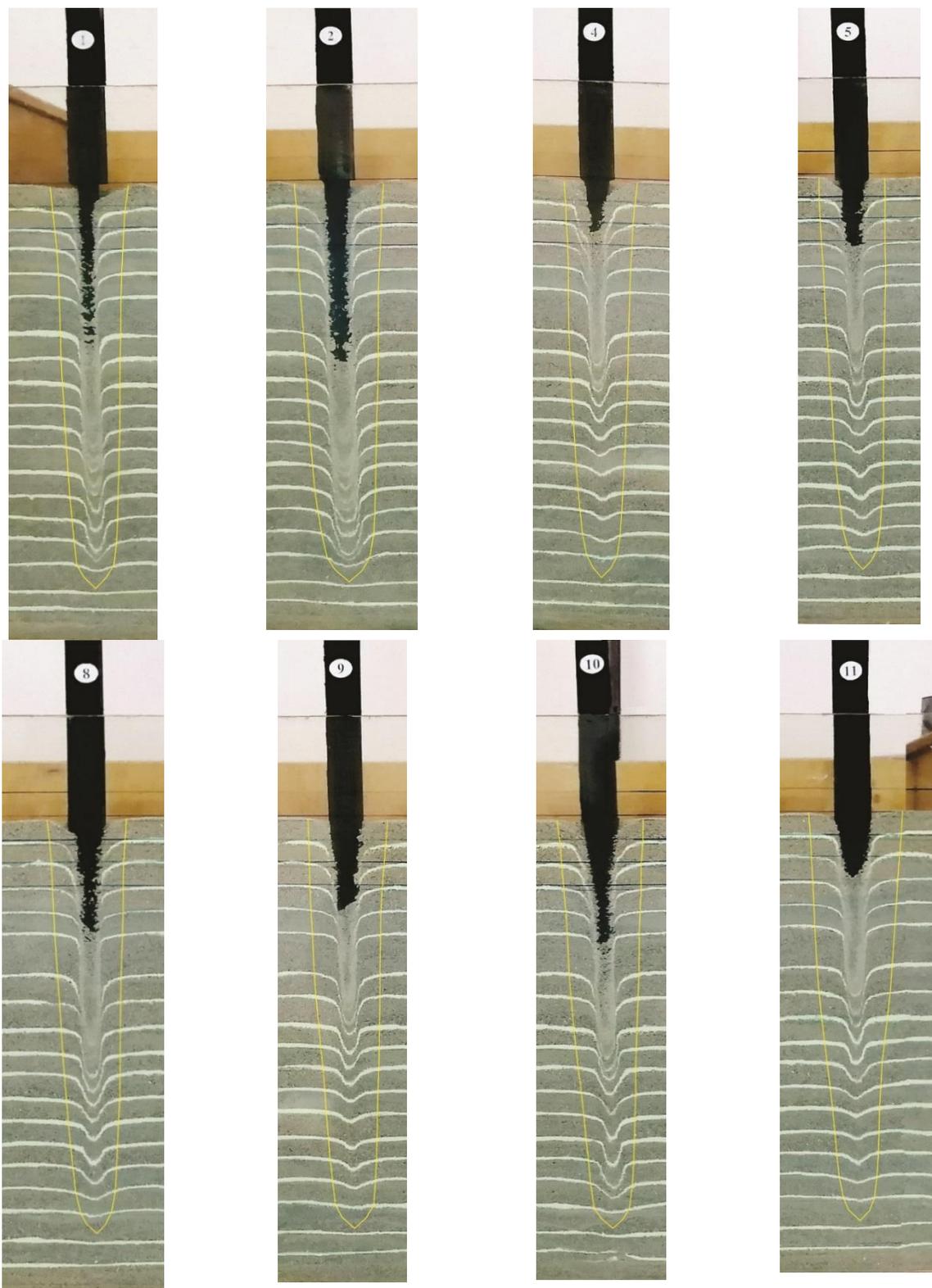
Из рисунка 3.2 (б) видно, что продольная форма зон деформирования грунта вокруг моделей ППС с увеличением размеров верха их пирамидального участка несколько расширяется в верхней части, но при этом ее конусообразный вид сохраняется.



а)

а – I серия испытаний. 1 – модель призматической сваи с размерами сечения  $13 \times 8$  мм; 2 - модель призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 8$  мм; 3 – модель пирамидальной сваи с размерами сечения поверху  $20 \times 8$  мм и понизу сечения  $13 \times 8$  мм; 4 – модель ППС с размерами сечения  $20 \times 8 / 13 \times 8$  мм и пирамидальным участком длиной 67 мм; 5 - тоже, длиной 134 мм; 6 - тоже, длиной 200 мм; 7 - тоже, длиной 267 мм.

Рисунок 3.2 – Фрагменты зон деформирования грунта от забивки моделей свай,  
лист 1



б)

б - II серия испытаний. 1 - модель призматической сваи с размерами сечения  $13 \times 8$  мм; 2 - модель призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 8$  мм; 3 – модель ППС с размерами сечения  $20 \times 8 / 13 \times 8$  мм и пирамидальным участком длиной 67 мм; 4 - тоже, с размерами сечения  $27 \times 8$  мм; 5 - тоже, с размерами сечения  $34 \times 8$  мм; 6 – модель ППС с размерами сечения  $20 \times 8 / 13 \times 8$  мм и пирамидальным участком длиной 134 мм; 7 - тоже, с размерами сечения  $27 \times 8$  мм; 8 - тоже, с размерами сечения  $34 \times 8$  мм.

Рисунок 3.2, лист 2

Обработка результатов исследований, представленных в таблице 3.3 относительно размера сечения (d) верха пирамидального участка моделей ППС позволяет получить следующие величины ширины зоны деформирования грунта вокруг модели ППС:

- 3,25d при длине пирамидального участка 67 мм;
- 3,45d тоже при длине - 134 мм;
- 3,55d тоже при длине - 200 мм;
- 3,65d тоже при длине - 267 мм.

Учитывая эти данные минимальные расстояния между ППС (с размерами сечения 300×300 мм), рекомендуется принимать:

- 3,5d при длине пирамидального участка 1 и 2 м;
- 4,0d тоже при длине – 3 и 4 м.

Из таблицы 3.4 ширину зоны деформирования грунта вокруг моделей ППС относительно размера верха сечения (d) их пирамидального участка можно представить в виде:

- а) для модели с длиной пирамидального участка 67 мм:
  - 2,63d тоже при размерах сечения - 27×8 мм;
  - 2,20d тоже при размерах сечения - 34×8 мм;
- б) модель с длиной пирамидального участка 134 мм:
  - 2,96d тоже при размерах сечения - 27×8 мм;
  - 2,47d тоже при размерах сечения - 34×8 мм.

Обобщая полученные результаты, минимальные расстояния между ППС при длине пирамидального участка 1-2 м и размерах его сечения поверху 400×400 мм и 500×500 мм, рекомендуется принимать равными 3,0d.

Приведенные рекомендации по установлению минимальных расстояний между ППС (в осях) предлагается назначать при использовании рассматриваемых свай в составе фундаментов зданий и сооружений гидротехнических объектов.

## **3.2 Лабораторные исследования погружаемости моделей свай и их сопротивляемости действию статических нагрузок**

### **3.2.1 Погружаемость и энергоемкость забивки моделей свай**

Погружаемость и энергоемкость забивки опытных моделей свай в лабораторных условиях оценивалась по следующим показателям:

- количеству ударов ударника, затраченных на забивку в грунт модели сваи до требуемой глубины;
- удельной энергоемкости ( $E_v$ ), определяемой по формуле:

$$E_v = \frac{E}{V}, \quad (3.2)$$

- коэффициенту относительной энергоемкости забивки модели сваи ( $J_3$ ), определяемому в соответствии с формулой (3.1).

Перечисленные показатели, глубина забивки и объем погруженной части моделей свай представлены в таблицах 3.5 и 3.6. Ходограммы погружения моделей свай приведены на рисунках 3.3-3.7.

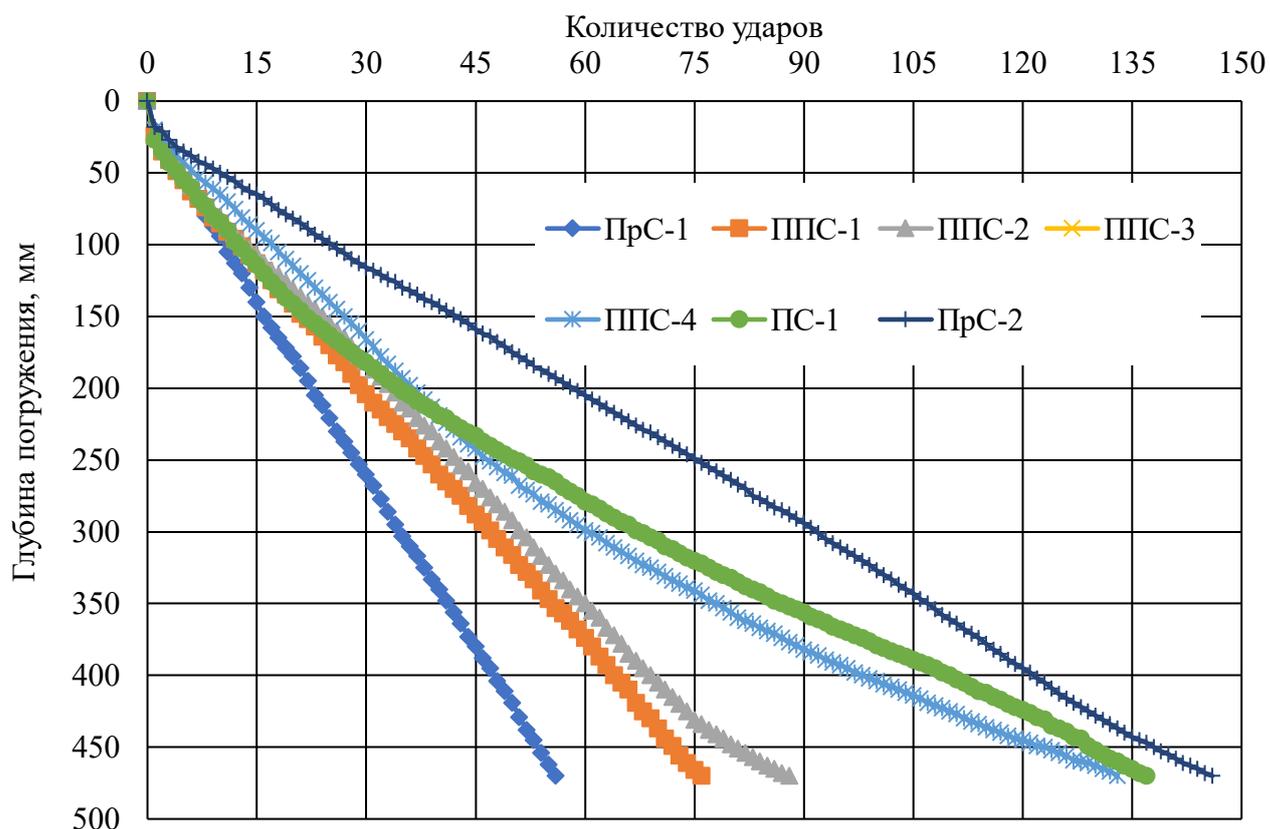


Рисунок 3.3 – Зависимость глубины погружения моделей свай от количества ударов (I серия испытаний в глинистом грунте)

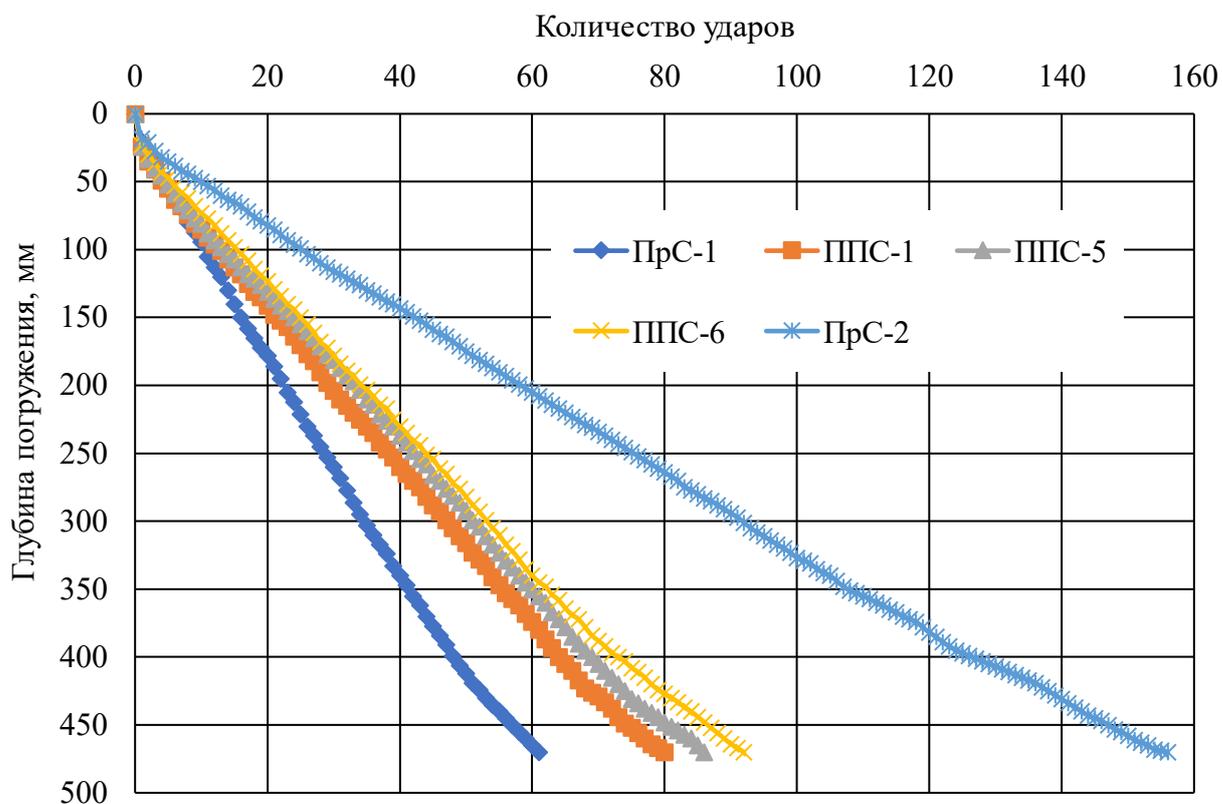


Рисунок 3.4 – Зависимость глубины погружения моделей свай от количества ударов (II серия испытаний в глинистом грунте)

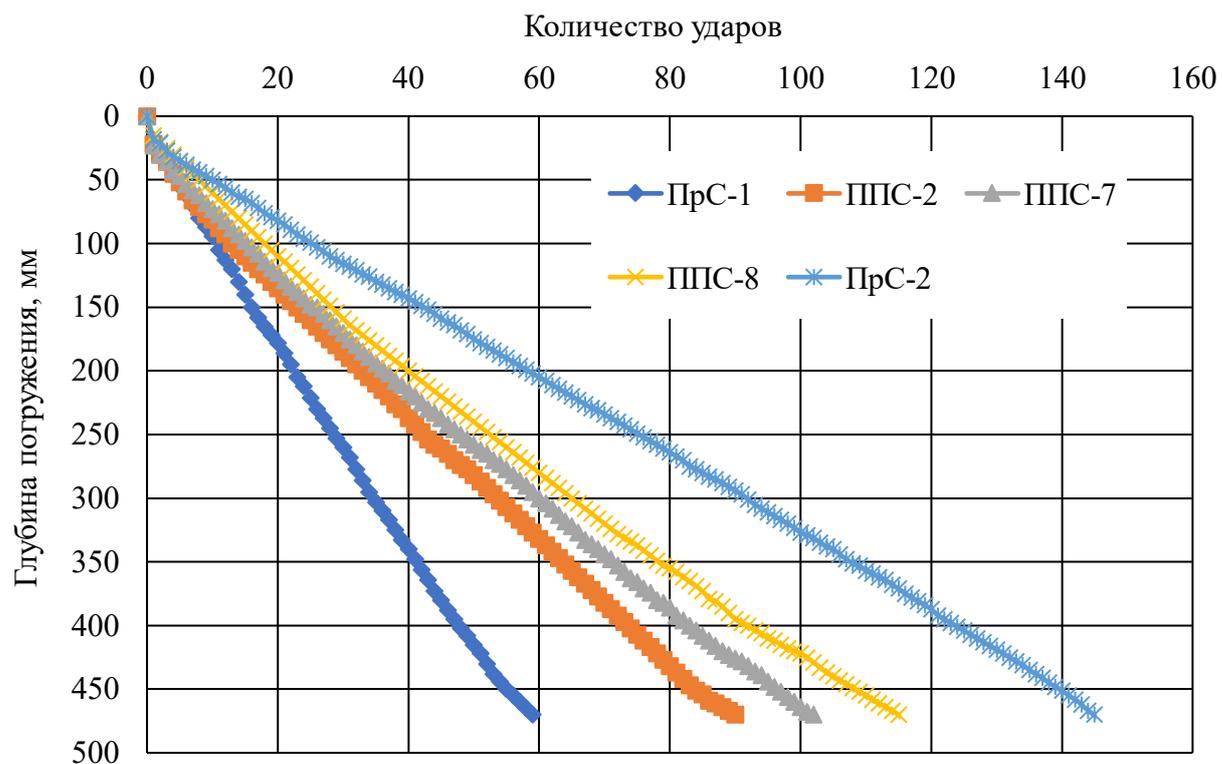


Рисунок 3.5– Зависимость глубины погружения моделей свай от количества ударов (III серия испытаний в глинистом грунте)

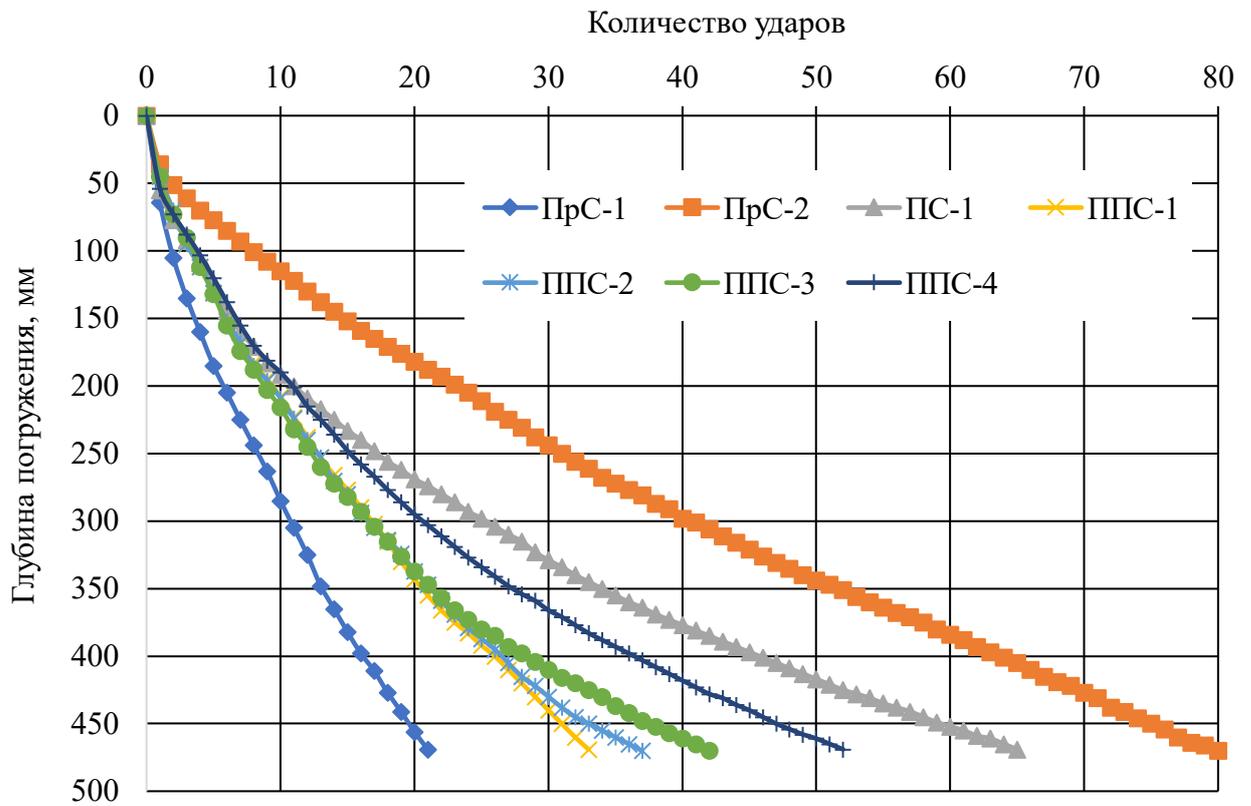


Рисунок 3.6 – Зависимость глубины погружения моделей свай от количества ударов (I серия испытаний в песчаном грунте)

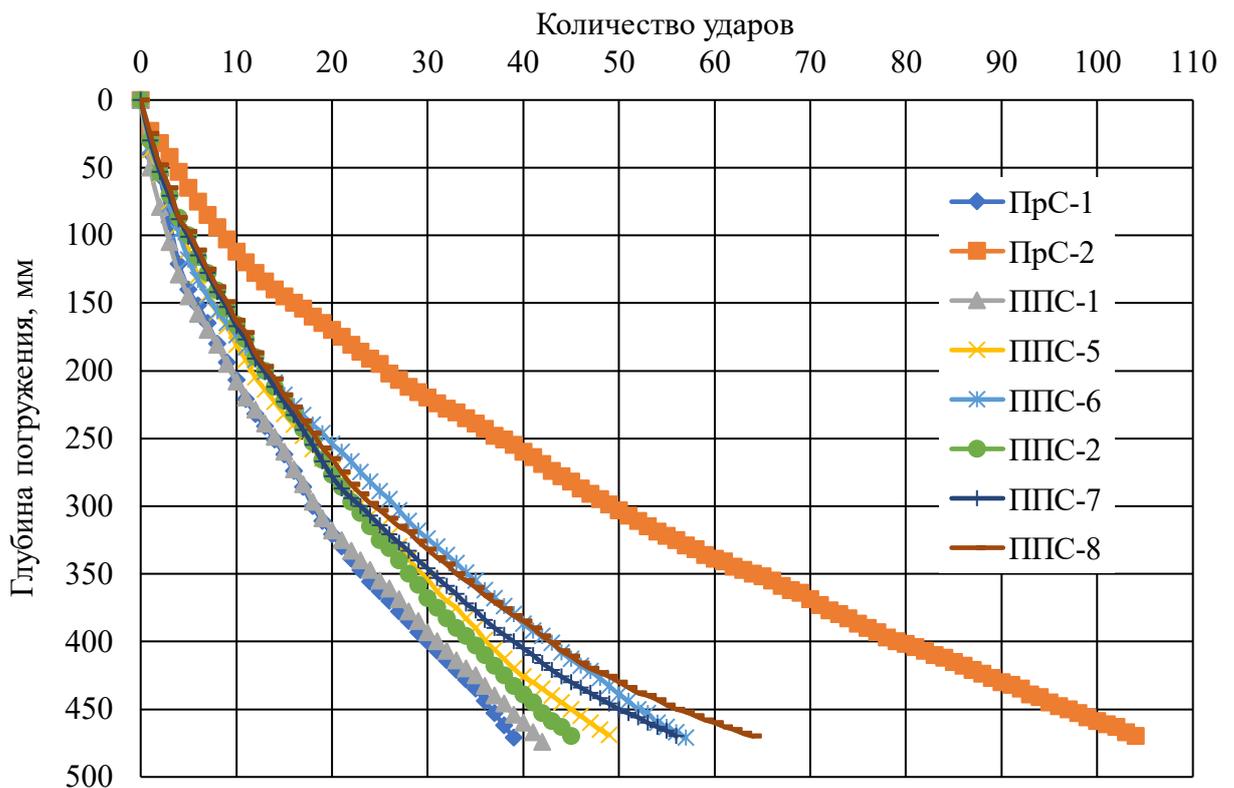


Рисунок 3.7 – Зависимость глубины погружения моделей свай от количества ударов (II и III серия испытаний в песчаном грунте)

Таблица 3.5 – Результаты погружения моделей свай

Вид модели сваи	Полная энергия погружения $E$ , Дж			Глубина погружения $L_p$ , мм			Удельная энергоёмкость $E_v$ , Дж/см <sup>3</sup>		
	серия испытаний			серия испытаний			серия испытаний		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
ППС-1	$\frac{223,7}{97,12}$	$\frac{235,4}{119,1}$	-	$\frac{470}{469}$	$\frac{470}{471}$	-	$\frac{1,07}{0,465}$	$\frac{1,17}{0,621}$	-
ППС-2	$\frac{259,0}{108,89}$	-	$\frac{264,87}{145,40}$	$\frac{470}{470}$	-	$\frac{470}{470}$	$\frac{1,11}{0,470}$	-	$\frac{1,19}{0,620}$
ППС-3	$\frac{297,2}{123,60}$	-	-	$\frac{470}{470}$	-	-	$\frac{1,16}{0,482}$	-	-
ППС-4	$\frac{391,4}{153,03}$	-	-	$\frac{470}{469}$	-	-	$\frac{1,43}{0,549}$	-	-
ППС-5	-	$\frac{253,10}{127,36}$	-	-	$\frac{470}{471}$	-	-	$\frac{1,18}{0,625}$	-
ППС-6	-	$\frac{273,04}{148,85}$	-	-	$\frac{470}{471}$	-	-	$\frac{1,19}{0,630}$	-
ППС-7	-	-	$\frac{307,98}{166,38}$	-	-	$\frac{470}{470}$	-	-	$\frac{1,20}{0,630}$
ППС-8	-	-	$\frac{382,7}{222,47}$	-	-	$\frac{470}{470}$	-	-	$\frac{1,21}{0,694}$
ПрС-1	$\frac{164,8}{61,80}$	$\frac{179,53}{117,7}$	$\frac{173,6}{117,7}$	$\frac{470}{469}$	$\frac{470}{470}$	$\frac{470}{470}$	$\frac{0,85}{0,320}$	$\frac{0,94}{0,619}$	$\frac{1,25}{0,619}$
ПрС-2	$\frac{468,2}{235,44}$	$\frac{459,1}{294,3}$	$\frac{416,7}{294,3}$	$\frac{470}{470}$	$\frac{470}{470}$	$\frac{470}{470}$	$\frac{1,45}{0,552}$	$\frac{1,20}{0,688}$	$\frac{0,99}{0,695}$
ПС-1	$\frac{429,7}{191,29}$	-	-	$\frac{470}{469}$	-	-	$\frac{1,47}{0,644}$	-	-

Примечание – над чертой представлены результаты погружения свай в глинистый грунт, под чертой - в песчаный грунт.

Таблица 3.6 – Значения коэффициентов относительной энергоёмкости ( $J_{\partial}$ ) забивки моделей свай

Вид моделей опытных свай	Значения коэффициентов относительной энергоёмкости забивки моделей опытных свай		
	$J_{\partial 1}$	$J_{\partial 2}$	$J_{\partial 3}$
1	2	3	4
I серия испытаний			
ППС-1	1,36/1,57	0,55/0,41	0,52/0,51
ППС-2	1,57/1,76	0,64/0,46	0,60/0,57
ППС-3	1,77/2,0	0,73/0,50	0,69/0,60
ППС-4	2,37/2,48	0,97/0,65	0,91/0,80
II серия испытаний			
ППС-1	1,31/1,05	0,51/0,42	-
ППС-5	1,41/1,10	0,55/0,44	-
ППС-7	1,51/1,42	0,59/0,57	-
III серия испытаний			
ППС-2	1,52/1,12	0,62/0,45	-

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4
ППС-6	1,73/1,40	0,70/0,56	-
ППС-8	1,95/1,60	0,79/0,64	-
<p>Примечания</p> <p>1 <math>J_{э1}</math>, <math>J_{э2}</math> и <math>J_{э3}</math> – 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;</p> <p>2 Перед чертой указаны значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.</p>			

*Испытания в глинистом грунте.* Результаты I серии испытаний позволяют выделить следующие особенности процесса забивки моделей опытных свай в напластование глинистого грунта (рисунок 3.3, таблицы 3.5 и 3.6) [106]:

- затраты энергии на забивку моделей ППС в 1,36-2,37 раза больше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 17,0-52,0% меньше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 9,0-48,0% меньше, чем у модели сваи пирамидальной формы с размерами сечения поверху 30×30 мм и понизу 20×20 мм;

- с увеличением длины пирамидального участка модели ППС в 2-4 раза энергетические затраты на их забивку увеличиваются в 1,15-1,75 раза;

- удельная энергоёмкость забивки моделей ППС в 1,25-1,68 раза больше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- удельная энергоёмкость забивки моделей ППС на 1,38-26,0% меньше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- удельная энергоёмкость забивки моделей ППС на 3,0-27,0% меньше, чем при забивке модели сваи пирамидальной формы с размерами сечения поверху 30×30 мм и понизу 20×20 мм;

- с увеличением длины пирамидального участка модели ППС в 2-4 раза удельная энергоёмкость их забивки увеличивается в 1,04-1,33 раза (рисунок 3.8).

Результаты II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяют выявить следующие особенности забивки моделей опытных свай (рисунок 3.4, таблицы 3.5 и 3.6):

- затраты энергии на забивку моделей ППС в 1,31-1,52 раза больше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 41,0-49,0% меньше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза энергетические затраты на их забивку увеличиваются в 1,07-1,16 раза;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС в 1,24-1,26 раза больше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС на 1,1-2,5% меньше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза удельная энергоемкость забивки моделей ППС увеличивается незначительно (на 0,8-2,0%) (рисунок 3.9).

По итогам III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см) выявлены следующие особенности забивки моделей ППС (рисунок 3.5, таблицы 3.5 и 3.6):

- затраты энергии на забивку моделей ППС в 1,52-2,20 раза больше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 8,16-36,4% меньше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза энергетические затраты на их забивку увеличиваются в 1,16-1,62 раза;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС в 1,31-1,32 раза больше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС на 3,2-4,8% меньше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза удельная энергоемкость забивки моделей ППС увеличивается незначительно (на 0,8-1,7%), (рисунок 3.9).

*Испытания в песчаном грунте.* Результаты I серии испытаний позволяют выделить следующие особенности процесса забивки моделей опытных свай в песчаном грунте (рисунок 3.6, таблицы 3.5 и 3.6) [107]:

- затраты энергии на забивку моделей ППС в 1,57-2,48 раза больше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 35,0-58,75% меньше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 20,0-49,2% меньше, чем у модели сваи пирамидальной формы с размерами сечения поверху пирамидального участка 30×30 мм и понизу 20×20 мм;

- с увеличением длины пирамидального участка модели ППС в 2-4 раза энергетические затраты на их забивку увеличиваются в 1,12-1,57 раза;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС в 1,45-1,71 раза больше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС на 1,0-15,76 % меньше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС на 14,75-27,8 % меньше, чем при забивке модели сваи пирамидальной формы с размерами сечения поперху 30×30 мм и понизу 20×20 мм;

- с увеличением длины пирамидального участка моделей ППС в 2-4 раза удельная энергоемкость забивки моделей ППС увеличивается в 1,01-1,18 раза (рисунок 3.8).

Результаты II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяют выявить следующие особенности забивки моделей опытных свай (рисунок 3.7, таблицы 3.5 и 3.6):

- затраты энергии на забивку моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка с 30×30 до 50×50 мм больше в 1,01-1,26 раза, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 49,4-59,5% меньше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза энергетические затраты на их забивку увеличиваются в 1,07-1,25 раза;

- удельная энергоемкость погружения моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка с 30×30 до 50×50 мм незначительно больше (в 1,0-3,07%), чем модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- удельная энергоемкость забивки моделей ППС на 8,4-9,7% меньше, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза удельная энергоемкость забивки моделей ППС увеличивается незначительно (в 1,006-1,014 раза), (рисунок 3.9).

По итогам III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см) выявлены следующие особенности забивки моделей ППС (рисунок 3.7, таблицы 3.5 и 3.6):

- затраты энергии на забивку моделей ППС в 1,23-1,89 раза больше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- затраты энергии на забивку моделей ППС на 24,4-50,1% меньше, чем у модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза энергетические затраты на их забивку увеличиваются в 1,14-1,53 раза;

- удельная энергоемкость погружения моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка с 30×30 до 50×50 мм больше в 1,02-1,12 раза, чем при забивке модели сваи призматической формы с размерами сечения 20×20 мм;

- удельная энергоемкость погружения моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка с 30×30 до 50×50 мм меньше на 1,1-10,8%, чем удельная энергоемкость модели сваи призматической формы с размерами сечения 30×30 мм;

- с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка моделей ППС в 1,33-1,67 раза удельная энергоёмкость забивки моделей ППС увеличивается в 1,06-1,19 раза (рисунок 3.9).

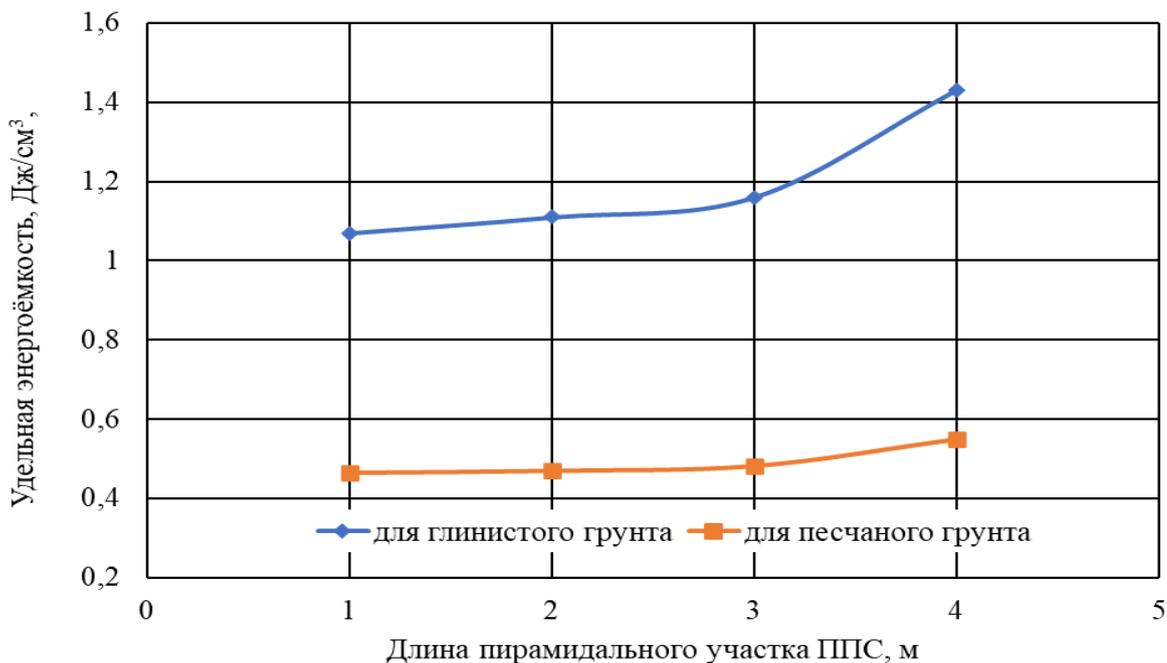


Рисунок 3.8 - Зависимость удельной энергоёмкости ППС от длины пирамидального участка ППС

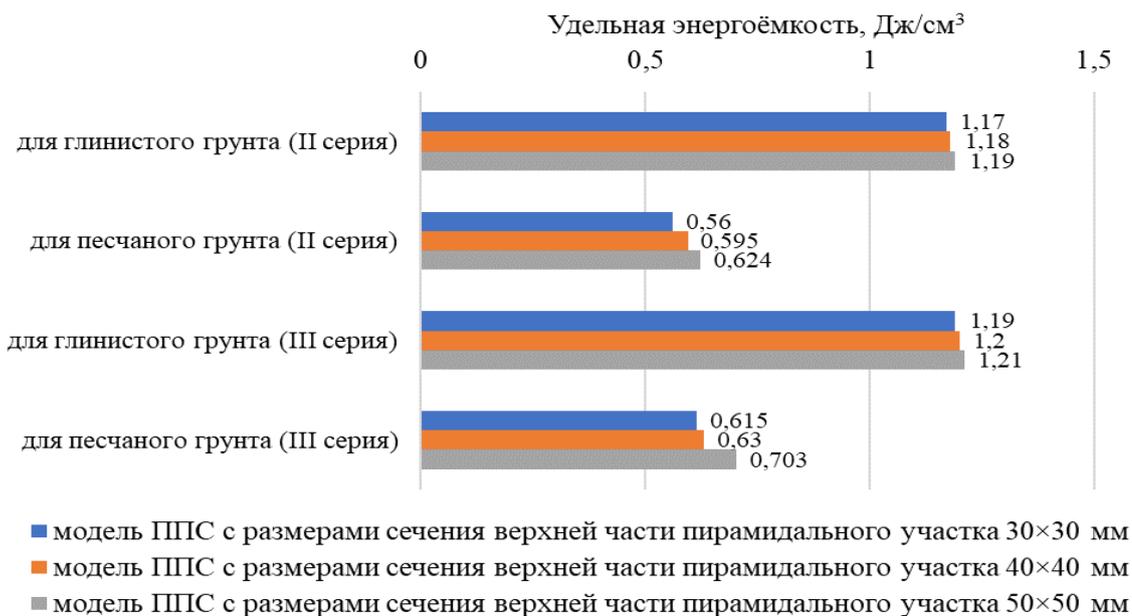


Рисунок 3.9 - Удельная энергоёмкость забивки моделей ППС II-ой и III-ей серии испытаний

Представленные результаты экспериментов свидетельствуют о том, что процесс забивки моделей ППС характеризуется значительной удельной энергоёмкостью по сравнению с процессом забивки модели контрольной сваи

призматической формы с размерами сечения 20×20 мм. Но, по сравнению с забивкой модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм и забивкой модели пирамидальной сваи, удельная энергоемкость погружения моделей ППС ниже. Удельная энергоемкость погружения моделей ППС тем выше, чем больше длина и размер верха их пирамидального участка. При этом, прирост удельной энергоемкости забивки с увеличением длины пирамидального участка заметно больше, чем при увеличении размера верха пирамидального участка моделей.

Кроме того результаты испытаний моделей ППС свидетельствуют о том, что энергетические затраты на их забивку в глинистый грунт выше, чем при их забивке в песчаный грунт. Данное превышение составляет 2,30-2,55 раза для I серии опытов, 1,83-2,09 раза для II серии опытов и 1,72-1,82 раза для III серии опытов.

Более низкие затраты энергии на забивку моделей ППС в песчаный грунт можно объяснить отличительными особенностями поведения сыпучего грунта при действии ударной нагрузки. Так при погружении сваи в сыпучий грунт частыми ударами молота, под его острием не образуется полноценное уплотненное грунтовое ядро (зона), за счет значительного перемещения частиц песка в стороны от сваи. Это явление, в свою очередь, вызывает более легкое ударное погружение свай в такие грунты.

### 3.2.2 Сопrotивляемость моделей свай действию вертикальной вдавливающей нагрузки

Результаты испытаний моделей свай при действии вертикальной вдавливающей нагрузки представлены на рисунках 3.10-3.15 в виде графиков зависимостей осадки моделей свай от вертикальной нагрузки, а также в таблицах 3.7-3.10.

Оценка сопротивляемости моделей свай действию вдавливающей нагрузки осуществлялась с учетом следующих показателей:

- несущей способности  $F_d$ , устанавливаемой в соответствии с требованиями свода правил [104, с. 115];
- характеристической величины сопротивления грунта сжатию в предельном состоянии по несущей способности  $R_{c,k}$ , определяемой в соответствии с требованиями свода правил [105, с. 31];
- удельной несущей способности  $F_d^v$ , рассчитываемой по формуле:

$$F_d^v = \frac{F_d}{V}, \quad (3.3)$$

- коэффициенту относительной эффективности модели сваи по несущей способности  $J_n$  (по характеристическому сопротивлению грунта сжатию  $J_x$ ), определяемому по формуле:

$$J_H = \frac{F_d^o}{F_d^k}, \quad (3.4)$$

$$J_x = \frac{R_{c;k}^o}{R_{c;k}^k}, \quad (3.5)$$

где:  $F_d$  - несущая способность грунта основания модели сваи, Н;  $V$  - объем погруженной в грунт части модели сваи, Н/см<sup>3</sup>;  $F_d^o$  - несущая способность грунта основания модели опытной сваи, Н;  $F_d^k$  - несущая способность грунта основания модели контрольной сваи, Н;  $R_{c;k}^o$  - характеристическое сопротивление грунта сжатию в предельном состоянии по несущей способности модели опытной сваи, Н;  $R_{c;k}^k$  - характеристическое сопротивление грунта сжатию в предельном состоянии по несущей способности модели контрольной сваи, Н.

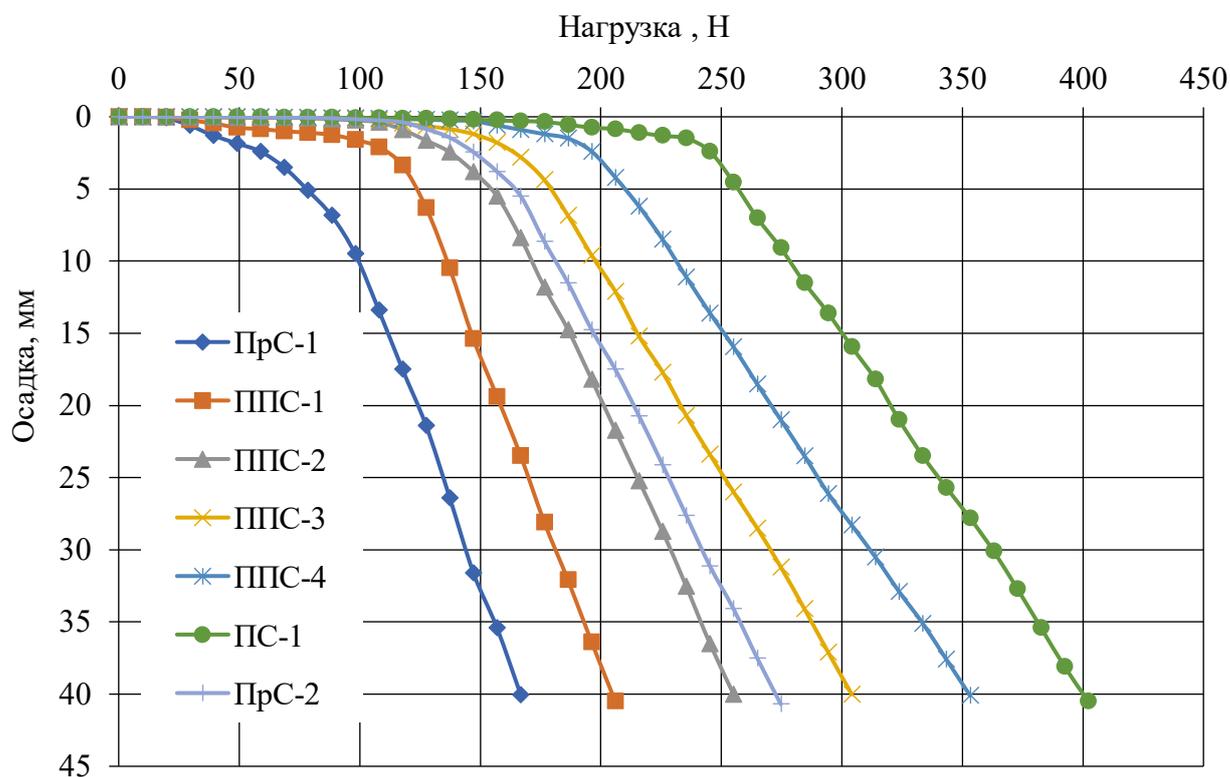


Рисунок 3.10 – Зависимость осадки моделей свай от вдавливающей нагрузки (I серия испытаний в глинистом грунте)

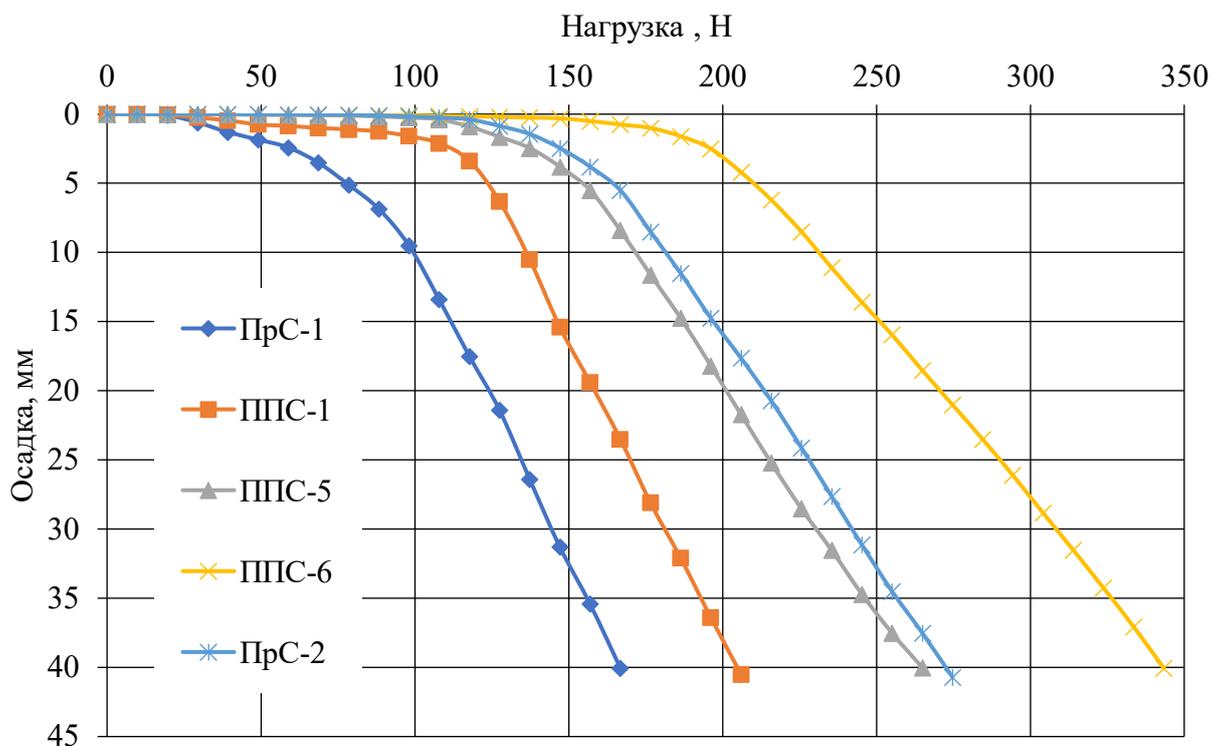


Рисунок 3.11 – Зависимость осадки моделей свай от вдавливающей нагрузки (II серия испытаний в глинистом грунте)

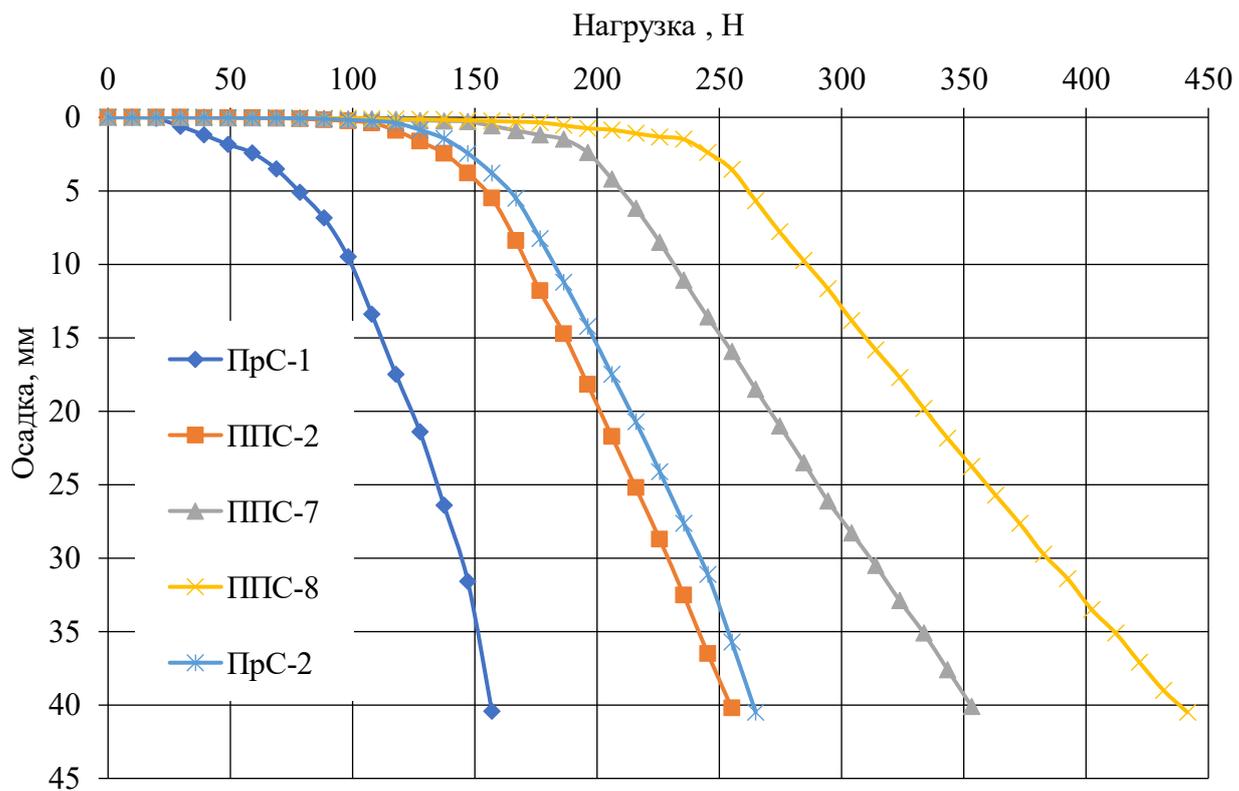


Рисунок 3.12 – Зависимость осадки моделей свай от вдавливающей нагрузки (III серия испытаний в глинистом грунте)

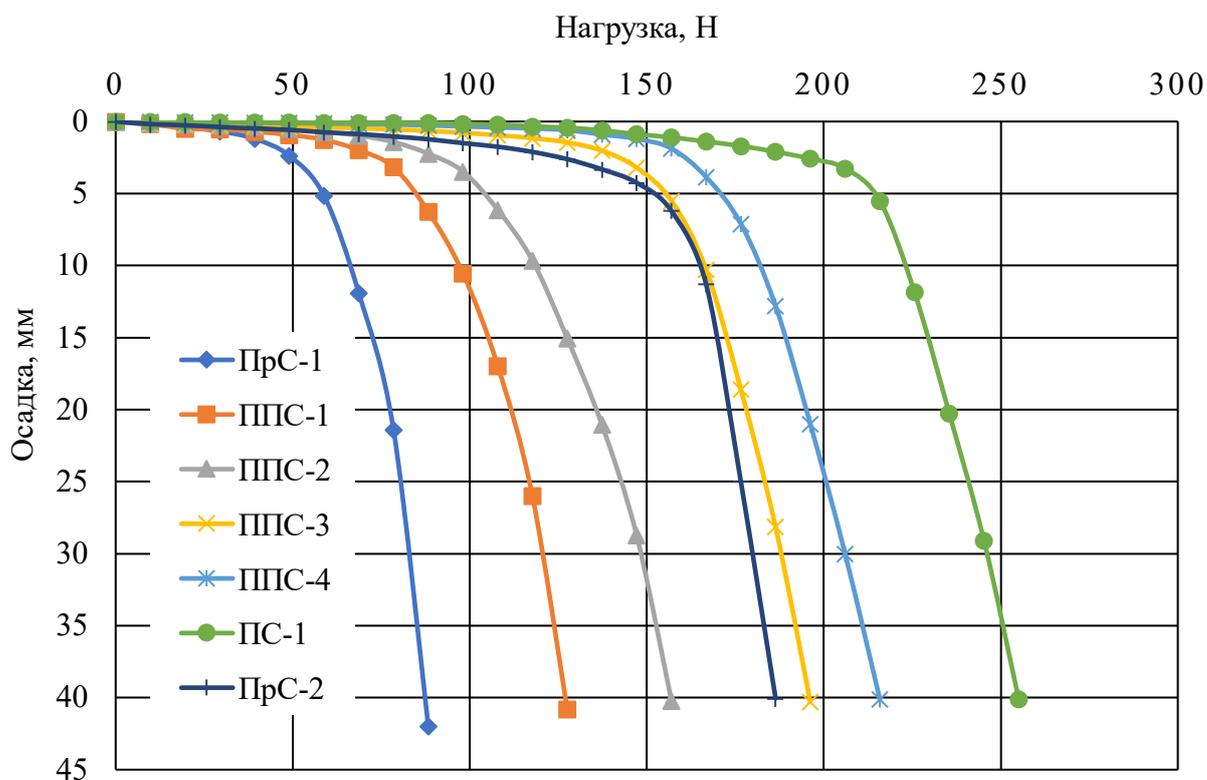


Рисунок 3.13 – Зависимость осадки моделей свай от вдавливающей нагрузки (I серия испытаний в песчаном грунте)

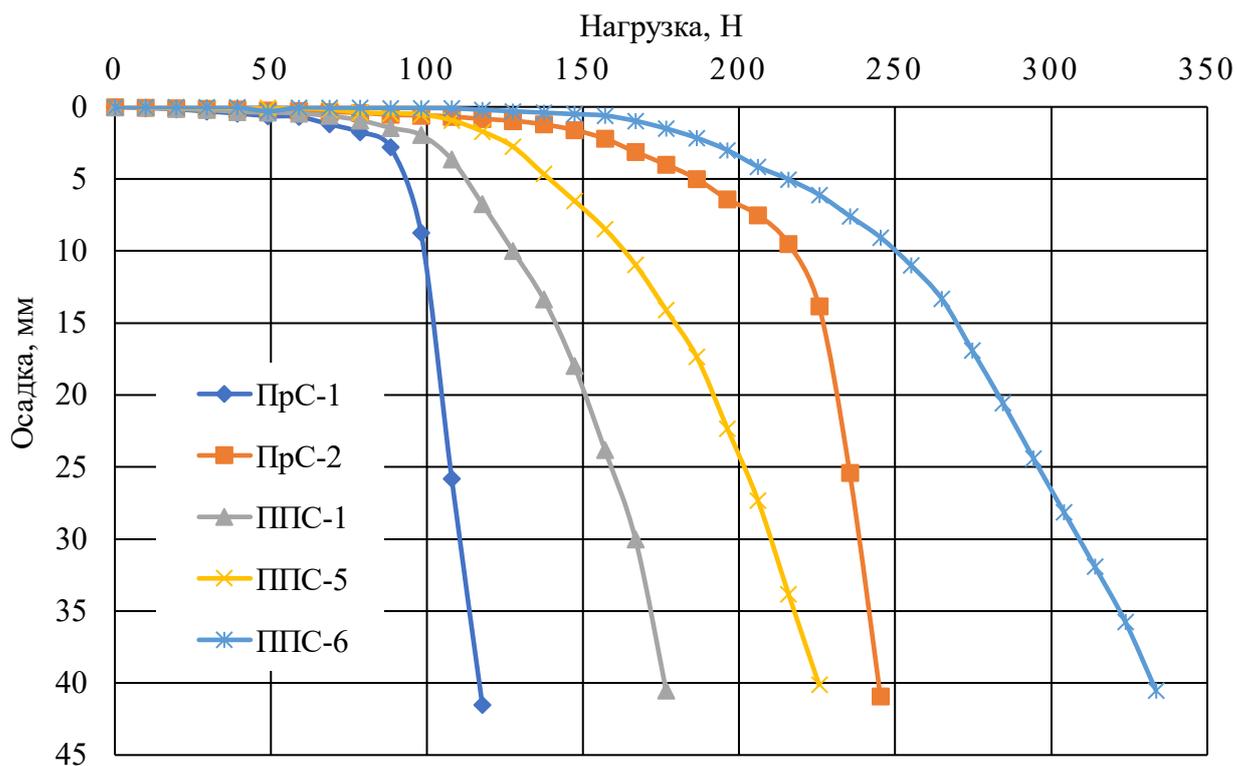


Рисунок 3.14 – Зависимость осадки моделей свай от вдавливающей нагрузки (II серия испытаний в песчаном грунте)

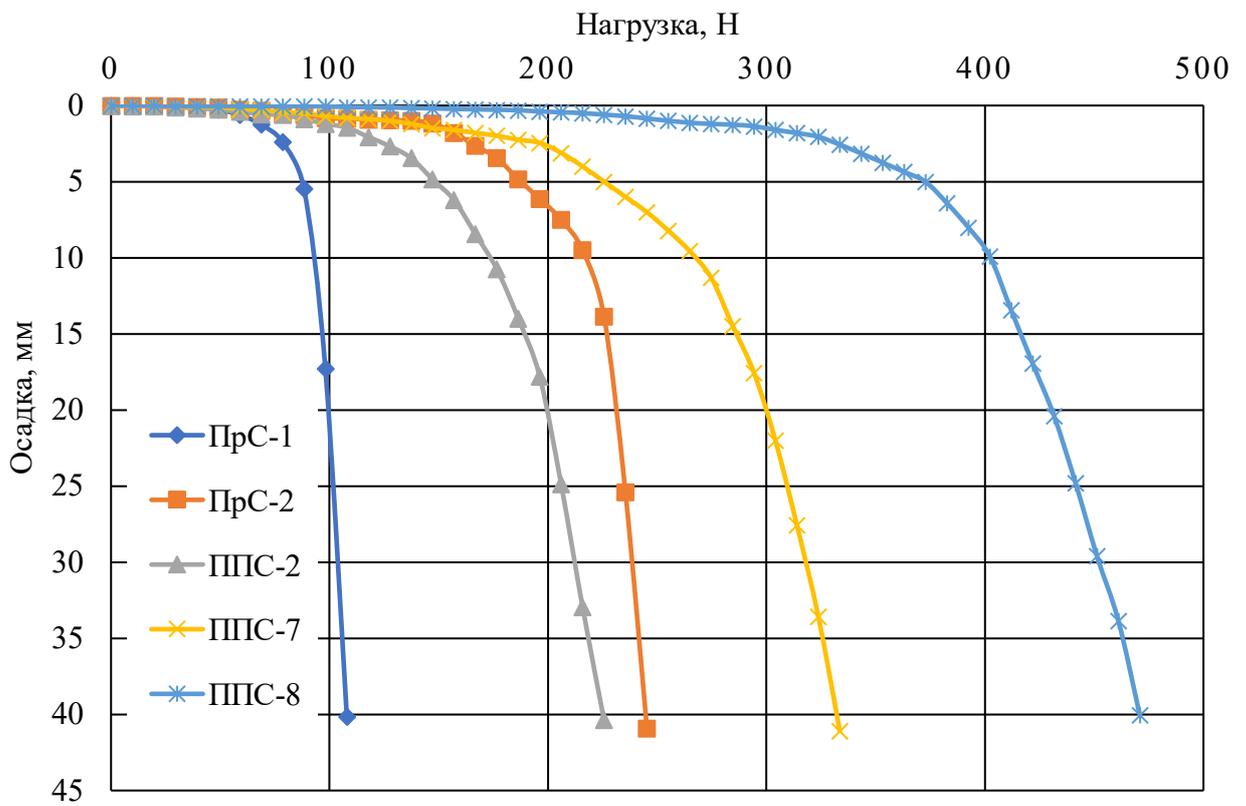


Рисунок 3.15 – Зависимость осадки моделей свай от вдавливающей нагрузки (III серия испытаний в песчаном грунте)

Таблица 3.7 – Значения несущей способности  $F_d$ , удельной несущей способности  $F_d^v$  и характеристического сопротивления грунта сжатию в предельном состоянии по несущей способности  $R_{c;k}$

Вид модели сваи	$F_d$ , Н, при осадке, мм						$F_d^v$ , Н/см <sup>3</sup> , при осадке, мм						$R_{c;k}$ , Н, при осадке, мм					
	серии испытаний						серии испытаний						серии испытаний					
	I		II		III		I		II		III		I		II		III	
	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40
ППС-1	<u>158,0</u> 112,1	<u>205,0</u> 127,5	<u>158,3</u> 151,2	<u>204,8</u> 176,3	-	-	<u>0,75</u> 0,53	<u>0,98</u> 0,61	<u>0,79</u> 0,75	<u>1,0</u> 0,88	-	-	<u>150,5</u> 106,8	<u>195,2</u> 121,4	<u>150,8</u> 144,0	<u>195,0</u> 167,9	-	-
ППС-2	<u>201,5</u> 137,1	<u>255,0</u> 157,4	-	-	<u>201,2</u> 200,1	<u>254,1</u> 226,3	<u>0,87</u> 0,59	<u>1,1</u> 0,68	-	-	<u>0,91</u> 0,71	<u>1,15</u> 1,02	<u>191,9</u> 130,6	<u>242,9</u> 149,9	-	-	<u>191,6</u> 190,6	<u>220,9</u> 215,5
ППС-3	<u>233,0</u> 178,2	<u>304,0</u> 196,9	-	-	-	-	<u>0,91</u> 0,69	<u>1,19</u> 0,77	-	-	-	-	<u>221,9</u> 169,7	<u>289,5</u> 187,5	-	-	-	-
ППС-4	<u>270,0</u> 195,0	<u>352,0</u> 216,6	-	-	-	-	<u>0,99</u> 0,71	<u>1,29</u> 0,79	-	-	-	-	<u>257,1</u> 185,7	<u>335,2</u> 206,3	-	-	-	-
ППС-5	-	-	<u>217,0</u> <u>205,3</u>	<u>264,8</u> 226,1	-	-	-	-	<u>0,94</u> 0,90	<u>1,23</u> 1,05	-	-	-	-	<u>191,4</u> 184,0	<u>252,2</u> 215,3	-	-
ППС-6	-	-	<u>284,0</u> 270,0	<u>343,0</u> 332,1	-	-	-	-	<u>1,35</u> 1,24	<u>1,50</u> 1,44	-	-	-	-	<u>257,6</u> 270,5	<u>326,6</u> 316,3	-	-
ППС-7	-	-	-	-	<u>300,2</u> 270,5	<u>352,5</u> 332,5	-	-	-	-	<u>1,14</u> 1,02	<u>1,33</u> 1,26	-	-	-	-	<u>257,62</u> 285,9	<u>335,7</u> 316,7
ППС-8	-	-	-	-	<u>430,0</u> 334,1	<u>470,0</u> 438,2	-	-	-	-	<u>1,36</u> 1,25	<u>1,53</u> 1,48	-	-	-	-	<u>318,19</u> 409,4	<u>417,3</u> 447,7
ПрС-1	<u>124,0</u> 77,5	<u>167,0</u> 87,5	<u>124,0</u> 105,1	<u>166,2</u> 117,2	<u>123,7</u> 105,1	<u>156,5</u> 117,2	<u>0,64</u> 0,40	<u>0,87</u> 0,45	<u>0,35</u> 0,55	<u>0,87</u> 0,62	<u>0,65</u> 0,55	<u>0,82</u> 0,62	<u>118,1</u> 73,8	<u>159,0</u> 83,3	<u>118,1</u> 100,1	<u>158,3</u> 111,6	<u>117,81</u> 100,1	<u>149,0</u> 111,6
ПрС-2	<u>214,0</u> 178,0	<u>272,5</u> 188,2	<u>213,5</u> 193,2	<u>272,2</u> 245,1	<u>228,0</u> 231,3	<u>264,2</u> 245,1	<u>0,49</u> 0,41	<u>0,62</u> 0,43	<u>0,5</u> 0,54	<u>0,64</u> 0,57	<u>0,53</u> 0,54	<u>0,61</u> 0,57	<u>203,8</u> 169,5	<u>259,5</u> 179,2	<u>203,3</u> 220,3	<u>259,4</u> 233,4	<u>217,14</u> 220,3	<u>251,6</u> 233,4
ПС-1	<u>320,0</u> 235,8	<u>400,0</u> 255,0	-	-	-	-	<u>1,07</u> 0,79	<u>1,34</u> 0,86	-	-	-	-	<u>304,8</u> 224,6	<u>380,9</u> 242,9	-	-	-	-

Примечание – над чертой указаны значения показателей, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а под чертой - к испытаниям в песчаном грунте.

Таблица 3.8 – Значения коэффициентов относительной эффективности моделей свай по несущей способности  $J_n(J_x)$  (I серия испытаний)

Коэффициенты относительной эффективности моделей $J_n(J_x)$	Значения коэффициентов для опытных моделей свай с длиной пирамидального участка, см			
	10	20	30	40
при осадке 20 мм				
$J_{n1}(J_{x1})$	1,27/1,45	1,58/1,77	1,88/2,30	2,18/2,52
$J_{n2}(J_{x2})$	0,74/0,63	0,94/0,77	1,09/1,0	1,26/1,10
$J_{n3}(J_{x3})$	0,49/0,47	0,62/0,58	0,73/0,75	0,84/0,83
при осадке 40 мм				
$J_{n1}(J_{x1})$	1,23/1,46	1,52/1,80	1,82/2,25	2,11/2,47
$J_{n2}(J_{x2})$	0,75/0,68	0,93/0,84	1,11/1,05	1,29/1,15
$J_{n3}(J_{x3})$	0,51/0,50	0,64/0,62	0,76/0,77	0,88/0,85
Примечание - перед чертой указаны значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.				

Таблица 3.9 – Значения коэффициентов относительной эффективности моделей свай по несущей способности  $J_n(J_x)$  (II серия испытаний)

Коэффициенты относительной эффективности моделей $J_n(J_x)$	Значения коэффициентов для опытных моделей свай с длиной пирамидального участка 10 см и размерами его сечений, мм		
	30×30/20×20	40×40/20×20	50×50/20×20
при осадке 20 мм			
$J_{n1}(J_{x1})$	1,27/1,44	1,62/1,84	2,17/2,70
$J_{n2}(J_{x2})$	0,74/0,65	1,02/1,06	1,26/1,23
при осадке 40 мм			
$J_{n1}(J_{x1})$	1,23/1,50	1,59/1,93	2,06/2,83
$J_{n2}(J_{x2})$	0,75/0,72	1,03/1,08	1,26/1,35
Примечание - перед чертой указаны значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.			

Таблица 3.10 – Значения коэффициентов относительной эффективности моделей свай по несущей способности  $J_n(J_x)$  (III серия испытаний)

Коэффициенты относительной эффективности моделей $J_n(J_x)$	Значения коэффициентов для опытных моделей свай с длиной пирамидального участка 20 см и размерами его сечений, мм		
	30×30/20×20	40×40/20×20	50×50/20×20
при осадке 20 мм			
$J_{n1}(J_{x1})$	1,62/1,90	2,18/2,85	2,70/4,10
$J_{n2}(J_{x2})$	0,88/0,86	1,18/1,30	1,46/1,86
при осадке 40 мм			
$J_{n1}(J_{x1})$	1,62/1,93	2,25/2,84	2,8/4,01
$J_{n2}(J_{x2})$	0,96/0,92	1,33/1,36	1,65/1,92
Примечание - перед чертой указаны значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.			

*Испытания в глинистом грунте.* Сравнение значений несущей способности моделей опытных и контрольных свай, полученных в I серии испытаний, позволяет установить следующее (рисунок 3.10, таблицы 3.7 и 3.8) [108]:

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,27-2,18 раза; 40 мм – в 1,23-2,11 раза;

- несущая способность моделей ППС с длиной пирамидального участка 30 и 40 см больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм в 1,09-1,26 раза; 40 мм – 1,11-1,29 раза;

- несущая способность моделей ППС с длиной пирамидального участка 10 и 20 см меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – на 5,84-26,17%; 40 мм – на 6,42-24,77%;

- несущая способность ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами поверху  $30 \times 30$  мм и понизу  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – на 15,63-50,63%; 40 мм – на 12,0-48,75%;

- несущая способность моделей ППС с увеличением длины пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,27-1,71 раза при осадках моделей свай 20 мм, и в 1,24-3,52 раза – при осадках моделей свай 40 мм;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,17-1,55 раза; 40 мм – в 1,13-1,48 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,53-2,02 раза; 40 мм – в 1,58-2,08 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами поверху  $30 \times 30$  мм и понизу  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – на 8,1-42,7%; 40 мм – на 3,9-36,73%.

- удельная несущая способность моделей ППС с увеличением длины пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,16-1,32 раза при осадках моделей свай 20 мм и в 1,12-1,32 раза – при осадках моделей свай 40 мм (рисунок 3.16).

Результаты II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяют определить следующие закономерности (рисунок 3.11, таблицы 3.7 и 3.9):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,27-2,17 раза; 40 мм – в 1,23-2,06 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами верхнего сечения пирамидального участка  $40 \times 40$  и  $50 \times 50$  мм больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,02-1,26 раза; 40 мм – в 1,03-1,26 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами верхнего сечения пирамидального участка  $30 \times 30$  мм меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – на 26,0%; 40 мм – на 25,0%;

- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров верхнего сечения пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,37-1,80 раза при осадках моделей свай 20 мм, и в 1,29-1,67 раза – при осадках моделей свай 40 мм;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 2,25-5,43 раза; 40 мм – в 1,15-1,72 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,58-3,80 раза; 40 мм – в 1,56-2,34 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС с увеличением размеров верхнего сечения пирамидального участка в 1,33-1,67 раза, повышается в 1,19-1,71 раза при осадках моделей свай 20 мм и в 1,23-1,50 раза при осадках 40 мм (рисунок 3.17).

Сопоставление результатов оценки сопротивляемости моделей опытных и контрольных свай III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см) позволяет установить следующие различия в работе моделей (рисунок 3.12, таблицы 3.7 и 3.10):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,62-2,70 раза; 40 мм – в 1,62-2,80 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами верхнего сечения пирамидального участка  $40 \times 40$  и  $50 \times 50$  мм больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,18-1,46 раза; 40 мм – в 1,33-1,65 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами верхнего сечения пирамидального участка  $30 \times 30$  мм меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – на 12,0%; 40 мм – на 4,0%;

- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается, в 1,49-2,14 раза при осадках моделей свай 20 мм, и в 1,38-1,85 раза – при осадках моделей свай 40 мм;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,40-1,61 раза; 40 мм – в 1,40-1,68 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,72-1,98 раза; 40 мм – в 1,88-2,26 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза, повышается, в 1,25-1,49 раза при осадках моделей свай 20 мм и в 1,15-1,33 раза при осадках 40 мм (рисунок 3.17).

*Испытания в песчаном грунте.* Сравнение значений несущей способности моделей опытных и контрольных свай I серии испытаний в песчаном грунте позволяет установить следующие особенности (рисунок 3.13, таблицы 3.7 и 3.8) [109]:

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм, при их осадках: 20 мм – в 1,45-2,52 раза; 40 мм – в 1,46-2,47 раза;

- несущая способность моделей ППС с длиной пирамидального участка 30 и 40 см больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм, при их осадках: 20 мм - в 1,10 раза; 40 мм – 1,05-1,15 раза;

- несущая способность моделей ППС с длиной пирамидального участка 10 и 20 см меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм, при их осадках: 20 мм – на 23,0-37,0%; 40 мм – на 16,0-32,0%;

- несущая способность ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами поверху 30×30 мм и понизу 20×20 мм, при их осадках: 20 мм – на 17,0-53,0%; 40 мм – на 15,0-50,0%;

- несущая способность моделей ППС с увеличением длины пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,22-1,74 раза при осадках моделей свай 20 мм, и в 1,23-1,70 раза – при осадках моделей свай 40 мм;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм, при их осадках: 20 мм – в 1,32-1,77 раза; 40 мм – в 1,35-1,75 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм, при их осадках: 20 мм – в 1,29-1,73 раза, 40 мм – в 1,42-1,84 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами поверху 30×30 мм и понизу 20×20 мм, при их осадках: 20 мм - на 11,26-49,05%; 40 мм – на 8,86-41,0%.

- удельная несущая способность моделей ППС с увеличением длины пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,11-1,34 раза при осадках моделей свай 20 мм и в 1,11-1,29 раза при осадках 40 мм (рисунок 3.16).

Сравнение значений несущей способности моделей опытных и контрольных свай II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяет установить следующие закономерности (рисунок 3.14, таблицы 3.7 и 3.9):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм, при их осадках: 20 мм – в 1,44-2,70 раза; 40 мм – в 1,50-2,83 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка  $40 \times 40$  и  $50 \times 50$  мм больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,06-1,23 раза; 40 мм – в 1,08-1,35 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка  $30 \times 30$  мм меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – на 25,0%; 40 мм – на 28,0%;

- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,35-1,78 раза при осадках моделей свай 20 мм, и в 1,28-1,89 раза – при осадках моделей свай 40 мм;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,36-2,25 раза; 40 мм – в 1,42-2,32 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,38-2,30 раза, 40 мм – в 1,54-2,53 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,20-1,65 раза при осадках моделей свай 20 мм и в 1,19-1,64 раза при осадках 40 мм (рисунок 3.17).

Сравнение сопротивляемости моделей опытных и контрольных свай III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см) позволяет установить следующее (рисунок 3.15, таблицы 3.7 и 3.10):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,09-4,10 раза; 40 мм – в 1,93-4,01 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка  $40 \times 40$  и  $50 \times 50$  мм больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,30-1,86 раза; 40 мм – в 1,36-1,92 раза;

- несущая способность моделей ППС с размерами сечения верха пирамидального участка  $30 \times 30$  мм меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм, при их осадках: 20 мм – на 14,0%; 40 мм – на 8,0%;

- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,50-1,67 раза при осадках моделей свай 20 мм, и в 1,46-1,93 раза – при осадках моделей свай 40 мм;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, при их осадках: 20 мм – в 1,65-2,47 раза; 40 мм – в 1,64-2,40 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм, при их осадках: 20 мм – в 1,68-2,52 раза; 40 мм – в 1,79-2,60 раза;

- удельная несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,43-1,76 раза повышается в 1,23-1,45 раза при осадках моделей свай 20 мм и в 1,45-1,17 раза при осадках 40 мм (рисунок 3.17).

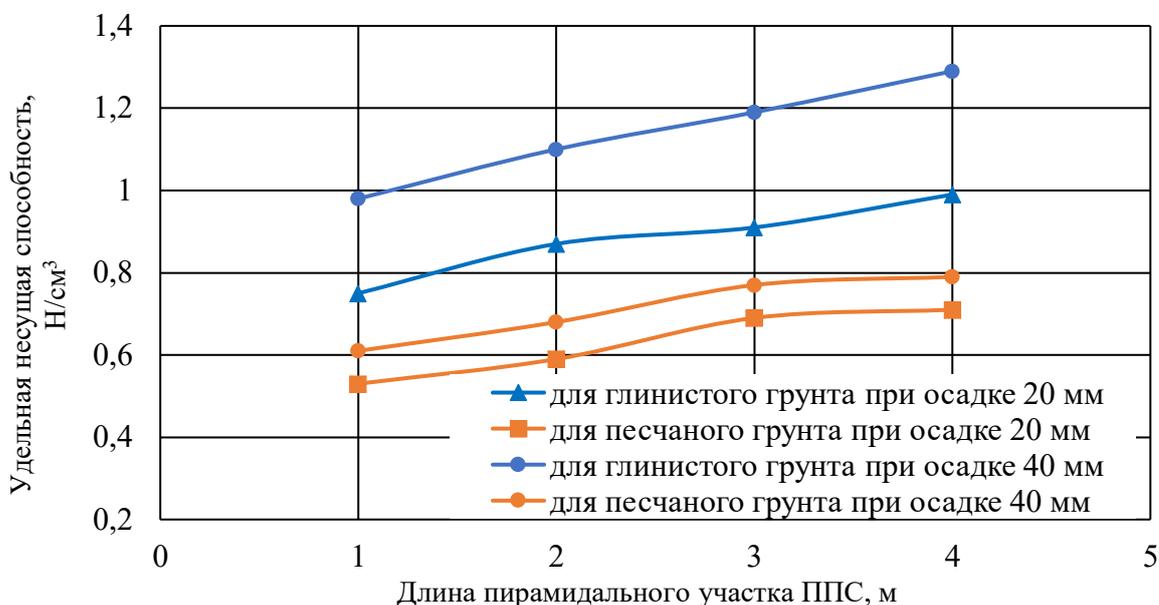


Рисунок 3.16 - Зависимость удельной несущей способности моделей ППС от длины их пирамидального участка (I серия испытаний)

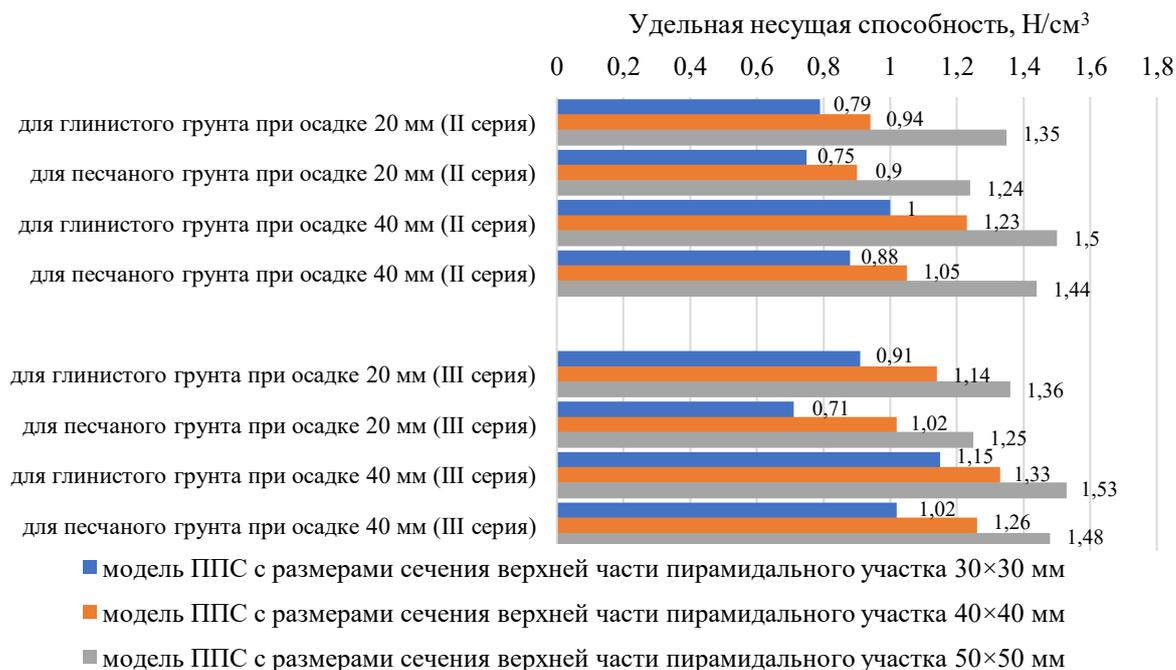


Рисунок 3.17 – Удельная несущая способность моделей ППС (II и III серии испытаний)

Анализ полученных результатов экспериментов свидетельствует о том, что удельная несущая способность моделей ППС при действии вертикальной вдавливающей нагрузки выше, чем у моделей призматических свай, но ниже, чем у модели пирамидальной сваи. В целом как увеличение длины, так и размеров верха пирамидального участка моделей опытных свай, сопровождается повышением их удельной несущей способности. При этом отличительным является то, что прирост удельной несущей способности моделей ППС за счет увеличения размеров верха их пирамидального участка несколько выше, чем за счет увеличения длины этого участка.

Сопrotивляемость моделей ППС действию вертикальной вдавливающей нагрузки в глинистом грунте выше, чем в песчаном грунте. Так, это превышение составляет:

для I серии испытаний при осадке: 20 мм – в 1,38-1,41 раза; 40 мм – в 1,61-1,62 раза;

для II серии испытаний при осадке: 20 мм – в 1,03-1,16 раза; 40 мм – в 1,03-1,05 раза;

для III серии испытаний при осадке: 20 мм – в 1,05-1,28 раза; 40 мм – в 1,07-1,12 раза.

Имеющее место снижение статической сопротивляемости моделей ППС в песчаном грунте можно объяснить особенностью их забивки в сыпучих грунтах, указанной в п.3.2.1.

### 3.2.3 Сопrotивляемость моделей свай действию горизонтальной нагрузки

Результаты испытаний моделей свай на действие горизонтальной нагрузки, выполненных в лабораторных условиях, представлены на рисунках 3.18 и 3.19, а также в таблицах 3.11 и 3.12.

Оценка сопротивляемости моделей свай выполнялась на основе коэффициента их относительной эффективности по сопротивляемости горизонтальной нагрузке  $J_{gp}$  ( $J_{tr}$ ) при перемещении головной части моделей свай на 10 мм.

Коэффициенты  $J_{gp}$  и  $J_{tr}$  определяются по следующим формулам:

$$J_{gp} = \frac{F_{d,gp}^o}{F_{d,gp}^k}, \quad (3.6)$$

$$J_{tr} = \frac{R_{tr}^o}{R_{tr}^k}, \quad (3.7)$$

где:  $F_{d,gp}^o$  - несущая способность грунта основания модели опытной сваи, Н;

$F_{d,gp}^k$  - несущая способность грунта основания модели контрольной сваи, Н;

$R_{tr}^o$  - сопротивление поперечной нагрузке модели опытной сваи, Н;

$R_{tr}^k$  - сопротивление поперечной нагрузке модели контрольной сваи, Н.

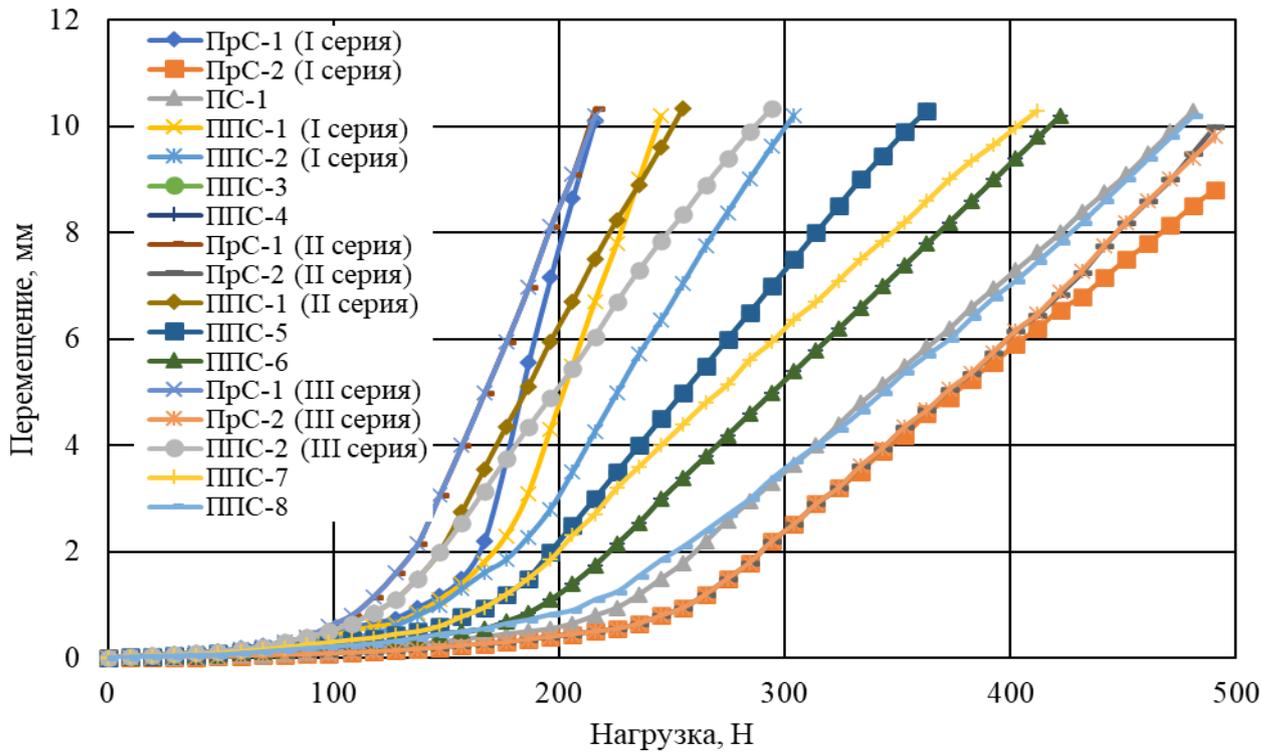


Рисунок 3.18 – Зависимость перемещения головной части моделей свай от статической горизонтальной нагрузки в глинистом грунте

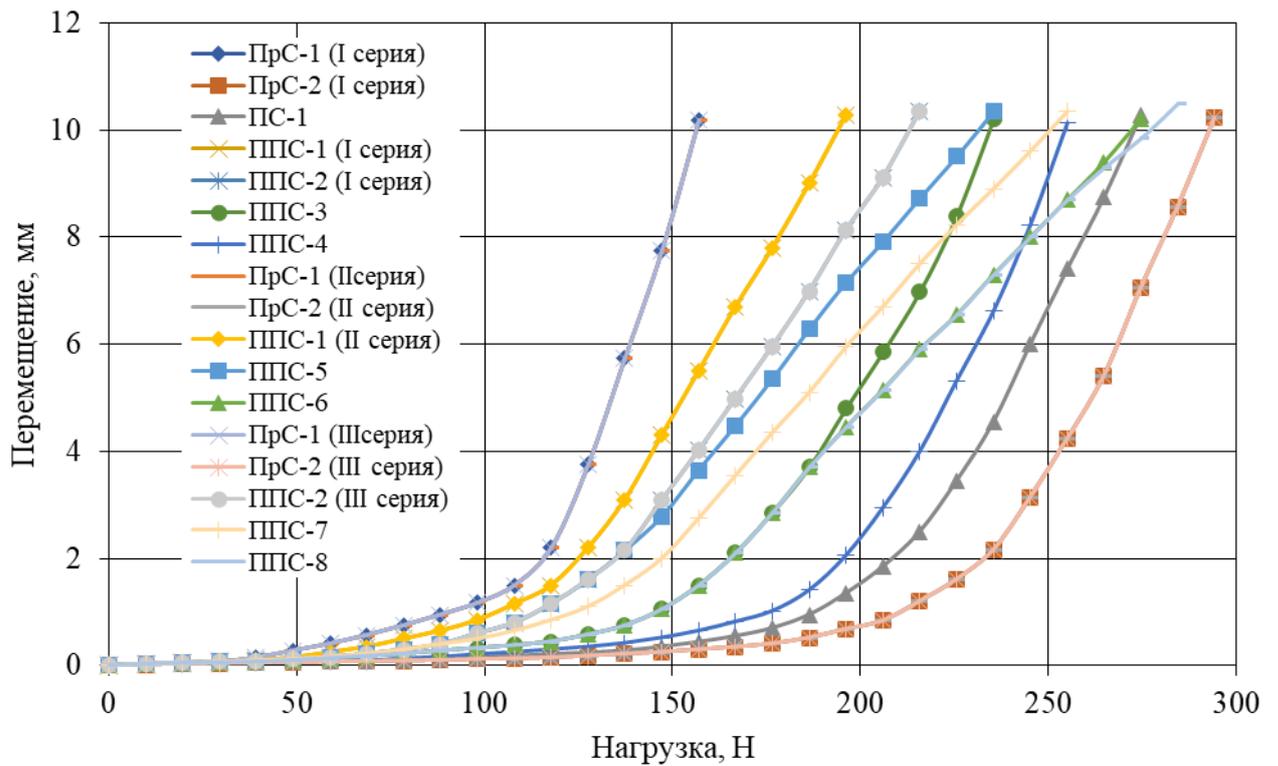


Рисунок 3.19 – Зависимость перемещения головной части моделей свай от статической горизонтальной нагрузки в песчаном грунте

Таблица 3.11 – Значения несущей способности  $F_{d,gp}$  и сопротивления поперечной нагрузке  $R_{tr}$  моделей свай

Вид модели сваи	Несущая способность модели сваи $F_{d,gp}$ (сопротивление модели сваи поперечной нагрузке $R_{tr}$ ), Н		
	серии испытаний		
	I	II	III
ППС-1	243,0/194,0	250,5/194,0	-
ППС-2	301,0/213,0	-	287,5/213,0
ППС-3	355,0/234,1	-	-
ППС-4	416,0/255,2	-	-
ППС-5	-	355,0/232,1	-
ППС-6	-	417,2/248,5	-
ППС-7	-	-	402,5/251,0
ППС-8	-	-	485,8/277,5
ПрС-1	215,0/157,0	213,0/157,0	214,1/157,0
ПрС-2	527,5/293,0	490,5/293,0	496,1/293,0
ПС-1	473,0/273,1	-	-

Примечание - перед чертой указаны значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.

Таблица 3.12 – Значения коэффициентов относительной эффективности моделей свай по сопротивляемости горизонтальной нагрузке  $J_{gp}$  ( $J_{tr}$ )

Вид опытных моделей свай	Значения коэффициентов относительной эффективности моделей свай		
	$J_{gp1}$ ( $J_{tr1}$ )	$J_{gp2}$ ( $J_{tr2}$ )	$J_{gp3}$ ( $J_{tr3}$ )
I серия испытаний			
ППС-1	1,13/1,23	0,46/0,66	0,51/0,71
ППС-2	1,40/1,35	0,59/0,73	0,63/0,78
ППС-3	1,65/1,49	0,67/0,80	0,75/0,86
ППС-4	1,93/1,62	0,79/0,87	0,88/0,93
II серия испытаний			
ППС-1	1,17/1,23	0,51/0,66	-
ППС-5	1,66/1,47	0,72/0,79	-
ППС-7	1,96/1,58	0,85/0,85	-
III серия испытаний			
ППС-2	1,34/1,35	0,58/0,73	-
ППС-6	1,88/1,60	0,81/0,85	-
ППС-8	2,27/1,77	0,98/0,95	-

Примечания  
 1  $J_{gp1}$  ( $J_{tr1}$ ),  $J_{gp2}$  ( $J_{tr2}$ ) и  $J_{gp3}$  ( $J_{tr3}$ ) – 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 значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.

*Испытания в глинистом грунте.* Результаты I серии испытаний позволяют выделить следующие особенности поведения опытных моделей свай в глинистом грунте при действии горизонтальной статической нагрузки (рисунок 3.18, таблицы 3.11 и 3.12):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,13-1,93 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 21,0-54,0%;
- несущая способность ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами поверху  $30 \times 30$  мм и понизу  $20 \times 20$  мм на 12,0-49,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением длины их пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,23-1,71 раза.

Результаты II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяют установить следующие закономерности (рисунок 3.18, таблицы 3.11 и 3.12):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,17-1,96 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 15,0-49,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,42-1,66 раза.

Результаты III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см) позволяют определить следующие отличия в поведении моделей свай (рисунок 3.18, таблицы 3.11 и 3.12):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,34-2,27 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 2,0-42,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,40-1,69 раза.

*Испытания в песчаном грунте.* Сравнение значений несущей способности моделей опытных и контрольных свай I серии испытаний в песчаном грунте позволяет установить следующие особенности (рисунок 3.19, таблицы 3.11 и 3.12) [110]:

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,23-1,62 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 13,0-34,0%;
- несущая способность ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами поверху  $30 \times 30$  мм и понизу  $20 \times 20$  мм на 7,0-29,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением длины пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,09-1,31 раза.

Результаты II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяют определить следующие закономерности (рисунок 3.19, таблицы 3.11 и 3.12):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,23-1,58 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 5,0-34,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,19-1,28 раза.

Сравнение несущей способности моделей опытных и контрольных свай, полученных в III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см), позволяет установить следующее (рисунок 3.19, таблицы 3.11 и 3.12):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,35-1,77 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 5,0-27,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,18-1,30 раза.

Анализ результатов экспериментов показывает, что сопротивляемость горизонтальной нагрузке моделей ППС с разной длиной пирамидального участка выше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, но ниже, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм и у модели пирамидальной сваи.

Сопротивляемость горизонтальной нагрузке опытных моделей свай с разными размерами верха пирамидального участка выше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, но ниже, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм.

Увеличение как длины, так и размеров верха пирамидального участка моделей ППС сопровождается повышением их сопротивления горизонтальной нагрузке. Однако, у опытных моделей свай с длиной пирамидального участка 30 см и более сопротивляемость горизонтальной нагрузке выше, чем у моделей свай с разными размерами верха пирамидального участка. Данная закономерность не соблюдается при длине пирамидального участка моделей ППС менее 30 см.

Выявленные обстоятельства объясняются тем, что с увеличением размеров пирамидального участка моделей ППС увеличивается площадь их боковой поверхности, которая вовлекается в работу при действии поперечной нагрузки. Это, в свою очередь, ведет к повышению сопротивляемости грунта. К тому же, с увеличением длины пирамидального участка моделей ППС в их работу вовлекается более плотный грунт, который, как правило, формируется ближе к острию моделей.

Сопротивляемость горизонтальной нагрузке моделей ППС в глинистом грунте в 1,25-1,73 раза выше, чем в песчаном грунте. Причиной этому, вероятно, является поведение сыпучего грунта, указанное в п.3.2.1.

### 3.2.4 Сопrotивляемость моделей свай действию выдергивающей нагрузки

Результаты испытаний моделей свай на действие выдергивающей нагрузки представлены на рисунках 3.20 и 3.21, а также в таблицах 3.13 и 3.14.

Оценка сопротивляемости моделей свай выполнялась на основе коэффициента их относительной эффективности по выдергиванию  $J_v$ , ( $J_{vx}$ ). Коэффициенты  $J_v$  и  $J_{vx}$  определяются по следующим формулам:

$$J_v = \frac{F_{d,v}^o}{F_{d,v}^k}, \quad (3.8)$$

$$J_{vx} = \frac{R_{t;k}^o}{R_{t;k}^k}, \quad (3.9)$$

где:  $F_{d,v}^o$  - несущая способность грунта основания модели опытной сваи, Н;  $F_{d,v}^k$  - несущая способность грунта основания модели контрольной сваи, Н,  $R_{t;k}^o$  - характеристическая величина сопротивления модели опытной сваи действию выдергивающей нагрузки, Н;  $R_{t;k}^k$  - характеристическая величина сопротивления модели контрольной сваи действию выдергивающей нагрузки, Н.

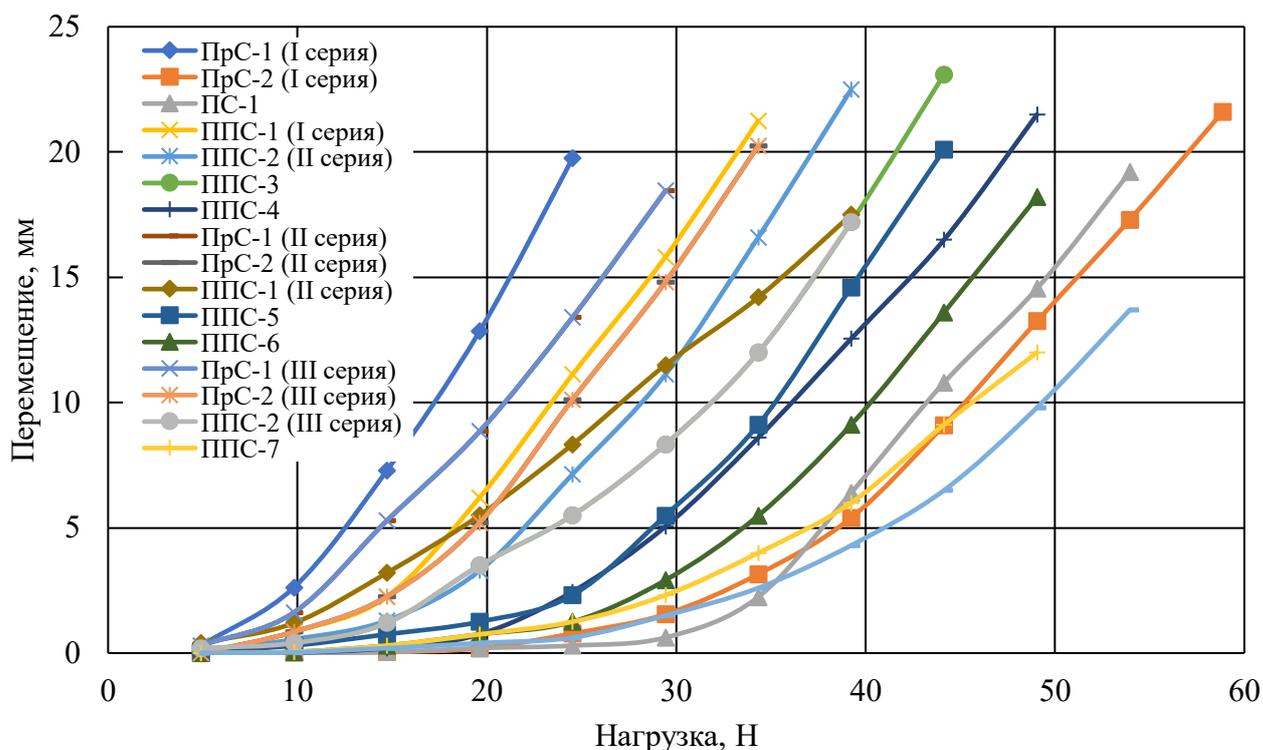


Рисунок 3.20 – Зависимость вертикального перемещения моделей свай от выдергивающей нагрузки в глинистом грунте

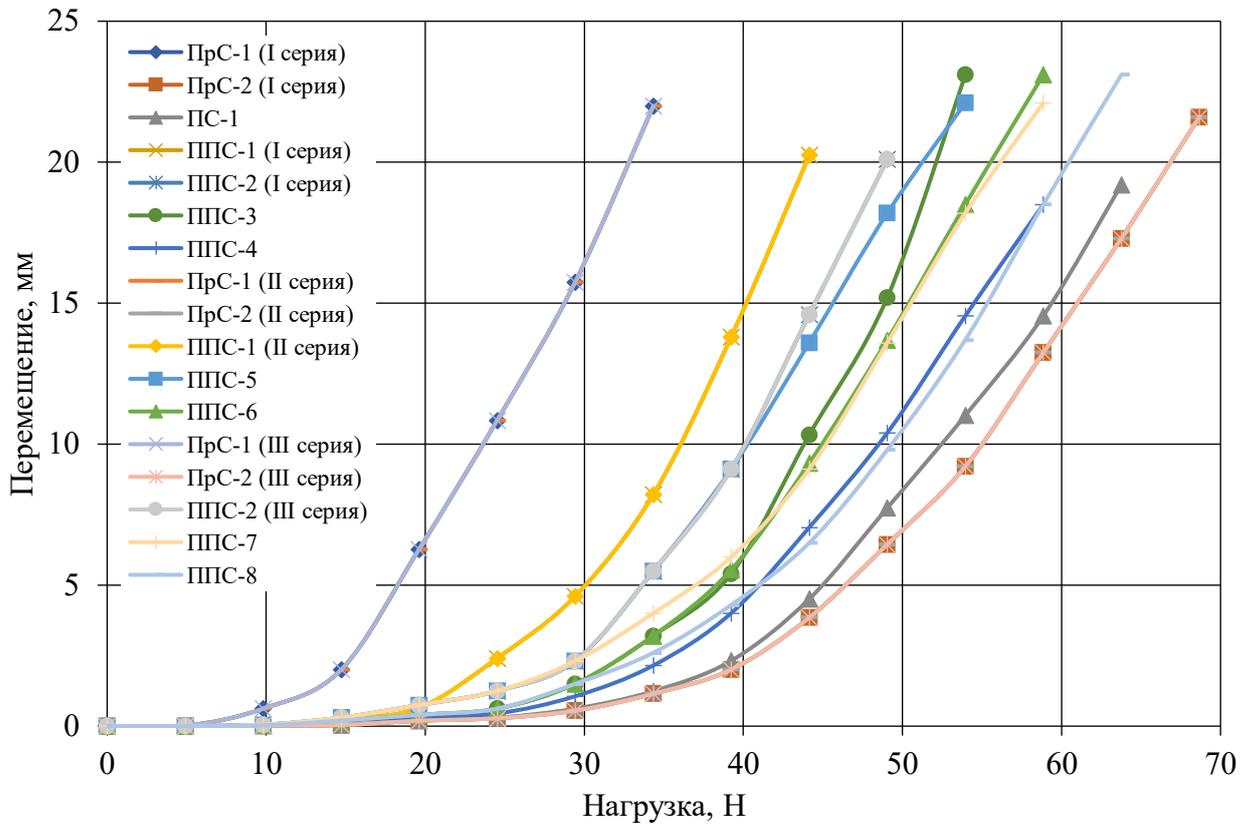


Рисунок 3.21 – Зависимость вертикального перемещения моделей свай от выдергивающей нагрузки в песчаном грунте

Таблица 3.13 – Значения несущей способности  $F_{d,v}$  и характеристическая величина сопротивления  $R_{t,k}$  моделей свай

Вид модели сваи	Несущая способность грунта основания модели сваи $F_{d,v}$ , Н			Характеристическая величина сопротивления модели сваи $R_{t,k}$ , Н		
	серии испытаний					
	I	II	III	I	II	III
ППС-1	32,46/44,3	35,25/44,3	-	51,52/70,31	51,18/70,31	-
ППС-2	35,52/49,0	-	38,34/49,0	56,37/77,7	-	60,85/77,77
ППС-3	38,10/54,0	-	-	60,47/85,70	-	-
ППС-4	41,10/59,0	-	-	65,23/93,64	-	-
ППС-5	-	41,28/54,1	-	-	65,52/85,86	-
ППС-6	-	47,1/59,2	-	-	74,75/93,96	-
ППС-7	-	-	44,1/59,1	-	-	69,99/98,80
ППС-8	-	-	52,98/68,9	-	-	84,1/108,9
ПрС-1	26,58/34,5	29,46/34,5	29,46/34,5	42,18/54,75	46,76/54,75	46,76/54,75
ПрС-2	58,86/68,9	50,1/68,9	53,1/68,9	93,42/109,3	79,52/109,3	84,28/109,3
ПС-1	53,3/63,9	-	-	84,59/101,4	-	-

Примечание - перед чертой указаны значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.

Таблица 3.14 – Значения коэффициентов относительной эффективности по выдергиванию  $J_v$  ( $J_{vx}$ )

Вид модели сваи	Значения коэффициентов относительной эффективности моделей свай		
	$J_{v1}$ ( $J_{vx1}$ )	$J_{v2}$ ( $J_{vx2}$ )	$J_{v3}$ ( $J_{vx3}$ )
I серия испытаний			
ППС-1	1,22/1,28	0,55/0,64	0,61/0,69
ППС-2	1,33/1,42	0,60/0,71	0,66/0,76
ППС-3	1,43/1,56	0,65/0,78	0,71/0,84
ППС-4	1,54/1,71	0,67/0,85	0,77/0,92
II серия испытаний			
ППС-1	1,19/1,27	0,70/0,63	-
ППС-5	1,40/1,57	0,82/0,78	-
ППС-6	1,60/1,71	0,94/0,86	-
III серия испытаний			
ППС-2	1,30/1,41	0,72/0,70	-
ППС-7	1,50/1,71	0,83/0,85	-
ППС-8	1,80/2,0	0,99/0,99	-
<p>Примечания</p> <p>1 <math>J_{v1}(J_{vx1})</math>, <math>J_{v2}(J_{vx2})</math> и <math>J_{v3}(J_{vx3})</math> – 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;</p> <p>2 Перед чертой указаны значения коэффициентов, относящиеся к испытаниям в глинистом грунте, а за чертой – к испытаниям в песчаном грунте.</p>			

*Испытания в глинистом грунте.* Результаты I серии испытаний позволяют выявить следующие особенности моделей ППС при действии выдергивающей нагрузки (рисунок 3.20, таблицы 3.13 и 3.14) [108, с.190-199]:

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм в 1,22-1,54 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм на 33,0-45,0%;
- несущая способность ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами попереху 30×30 мм и понизу 20×20 мм на 23,0-39,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением длины пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,09-1,27 раза.

Результаты II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяют определить следующие закономерности (рисунок 3.20, таблицы 3.13 и 3.14) [111-112]:

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм в 1,19-1,60 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм на 6,0-30,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,17-1,33 раза.

Сравнение несущей способности моделей опытных и контрольных свай, полученных в III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см) позволяет установить следующее (рисунок 3.20, таблицы 3.13 и 3.14):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,30-1,80 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 1,0-28,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,15-1,38 раза.

*Испытания в песчаном грунте.* Сравнение значений несущей способности моделей опытных и контрольных свай I серии испытаний в песчаном грунте позволяет установить следующие особенности (рисунок 3.21, таблицы 3.13 и 3.14) [109]:

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,28-1,71 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 15,0-36,0%;
- несущая способность ППС меньше, чем у модели пирамидальной сваи с размерами поверху  $30 \times 30$  мм и понизу  $20 \times 20$  мм на 8,0-31,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением длины пирамидального участка от 10 см до 40 см повышается в 1,10-1,33 раза.

Результаты II серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 10 см) позволяют определить следующие закономерности (рисунок 3.21, таблицы 3.13 и 3.14):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,27-1,71 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 14,0-27,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,22-1,34 раза.

Сравнение несущей способности моделей опытных и контрольных свай, полученных в III серии испытаний (при длине пирамидального участка, равной 20 см) позволяет установить следующее (рисунок 3.21, таблицы 3.13 и 3.14):

- несущая способность моделей ППС больше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  мм в 1,41-2,0 раза;
- несущая способность моделей ППС меньше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  мм на 1,0-30,0%;
- несущая способность моделей ППС с увеличением размеров сечения верха пирамидального участка в 1,33-1,67 раза повышается в 1,20-1,41 раза.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что сопротивляемость моделей ППС с разной длиной пирамидального участка превышает сопротивляемость модели сваи призматической формы с размерами сечения  $20 \times 20$  мм, но остается ниже, чем у модели свай призматической формы с размерами сечения  $30 \times 30$  мм и у модели пирамидальной сваи.

Сопrotивляемость выдергивающей нагрузке у опытных моделей свай с разными размерами верхней части пирамидального участка оказалась выше, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 20×20 мм, но ниже, чем у модели призматической сваи с размерами сечения 30×30 мм.

Как увеличение длины, так и увеличение размеров верхней части пирамидального участка опытных моделей свай способствуют повышению их сопротивляемости выдергивающей нагрузке. Однако, у опытных моделей свай с разными размерами верха пирамидального участка сопротивляемость выдергивающей нагрузке выше, чем у ППС с разной длиной пирамидального участка. Это объясняется следующим образом. При выдергивании моделей свай околотсвайный грунт осыпается, заполняя полость, которое высвобождается моделью при ее перемещении вверх. Причем данный эффект проявляется тем больше, чем шире или больше объем освобождающей полости в верхней части толщи. Поэтому у моделей с большими поперечными размерами объем осыпаемого грунта при их выдергивании несколько больше, что осложняет процесс движения моделей вверх, зацемяля их в грунте и повышая тем самым сопротивляемость выдергивающей нагрузке. Этот эффект более сильно проявляется в песчаном грунте ввиду его более выраженных сыпучих качеств. Так сопротивляемость моделей ППС действию выдергивающей нагрузки в песчаном грунте оказалась в 1,25-1,73 раза выше, чем в глинистом грунте.

### **3.3 Результаты исследования работы ППС в полевых условиях**

*Результаты исследований ударной погружаемости свай.* Оценка погружаемости и энергоемкости опытных и контрольных свай по результатам полевых испытаний производилась с учетом показателей, представленных в параграфе 3.1.1, но установленных применительно к крупномасштабным моделям свай (к моделям, именуемым как сваи).

Значения принятых показателей, а также глубина забивки свай и объемы их погружения представлены на рисунке 3.22 и в таблицах 3.15 и 3.16.

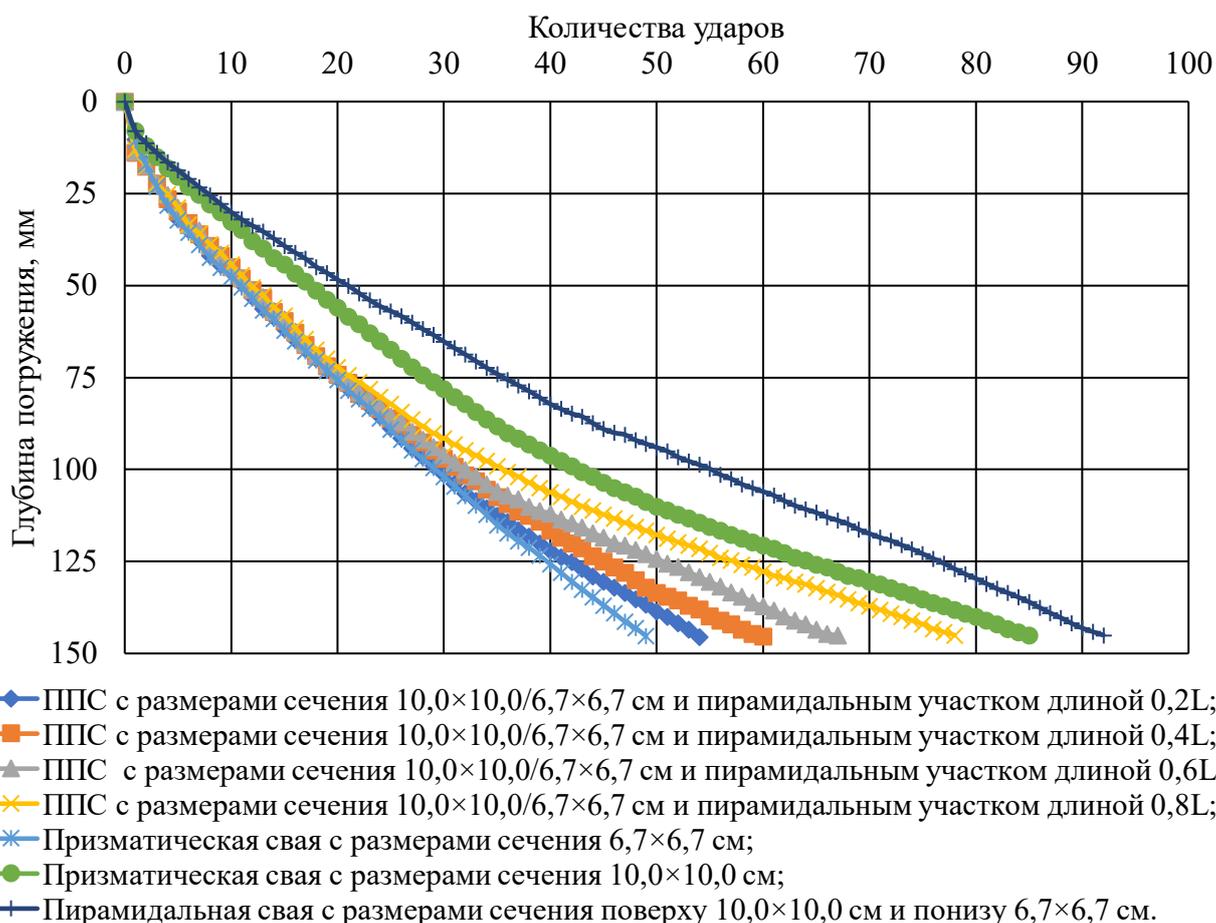


Рисунок 3.22 – Зависимость глубины погружения свай от количества ударов

Таблица 3.15 – Результаты забивки свай

Вид свай	Полная энергия ударов, затраченная на забивку $E$ , Дж (количество ударов)	Глубина погружения $L_p$ , см (объем погруженной части $V$ , см <sup>3</sup> )	Удельная энергоёмкость забивки $E_v$ , Дж/см <sup>3</sup>
ППС с размерами сечения 10,0×10,0/6,7×6,7 см и пирамидальным участком длиной 0,2L	9914,4 (54)	145,5 (8367,2)	1,18
Тоже, длиной 0,4L	11016,0 (60)	145,4 (9263,8)	1,20
Тоже, длиной 0,6L	12301,2 (67)	145,0 (9494,69)	1,29
Тоже, длиной 0,8L	14320,8 (78)	145,0 (9947,8)	1,40
Призматическая свая с размерами сечения 6,7×6,7 см	8996,4 (49)	145,2 (7692,83)	1,16
Призматическая свая с размерами сечения 10,0×10,0 см	15606,0 (85)	145,0 (10666,6)	1,46
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 10,0×10,0 см и понизу 6,7×6,7 см	16891,2 (92)	145,0 (10267,3)	1,70
Примечание - L – длина пирамидального участка ППС без острия.			

Таблица 3.16 – Значения коэффициентов относительной энергоемкости ( $J_{э}$ ) забивки свай

Коэффициенты относительной энергоемкости	Значения коэффициентов для опытных свай с длиной пирамидального участка			
	0,2L	0,4L	0,6L	0,8L
$J_{э1}$	1,10	1,24	1,37	1,60
$J_{э2}$	0,63	0,70	0,79	0,92
$J_{э3}$	0,58	0,65	0,73	0,85
Примечания 1 $J_{э1}$ , $J_{э2}$ и $J_{э3}$ – коэффициенты, относящиеся соответственно к свае призматической формы с размерами сечения 6,7×6,7 см, свае призматической формы с размерами сечения 10,0×10,0 см и свае пирамидальной формы; 2 L – тоже, что и в таблице 3.15.				

Анализ результатов полевых экспериментов, представленных на рисунке 3.22 и в таблицах 3.15, 3.16 [110, 111], показывает, что процесс забивки ППС по сравнению с процессом забивки контрольных свай характеризуется неодинаковым уровнем энергетических затрат сваепогружающей установки. Так по сравнению с забивкой сваи призматической формы с размерами сечения 6,7×6,7 см, они оказались в 1,02-1,21 раза больше. Но, по сравнению с забивкой призматической сваи с размерами сечения 10,0×10,0 см и забивкой пирамидальной сваи, энергозатраты на погружение ППС оказались ниже соответственно на 8,2-36,5% и на 15,2-41,3%. Увеличение длины пирамидального участка ППС в 2-4 раза вызывает прирост энергозатрат на их забивку в 1,11-1,16 раза.

Повышенная энергоемкость забивки ППС по сравнению с призматической сваей малого поперечного сечения (6,7×6,7 см) объясняется тем, что опытные сваи обладают большим объемом, а, следовательно, и большей массой, что вызывает большие затраты энергии на их погружение. Так при одинаковой глубине забивки свай объем погруженной в грунт части ППС в 1,08-1,29 раза превышает соответствующий параметр призматической сваи малого сечения.

Более низкие энергетические затраты процесса забивки ППС по сравнению с призматической сваей большего поперечного сечения (10,0×10,0 см) обусловлены тем, что опытные сваи обладают меньшим объемом и малой массой, что и вызывает их большую энергоемкость погружения. Так в исследованиях при одинаковой глубине забивки свай объем погруженной в грунт части ППС на 6,7-21,6% меньше соответствующего параметра призматической сваи большего сечения. Аналогичными причинами можно объяснить различия в энергоемкости погружения ППС и пирамидальной сваи.

Повышение энергетических затрат на забивку ППС с увеличением длины пирамидального участка вызвано увеличением объема погружаемой части опытных свай. Так при увеличении длины пирамидальной части ППС в 2-4 раза объем их погруженной части увеличивается в 1,025-1,11 раза.

Сравнение результатов полевых испытаний свай и лабораторных опытов показывает, что в качественном отношении они идентичны, а в количественном – несколько отличаются друг от друга. Эти различия касаются как удельной энергоёмкости, так и коэффициента относительной энергоёмкости. Так, значения относительной энергоёмкости в полевых испытаниях составили 0,58-1,60, а в лабораторных опытах - 0,52-2,37.

*Сопrotивляемость свай действию вертикальной вдавливающей нагрузки.* Результаты полевых статических испытаний свай, представлены на рисунке 3.23 и в таблицах 3.17 и 3.18 [113-115].

Оценка сопротивляемости свай действию вдавливающей нагрузки производилась на основе показателей, представленных в параграфе 3.2.2, но установленных применительно к крупномасштабным моделям свай (именуемым сваями).

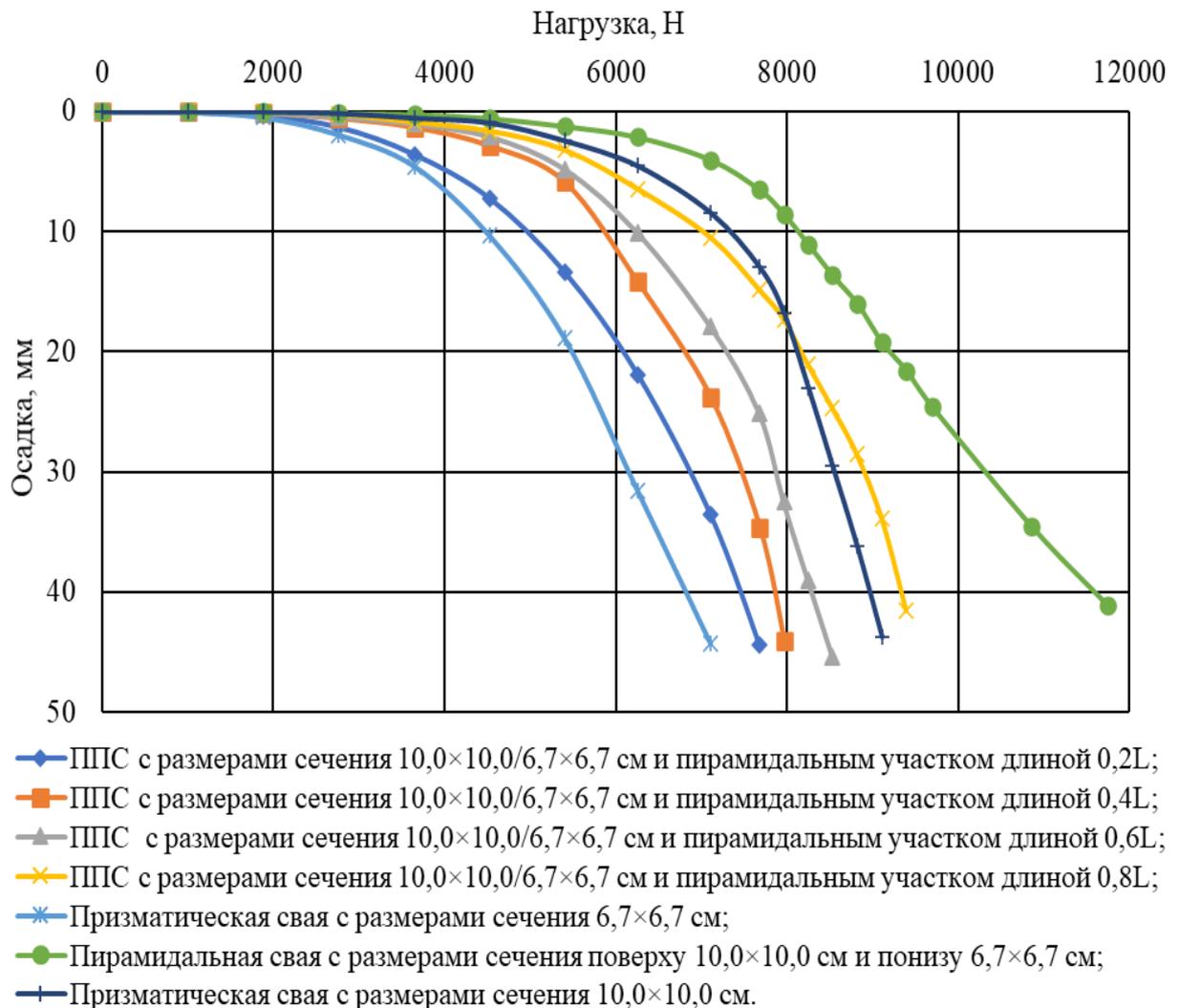


Рисунок 3.23 – Зависимость осадки свай от статической вдавливающей нагрузки

Таблица 3.17 – Значения несущей способности свай  $F_d$ , удельной несущей способности  $F_d^v$  свай и характеристическая величина сопротивления грунта сжатию  $R_{c;k}$

Вид сваи	Несущая способность $F_d$ , Н (удельная несущая способность $F_d^v$ , Н/см <sup>3</sup> ) сваи, при осадке		Характеристическое сопротивление грунта сжатию $R_{c;k}$ , Н, при осадке	
	20 мм	40 мм	20 мм	40 мм
ППС с размерами сечений 10,0×10,0/6,7×6,7 см и пирамидальным участком длиной 0,2L	6100 (0,73)	7470 (0,89)	4357,14	5335,71
Тоже, длиной 0,4L	6820 (0,74)	7860 (0,85)	4871,43	5614,28
Тоже, длиной 0,6L	8275 (0,87)	9340 (0,98)	5910,7	6671,48
Тоже, длиной 0,8L	8525 (0,83)	9620 (0,93)	6089,3	9871,4
Призматическая свая с размерами сечения 6,7×6,7 см	5500 (0,71)	6825 (0,80)	3928,57	4875,0
Призматическая свая с размерами сечения 10,0×10,0 см	8125 (0,70)	8975 (0,83)	5803,57	6410,71
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 10,0×10,0 см и понизу 6,7×6,7 см	9250 (0,93)	11625 (1,17)	6607,14	8303,57
Примечание - L – тоже, что в таблице 3.15.				

Таблица 3.18 – Значения коэффициентов относительной эффективности свай по несущей способности  $J_n (J_x)$

Коэффициенты относительной эффективности свай $J_n (J_x)$	Значения коэффициентов для опытных свай с длиной пирамидального участка			
	0,2L	0,4L	0,6L	0,8L
при осадке 20 мм				
$J_{n1} (J_{x1})$	1,11	1,24	1,50	1,55
$J_{n2} (J_{x2})$	0,75	0,84	1,02	1,05
$J_{n3} (J_{x3})$	0,66	0,74	0,89	0,92
при осадке 40 мм				
$J_{n1} (J_{x1})$	1,09	1,15	1,36	1,41
$J_{n2} (J_{x2})$	0,83	0,87	1,04	1,07
$J_{n3} (J_{x3})$	0,64	0,67	0,80	0,83
Примечания 1 $J_{n1} (J_{x1}), J_{n2} (J_{x2})$ и $J_{n3} (J_{x3})$ – коэффициенты, относящиеся соответственно к свае призматической формы с размерами сечения 6,7×6,7 см, свае призматической формы с размерами сечения 10,0×10,0 см и свае пирамидальной формы; 2 L – тоже, что в таблице 3.15.				

Результаты испытаний свай (рисунок 3.23, таблицы 3.17 и 3.18) свидетельствуют о превышении несущей способности ППС (при осадках свай: 20 мм – в 1,11-1,55 раза; 40 мм – в 1,09-1,41 раза) над несущей способностью призматической сваи с размерами сечения 6,7×6,7 см.

Данная разница вызвана большей площадью боковой поверхности опытных свай, которая способствует увеличению их сопротивляемости вдавливающей нагрузке. Так при одинаковой глубине забивки свай площадь боковой поверхности ППС превышает площадь боковой поверхности призматической сваи малого сечения в 1,04-1,19 раза.

Аналогичная же закономерность наблюдается при сравнении призматической сваи с размерами поперечного сечения  $10,0 \times 10,0$  см с ППС, у которых длина пирамидального участка составляет 0,6L и 0,8L. Хотя уровень превышения несущей способности ППС над несущей способностью контрольной сваи, в этом случае, несколько ниже, и составляет 2,0-5,0% при осадке свай 20 мм и 4,0-7,0% при осадке свай 40 мм. Это обусловлено значительным проявлением сил трения и сил отпора грунта при работе ППС с большей длиной пирамидального участка (0,6L и 0,8L). В пользу такого утверждения свидетельствует то, что несмотря на то, что у призматической сваи, площадь поверхности, контактирующей с грунтом, в 1,25-1,30 раза больше, чем у сравниваемых ППС, ее несущая способность несколько ниже. При меньшей же длине пирамидального участка (равной 0,2L и 0,4L) для ППС указанная закономерность не имеет место, и их несущая способность ниже (на 16,0-25,0% при осадке свай 20 мм и на 13,0-17,0% при осадке свай 40 мм) несущей способности призматической сваи с размерами сечения  $10,0 \times 10,0$  см.

По сравнению с пирамидальной свайей ППС обладают меньшей несущей способностью (на 7,9-34,1% при осадке свай 20 мм и на 17,3-35,8% при осадке свай 40 мм). Причем, чем больше длина пирамидального участка ППС, тем меньше разница в сопротивляемости сравниваемых свай, вдавливающей нагрузке, что логически закономерно. Рост же несущей способности ППС (в 1,11-1,40 раза) с увеличением длины их пирамидального участка (в 2-4 раза) обусловлен увеличением площади наклонной поверхности свай (на 23,6-82,1%).

Сопоставление результатов полевых испытаний и лабораторных экспериментов показывает, что в качественном отношении они подтверждают друг друга, а в количественном отношении несколько отличаются. Так например, значения коэффициентов относительной эффективности свай по несущей способности по результатам полевых испытаний составили 0,64-1,55, а по результатам лабораторных опытов они оказались равными 0,51-2,11.

*Испытания свай на действие горизонтальной нагрузки.* Результаты полевых испытаний свай на действие горизонтальной (поперечной) нагрузки, представлены в таблицах 3.19 и 3.20. График зависимости перемещения свай от горизонтальной нагрузки приведен на рисунке 3.24.

Сравнительная оценка сопротивляемости свай действию горизонтальной нагрузки, выполнялась с применением коэффициента относительной эффективности, указанного в параграфе 3.2.3, но установленного применительно к крупномасштабным моделям свай (именуемым как сваи). При обработке результатов испытаний выявлено, что значения несущей способности  $F_{d,gp}$  и сопротивления поперечной нагрузке  $R_{tr}$  одинаковы. Поэтому ниже при анализе результатов исследований использованы только значения несущей способности свай  $F_{d,gp}$ .

Таблица 3.19 – Значения несущей способности  $F_{d,gp}$  при горизонтальном перемещении

Вид сваи	Несущая способность сваи $F_{d,gp}$ , Н
ППС с размерами сечений $10,0 \times 10,0 / 6,7 \times 6,7$ см и пирамидальным участком длиной $0,2L$	2255
Тоже, длиной $0,4L$	2580
Тоже, длиной $0,6L$	2835
Тоже, длиной $0,8L$	3450
Призматическая свая с размерами сечения $6,7 \times 6,7$ см	1918
Призматическая свая с размерами сечения $10,0 \times 10,0$ см	4310
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху $10,0 \times 10,0$ см и понизу $6,7 \times 6,7$ см	4030

Примечание - L – тоже, что и в таблице 3.15.

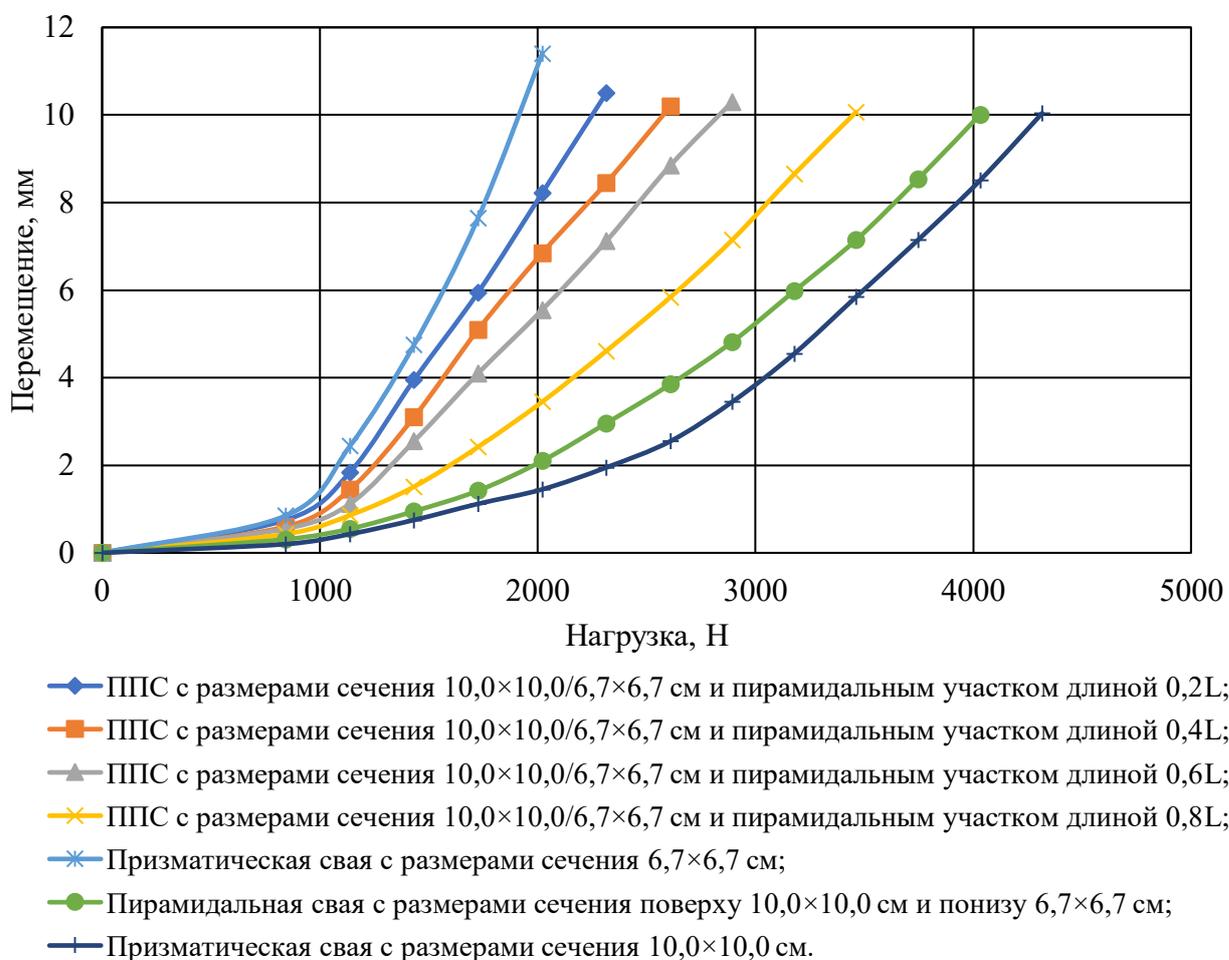


Рисунок 3.24 – Зависимость перемещения головной части свай от статической горизонтальной нагрузки

Таблица 3.20 – Значения коэффициентов относительной эффективности опытных свай  $J_{gp}$  по горизонтальному перемещению

Коэффициенты относительной эффективности	Значения коэффициентов для опытных свай с длиной пирамидального участка			
	0,2L	0,4L	0,6L	0,8L
$J_{gp1}$	1,17	1,35	1,48	1,80
$J_{gp2}$	0,52	0,60	0,65	0,80
$J_{gp3}$	0,56	0,64	0,70	0,85
Примечания 1 $J_{gp1}$ , $J_{gp2}$ и $J_{gp3}$ – коэффициенты, относящиеся соответственно к свае призматической формы с размерами сечения 6,7×6,7 см, свае призматической формы с размерами сечения 10,0×10,0 см и свае пирамидальной формы; 2 L – тоже, что в таблице 3.15.				

Испытаниями свай действию горизонтальной нагрузки выявлено увеличение несущей способности опытных свай по сравнению с призматической свай с размерами сечения 6,7×6,7 см. Превышение составило в 1,17-1,80 раза. Снижение сопротивляемости поперечной нагрузке наблюдается у ППС по сравнению с призматической свай с размерами сечения 10,0×10,0 см и с пирамидальной свай. Величина этого снижения относительно указанных контрольных свай, соответственно оказалась равной 20,0-47,7% и 14,4-44,1%. Увеличение длины пирамидальной части ППС в 2-4 раза сопровождается ростом несущей способности свай в 1,14-1,53 раза.

Для качественной оценки поведения сравниваемых свай при действии поперечной нагрузки по формуле, приведенной в работе [43, с. 35], вычислены значения глубины условной заделки сваи  $l$  в грунт (расстояния от верха сваи до точки перегиба сваи). Этот параметр представляет собой длину верхней части сваи, в пределах которой происходит ее деформирование и изгиб от действия нагрузки. Из таблицы 3.21 видно, что у опытных свай, значения глубины условной заделки  $l$  меньше, чем у пирамидальной сваи и призматической сваи большего сечения, но больше, чем у призматической сваи меньшего сечения. По мере увеличения длины пирамидального участка ППС глубина их условной заделки  $l$  возрастает. Таким образом, результаты испытаний свидетельствуют о том, что выявленные различия в поведении опытных и контрольных свай продиктованы их разной жесткостью, представляющей собой, произведение модуля упругости бетона свай и момента инерции их сечений. Сваи с большей жесткостью обладают более высокой сопротивляемостью действию горизонтальной нагрузке.

Таблица 3.21 – Значения глубины условной заделки свай  $l$  при действии горизонтальной нагрузки

Виды свай	Модуль упругости бетона, МПа	Момент инерции поперечного сечения ствола сваи, см <sup>4</sup>	Глубина условной заделки свай $l$ , см
1	2	3	4
ППС с размерами сечения 10,0×10,0/6,7×6,7 см и пирамидальным участком длиной 0,2L	23·10 <sup>3</sup>	214,6	51

Продолжение таблицы 3.21

1	2	3	4
Тоже, длиной 0,4L		262,7	53
Тоже, длиной 0,6L		308,4	55
Тоже, длиной 0,8L		355,6	59
Призматическая свая с размерами сечения 6,7×6,7 см		168,0	49
Призматическая свая с размерами сечения 10,0×10,0 см		834,0	73
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 10,0×10,0 см и понизу 6,7×6,7 см		405,1	62
Примечание - L – тоже, что и в таблице 3.15.			

Сравнение результатов полевых испытаний и лабораторных опытов показывает, что в качественном отношении они идентичны, а в количественном – несколько отличаются друг от друга. Эти различия касаются коэффициента относительной эффективности свай  $J_{gp}$  по горизонтальному перемещению. Так значения данного коэффициента в полевых испытаниях составили 0,56-1,80, а в лабораторных опытах – 0,46-1,93.

*Испытания свай на действие выдергивающей нагрузки.* Результаты испытаний представлены на рисунке 3.25, а также в таблицах 3.22 и 3.23. Сравнительная оценка сопротивляемости свай действию выдергивающей нагрузки производилась на основе коэффициентов  $J_v$  ( $J_{vx}$ ), указанных в параграфе 3.2.4, но установленных применительно к крупномасштабным моделям свай (именуемым сваями).

Таблица 3.22 – Значения несущей способности  $F_{d,v}$  и характеристическая величина сопротивления  $R_{t,k}$  свай при действии выдергивающей нагрузки

Виды свай	Несущая способность свай $F_{d,v}$ , Н	Характеристическая величина сопротивления свай $R_{t,k}$ , Н
ППС с размерами сечений 10,0×10,0/6,7×6,7 см и пирамидальным участком длиной 0,2L	1180	842,85
Тоже, длиной 0,4L	1428	1020,0
Тоже, длиной 0,6L	1715	1225,0
Тоже, длиной 0,8L	2012	1437,14
Призматическая свая с размерами сечения 6,7×6,7 см	1130	807,14
Призматическая свая с размерами сечения 10,0×10,0 см	2135	1525,0
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 10,0×10,0 см и понизу 6,7×6,7 см	2308	1648,6
Примечание - L – тоже, что и в таблице 3.15.		

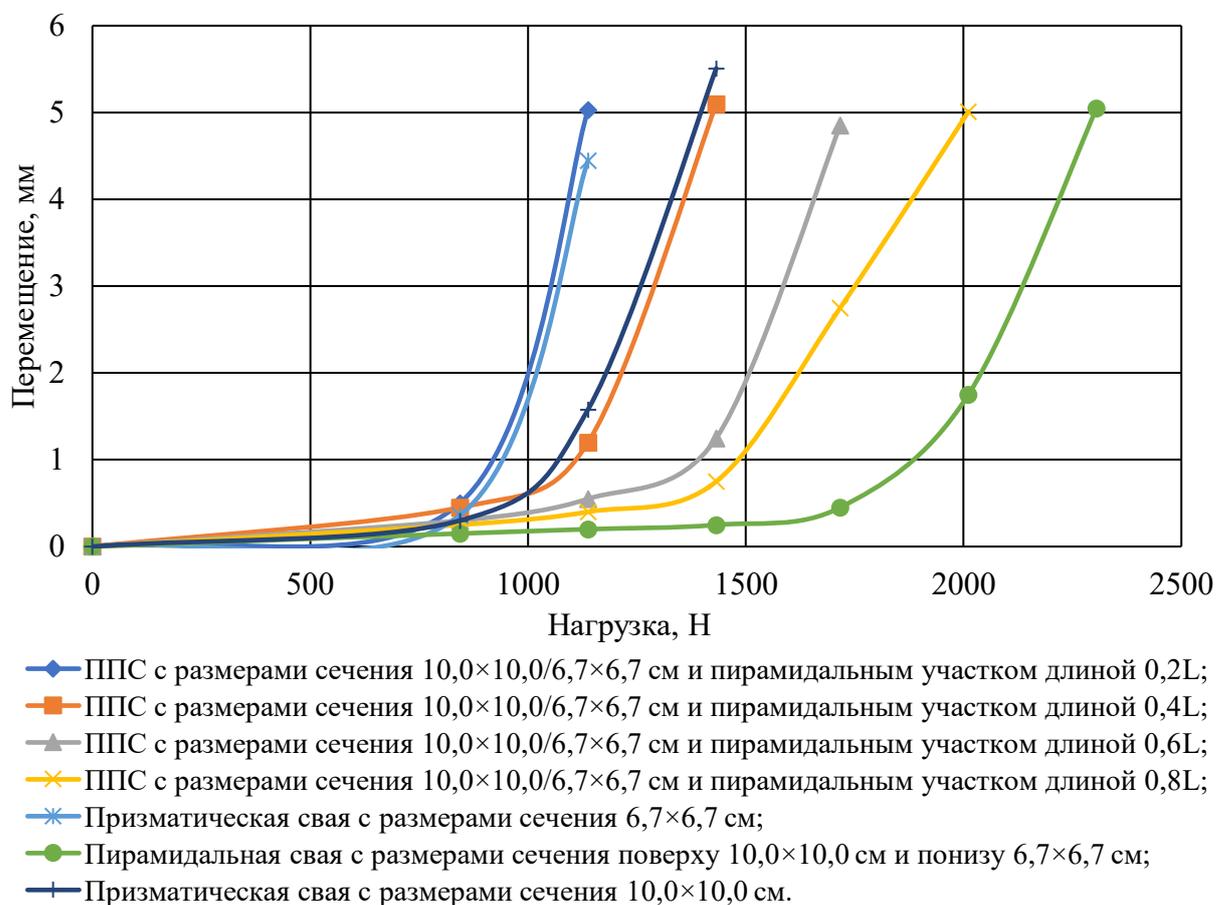


Рисунок 3.25 – Зависимость вертикального перемещения свай от выдергивающей нагрузки

Таблица 3.23– Значения коэффициентов относительной эффективности свай по выдергиванию  $J_v$  ( $J_{vx}$ )

Коэффициенты относительной эффективности	Значения коэффициентов для опытных свай с длиной пирамидального участка			
	0,2L	0,4L	0,6L	0,8L
$J_{v1}$ ( $J_{vx1}$ )	1,04	1,26	1,52	1,78
$J_{v2}$ ( $J_{vx2}$ )	0,55	0,67	0,80	0,94
$J_{v3}$ ( $J_{vx3}$ )	0,51	0,62	0,74	0,87
Примечания 1 $J_{v1}$ ( $J_{vx1}$ ), $J_{v2}$ ( $J_{vx2}$ ) и $J_{v3}$ ( $J_{vx3}$ ) – коэффициенты, относящиеся соответственно к призматической свае с размерами сечения 6,7×6,7 см, призматической свае с размерами сечения 10,0×10,0 см и свае пирамидальной формы; 2 L – тоже, что и в таблице 3.15.				

Из результатов испытаний следует, что несущая способность ППС в 1,04-1,78 раза превышает несущую способность призматической сваи с размерами сечения 6,7×6,7 см. Но, по сравнению с призматической сваей с размерами сечения 10,0×10,0 см и пирамидальной сваей несущая способность опытных свай меньше соответственно на 5,8-44,7% и на 12,8-48,9%. С

увеличением длины пирамидального участка в 2-4 раза сопротивляемость ППС выдергивающей нагрузке возрастает в 1,21-1,70 раза.

Повышенная сопротивляемость опытных свай выдергивающей нагрузке по сравнению с призматической свайю малого поперечного сечения (6,7×6,7 см) объясняется следующим образом. При выдергивании ППС, грунт, залегающий вдоль ее наклонных граней, осыпается, заполняя полость, которая высвобождается свайю при ее перемещении вверх. В результате такого поведения грунта процесс движения ППС вверх заметно усложняется с проявлением эффекта заземления нижней части ствола сваи в грунте. Причем данный эффект тем выше, чем больше длина пирамидального участка ППС. Это вызывает повышение сопротивляемости ППС выдергивающей нагрузке. Для призматической сваи, которая не имеет наклонных граней, подобное поведение грунта при действии выдергивающей нагрузки не характерно.

Пониженная сопротивляемость ППС по сравнению с призматической свайю большего поперечного сечения (10,0×10,0 см) и пирамидальной свайю вызвана тем, что они, в отличие от опытной сваи, обладают большей площадью контакта с грунтом при их выдергивании вверх.

Сравнение результатов экспериментов, проведенных в лабораторных и в полевых условиях, показывает, что в качественном отношении они одинаковы, но в количественном - несколько отличаются друг от друга. Эти различия касаются коэффициентов относительной эффективности свай  $J_v$  ( $J_{vx}$ ) по выдергиванию. Так значения этих коэффициентов в полевых испытаниях составили 0,51-1,78, а в лабораторных экспериментах - 0,55-1,54.

### **Выводы по 3 главе**

На основе результатов экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и полевых условиях, можно сформулировать следующие основные выводы:

1) Забивка опытных свай сопровождается значительным деформированием грунта по сравнению с призматическими и пирамидальными сваями. Ширина деформированной зоны грунта вокруг опытных свай на 5,0-32,0% больше, чем вокруг сравниваемых свай. Оптимальные расстояния между сваями в зависимости от размеров их пирамидального участка следует назначать равным от 3d до 4d.

2) Затраты энергии на забивку опытных свай с длиной пирамидального участка 1-4 м и размерами его верхнего сечения от 30×30 см до 50×50 см в 1,05-2,48 раза выше, чем при забивке призматической сваи с размерами поперечного сечения 20×20 см. Энергетические затраты на погружение ППС в зависимости от длины и размеров верхнего сечения пирамидального участка, а также вида грунта на 3,0-59,0% меньше аналогичных затрат на забивку призматической сваи с размерами сечения 30×30 см. В зависимости от вида грунта и длины пирамидального участка

энергетические затраты на погружение опытных свай на 9,0 - 49,0% ниже, чем на забивку пирамидальной свай.

3) С увеличением длины пирамидального участка опытных свай от 1 до 4 м и размеров верхнего сечения их пирамидального участка в 1,33-1,67 раза энергетические затраты на их забивку повышаются соответственно в 1,24-1,74 раза и 1,07-1,42 раза. Забивка свай в глинистый грунт сопровождается большими затратами энергии, чем в песчаный грунт (в 1,72-2,55 раза).

4) Увеличение длины пирамидального участка опытных свай от 1 до 4 м приводит к повышению удельных энергетических затрат на их забивку в 1,25-1,71 раза по сравнению с призматической свайей с размерами сечения 20×20 см, а также к снижению аналогичных затрат на 1,38-27,80% по сравнению с пирамидальной свайей и призматической свайей с размерами сечения 30×30 см.

5) Увеличение размеров верхнего сечения пирамидального участка ППС в 1,33-1,67 раза (при длине пирамидального участка 1 и 2 м) вызывает повышение их удельной энергоемкости забивки в 1,24-1,32 раза по сравнению с призматической свайей с размерами сечения 20×20 см, а также к незначительному снижению подобных затрат (на 1,1-4,8%) по сравнению с пирамидальной свайей и призматической свайей с размерами сечения 30×30 см.

6) Удельная энергоемкость забивки опытных свай тем выше, чем больше длина их пирамидального участка (в 1,04-1,33 раза). Удельная энергоемкость забивки опытных свай в глинистый грунт выше, чем при их забивке в песчаный грунт (1,74 до 2,60 раза);

7) При действии статической вдавливающей нагрузки несущая способность ППС выше, чем несущая способность призматических свай с размерами сечения 20×20 см и 30×30 см соответственно в 1,23-2,80 раза и 1,03-1,65 раза. Несущая способность ППС по сравнению с пирамидальной свайей ниже на 6,42-24,77%. С увеличением длины пирамидального участка ППС и размеров поперечного сечения верха их пирамидального участка в 1,33-1,67 раза несущая способность опытных свай увеличивается в 1,24-3,52 раза. Несущая способность ППС при действии вдавливающей нагрузки в глинистом грунте в 1,03-1,62 раза выше, чем в песчаном грунте.

8) Удельная несущая способность ППС выше, чем удельная несущая способность призматических свай с размерами сечения 20×20 см и 30×30 см соответственно в 1,15-2,40 раза и 1,42-2,60 раза. Удельная несущая способность ППС по сравнению с пирамидальной свайей ниже на 3,90-41,0%. Увеличение длины пирамидального участка ППС и размеров сечения верха их пирамидального участка сопровождается ростом удельной несущей способности свай соответственно в 1,11-1,32 раза и 1,15-1,64 раза.

9) Сопротивляемость ППС действию статической горизонтальной нагрузки выше в 1,13-2,27 раза по сравнению с призматической свайей с размерами сечения 20×20 см и меньше соответственно на 2,0-54,0% и 7,0-49,0%, чем сопротивляемость призматической свайи с размерами сечения 30×30 см и пирамидальной свайей. С увеличением длины пирамидального

участка 2-4 раза и размеров поперечного сечения верха их пирамидального участка в 1,33-1,67 раза сопротивляемость опытных свай действию горизонтальной нагрузки повышается соответственно в 1,09-1,71 раза и 1,18-1,69 раза. Сопротивляемость ППС горизонтальной нагрузке в глинистом грунте в 1,25-1,73 раза больше, чем в песчаном грунте.

10) Несущая способность ППС действию выдергивающей нагрузки в 1,04-1,78 раза выше по сравнению с призматической свайей с размерами сечения 20×20 см и меньше соответственно на 6,0-45,0% и 8,0-49,0%, чем несущая способность призматической свайей с размерами сечения 30×30 см и пирамидальной свайей. С увеличением длины пирамидального участка в 2-4 раза и размеров поперечного сечения верха их пирамидального участка в 1,33-1,67 раза несущая способность опытных свай действию выдергивающей нагрузки возрастает соответственно в 1,09-1,33 раза и 1,15-1,41 раза. Несущая способность ППС при действии выдергивающей нагрузки в песчаном грунте в 1,25-1,73 раза больше, чем в глинистом грунте.

## 4 МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПИРАМИДАЛЬНО-ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ПРИМЕНЕНИЮ

### 4.1 Метод расчета несущей способности свай при действии вертикальной вдавливающей нагрузки

Исходя из особенностей продольной формы ППС, составлена расчетная схема силового взаимодействия опытной сваи с окружающим грунтом при действии вдавливающей статической нагрузки (рисунок 4.1). Из схемы следует, что сопротивление грунта вдавливанию сваи, складывается из следующих сопротивлений:

- 1) под нижним концом сваи – из лобового сопротивления грунта, залегающего ниже острия сваи  $R$ ;
- 2) вдоль пирамидальной части сваи – из сопротивления грунта трению  $f_{pu}$  и сопротивления отпора грунта  $P_{go}$ ;
- 3) вдоль призматической части сваи – из сопротивления грунта трению  $f_{pr}$ .

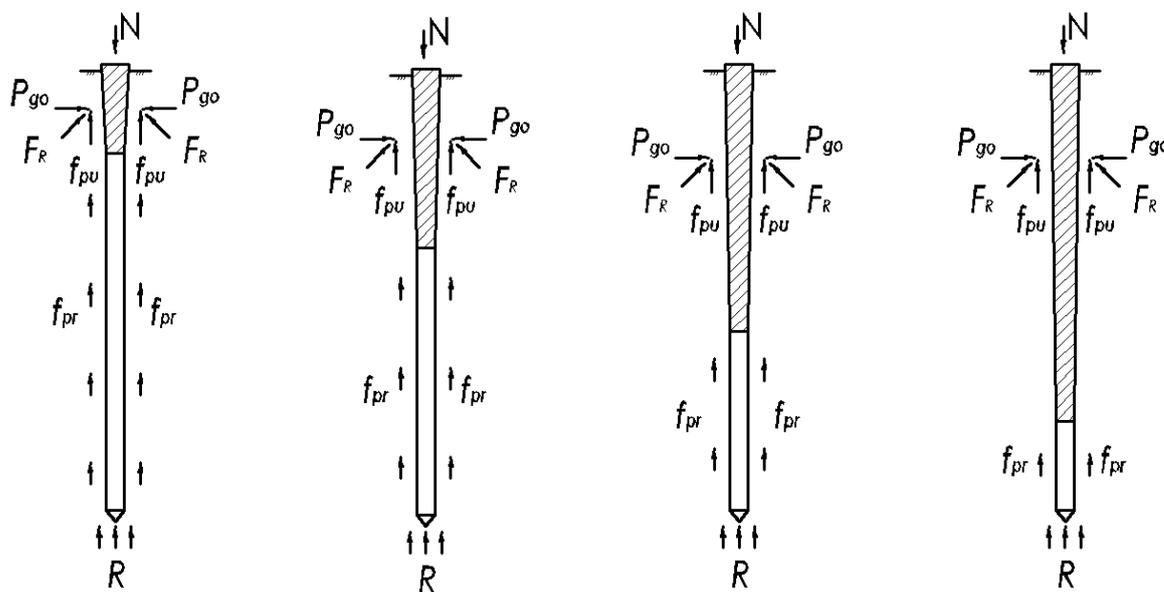


Рисунок 4.1 – Схемы действия сил сопротивления грунта при передаче на сваи вдавливающей статической нагрузки

Таким образом, несущая способность ППС состоит из несущей способности грунта под нижним концом сваи  $F_d^R$ , несущей способности грунта по наклонной боковой поверхности сваи  $F_d^{pu}$  и несущей способности грунта по вертикальной боковой поверхности сваи  $F_d^{pr}$  (формула 4.1).

$$F_d = F_d^R + F_d^{pr} + F_d^{pu} = F_d^R + F_d^{pr} + (F_{d,mp}^{pu} + F_{d,omnp}^{pu}), \quad (4.1)$$

Принимая во внимание расчетную схему (рисунок 4.1), формулу (4.1), а также учитывая порядок структурного построения формул (8) и (9), представленных в действующем нормативном документе [104, с.18], и используемых соответственно для расчета несущей способности призматической и пирамидальной свай, по аналогии, предложена формула для расчета несущей способности ППС [113]. В окончательном варианте данная формула представлена в виде (4.2).

$$F_d = \gamma_c \{ \gamma_{cR} RA + [ \sum (h_{pu,i} u_{pu,i} f_{pu,i}) + \sum (h_{pu,i} u_{pu,i} i_{pu,p} E_{pu,i} k_{pu,i} \zeta_r) ] + [ u_{pr} \gamma_{cf} \sum (f_{pr,i} h_{pr,i}) ] \}, \quad (4.2)$$

где:

$h_{pu,i}$  – толщина  $i$ -го слоя грунта в пределах глубины погружения пирамидальной части ствола сваи, принимаемая не более 1,0 м;

$f_{pu,i}$  – расчетное сопротивление грунта каждого  $i$ -того однородного слоя на боковой поверхности пирамидальной части ствола сваи, кПа, определяемое в соответствии с требованиями свода правил [104, с.18];

$u_{pu,i}$  – периметр поперечного сечения пирамидальной части ствола сваи в середине  $i$ -го однородного слоя грунта;

$i_{pu}$  – наклон боковых граней пирамидальной части ствола сваи (в долях единицы);

$E_{pu,i}$  – модуль деформации грунта каждого  $i$ -того однородного слоя, залегающего вдоль боковой поверхности пирамидальной части ствола сваи, кПа, определяемый в соответствии с требованиями свода правил [104, с.18];

$k_{pu,i}$  – коэффициент для каждого  $i$ -того однородного слоя грунта, залегающего вдоль боковой поверхности пирамидальной части ствола сваи, принимаемый в соответствии с требованиями свода правил [104, с.18];

$h_{pr,i}$  – толщина  $i$ -го слоя грунта в пределах высоты призматической части ствола сваи (делится на однородные слои толщиной не более 1,0м);

$u_{pr}$  – периметр поперечного сечения призматической части ствола сваи, м;

$f_{pr,i}$  – расчетное сопротивление грунта каждого  $i$ -того однородного слоя по боковой поверхности призматической части ствола сваи, кПа, и определяемое в соответствии с требованиями свода правил [104, с.18].

Наименования остальных параметров ( $\gamma_c$ ,  $\gamma_{cR}$ ,  $R$ ,  $A$ ,  $\zeta_r$ ,  $\gamma_{cf}$ ), входящих в формулу (4.2), соответствуют своду правил [104, с. 18] и их значения принимаются в соответствии с этим документом.

Для проверки достоверности результатов, получаемых по формуле (4.2), выполнен сравнительный анализ данных. При этом сопоставлению подвергались расчетные ( $J_n^{ri}$ ) и экспериментальные значения ( $J_n^{pi}$ ) коэффициентов относительной эффективности свай по несущей способности. Расчетные значения коэффициентов эффективности ( $J_n^{ri}$ ) устанавливались на основе расчетных значений несущей способности свай, которые в свою очередь, определялись следующим образом:

- для контрольных призматических свай - по формуле (8) свода правил [104, с.18];
- для контрольной пирамидальной сваи - по формуле (9) свода правил [104, с.18];
- для опытных свай – по формуле 4.2.

Результаты работ по определению расчетных значений несущей способности свай представлены в таблице 4.1 [117-119]. При этом расчеты выполнялись:

- для контрольных призматических свай длиной 5 м с размерами сечения 20×20 см и 30×30 см;
- для контрольной пирамидальной сваи длиной 5 м с размерами сечения поверху 30×30 см, и понизу – 20×20 см;
- для опытных свай длиной 5 м с пирамидальным участком 1, 2, 3 и 4 м, размерами сечения поверху пирамидального участка 30×30 см и размерами сечения призматической части 20×20 см.

В рассматриваемых расчетах в качестве грунтовых условий приняты однородные напластования глинистых грунтов со следующими показателями:

- показателем текучести:  $I_L = 0,3-0,7$ ;
- модулем деформации:  $E = 17,0$  МПа;  $E = 15,0$  МПа;
- коэффициентом пористости:  $e=0,69$ .

Таблица 4.1 - Расчетные значения несущей способности свай

Вид сваи	Значения расчетной несущей способности $F_d$ , кН, при показателе текучести грунта $I_L$				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
ППС с размерами сечения 30×30/20×20 см и пирамидальным участком длиной 1,0 м	584,6	515,9	471,1	415,4	377,9
Тоже, длиной 2,0 м	606,8	536,9	491,8	435,5	397,6
Тоже, длиной 3,0 м	625,1	553,7	507,6	453,0	413,8
Тоже, длиной 4,0 м	642,9	575,9	523,0	467,9	426,9
Призматическая свая с размерами сечения 20×20 см	232,8	164,9	120,8	80,5	43,4
Призматическая свая с размерами сечения 30×30 см	433,2	307,8	220,2	144,8	77,1
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу – 20×20 см	659,8	596,1	539,4	482,1	438,7

В таблице 4.2 приведены расчетные ( $J_n^{pi}$ ) и экспериментальные ( $J_n^{pi}$ ) значения коэффициентов относительной эффективности свай. Экспериментальные значения ( $J_n^{pi}$ ) коэффициентов эффективности приняты из таблицы 3.6. Данные, указанные в этой таблице, относятся к глинистым грунтам однородного напластования с показателем текучести  $I_L = 0,5$ .

Таблица 4.2 - Значения коэффициентов относительной эффективности свай по несущей способности, установленные по результатам расчетов и полевых испытаний

Коэффициенты относительной эффективности свай по несущей способности		Значения коэффициентов $J_n^{ri}$ для ППС с длиной пирамидального участка (м)			
		1	2	3	4
$J_1$	$J_{n1}^{ri}$	2,51-8,72	2,61-9,16	2,68-9,53	2,72-9,83
	$J_{n1}^{pi}$	1,09-1,11	1,15-1,24	1,36-1,50	1,41-1,55
$J_2$	$J_{n2}^{ri}$	1,35-4,90	1,40-5,16	1,44-5,36	1,48-5,53
	$J_{n2}^{pi}$	0,75-0,83	0,84-0,87	1,02-1,04	1,05-1,07
$J_3$	$J_{n3}^{ri}$	0,86-0,88	0,90-0,92	0,94-0,95	0,97
	$J_{n3}^{pi}$	0,64-0,66	0,67-0,74	0,80-0,89	0,83-0,92

Примечания  
 1  $J_{n1}^{ri}$  и  $J_{n1}^{pi}$  - коэффициенты, установленные соответственно по результатам расчетов и полевых исследований, относящиеся к свае призматической формы с размерами сечения 20×20 см;  
 2  $J_{n2}^{ri}$  и  $J_{n2}^{pi}$  - то же, относящиеся к свае призматической формы с размерами сечения 30×30 см;  $J_{n3}^{ri}$  и  $J_{n3}^{pi}$  - то же, относящиеся к свае пирамидальной формы с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см.

Из таблицы 4.2 видно, что расчетные значения  $J_n^{ri}$  коэффициентов эффективности, превышают их экспериментальные значения  $J_n^{pi}$ . Это обстоятельство свидетельствует о том, что формула 4.2 позволяет получать несколько завышенные данные. Следовательно, целесообразно введение в состав формулы (4.2) корректирующего (понижающего) коэффициента  $\eta$ . Допуская, что причиной несоответствия расчетных и экспериментальных данных может служить сочетание в опытных сваях двух геометрических форм (пирамидальной и призматической), коэффициент  $\eta$  вводится к той части формулы (4.2), которая обозначает сопротивляемость грунта вдоль наклонных граней опытной сваи.

С учетом приведенных доводов, формула по определению корректирующего коэффициента  $\eta$  представлена в виде

$$\eta = \frac{\{F_d^n - (F_d^{ori} + F_d^{pri})\} \gamma_c}{(F_{d,mp}^{ri} + F_{d,omn}^{ri}) \gamma_c} = \frac{\{F_d^n - [(\gamma_{cR} RA) + (u_{pr} \gamma_{cf} \sum (f_{pr,i} h_{pr,i}))]\} \gamma_c}{[\sum (h_{pu,i} u_{pu,i} f_{pu,i}) + \sum (h_{pu,i} u_{pu,i} i_{pu,p} E_{pu,i} k_{pu,i} \zeta_r)] \gamma_c}, \quad (4.3)$$

где:

$F_d^n$  - расчетная несущая способность опытной сваи, кН, определяемая в виде  $F_d^n = F_{d,v}^n V_n$ ;

$F_{d,v}^n$  - удельная несущая способность опытной сваи, кН/м<sup>3</sup>, определяемая по результатам полевых испытаний (таблица 3.17);

- $V_n$  - объем погруженной части опытной сваи в грунт, м<sup>3</sup>;
- $F_d^{ori}$  - расчетная несущая способность острия опытной сваи, кН;
- $F_d^{pri}$  - расчетная несущая способность призматической части опытной сваи, кН;
- $F_{d,mp}^{ri}$  - расчетная несущая способность пирамидального участка опытной сваи, формирующаяся за счет сил трения грунта, кН;
- $F_{d,omnp}^{ri}$  - расчетная несущая способность пирамидального участка опытной сваи, формирующаяся за счет сил отпора грунта, кН;

Вычисления, выполненные на основе формулы (4.3), позволили установить, что значения коэффициента  $\eta$  изменяются от 0,12 до 0,45 (таблица 4.3) и зависят как от длины пирамидального участка сваи, так и от показателя текучести глинистого грунта. При этом, для определения коэффициента  $\eta$  для глинистого грунта, показатель текучести которого отличался от показателя текучести грунта опытной площадки, использовался принцип пропорциональных расчетов.

Таблица 4.3 - Значения коэффициента  $\eta$

Показатель текучести глинистого грунта $I_L$	Значения коэффициента $\eta$ для ППС с длиной пирамидального участка			
	1	2	3	4
0,3	0,12	0,17	0,26	0,33
0,4	0,18	0,22	0,31	0,36
0,5	0,19	0,23	0,35	0,40
0,6	0,20	0,25	0,38	0,42
0,7	0,25	0,31	0,42	0,45

Данные, представленные в таблице 4.3, достаточно хорошо описываются следующей линейной функцией (рисунок 4.2)

$$\eta = al + e, \quad (4.4)$$

где:

$l$  – длина пирамидального участка сваи;

$a$  и  $e$  – параметры, принимаемые по таблицам 4.4 в зависимости от показателя текучести глинистых грунтов.

Таблица 4.4. -Значения параметров  $a$  и  $e$

Показатель текучести глинистого грунта $I_L$	Значения параметров		Показатель аппроксимации $R^2$
	$a$	$e$	
0,3	0,072	0,04	0,989
0,4	0,063	0,11	0,978
0,5	0,086	0,065	0,958
0,6	0,079	0,115	0,955
0,7	0,071	0,18	0,959

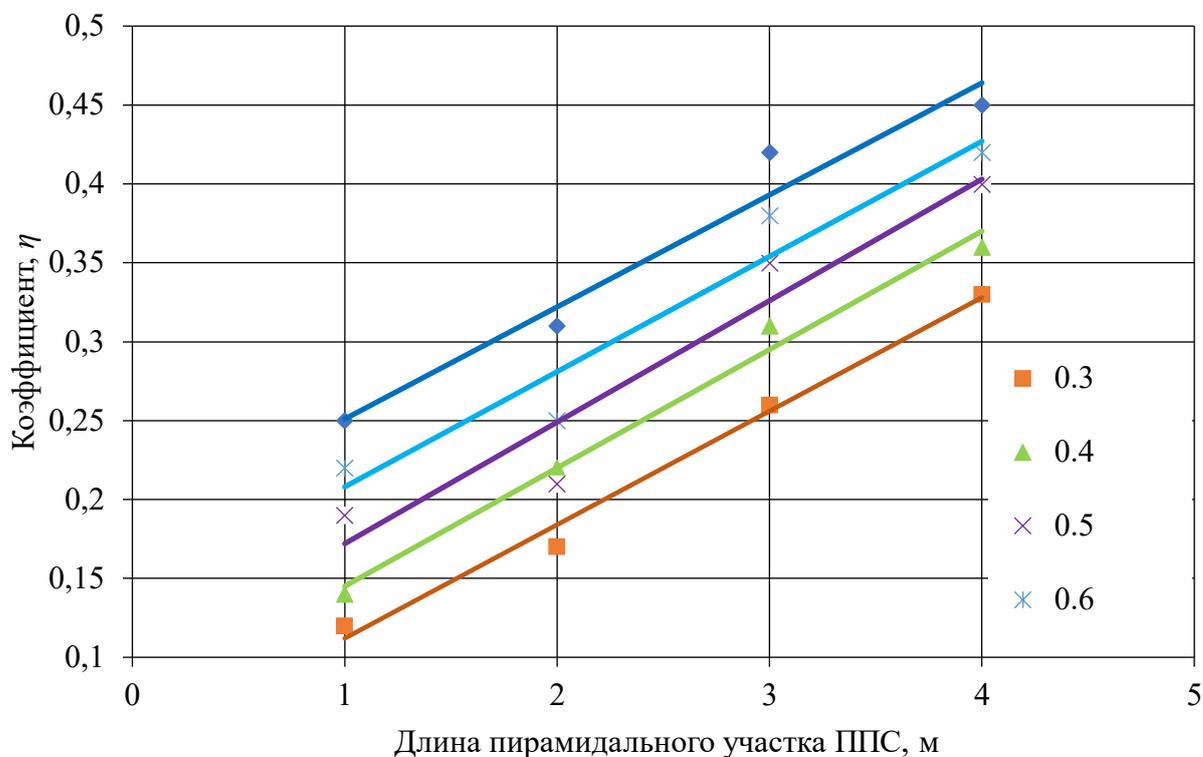


Рисунок 4.2 – Зависимость коэффициента  $\eta$  от длины пирамидального участка опытных свай в однородных глинистых грунтах

Из таблицы 4.4 видно, что значения показателя аппроксимации  $R^2$  близки к 1,0, что свидетельствует о высокой достоверности результатов, получаемых по формуле (4.4). Поэтому данная формула, как и таблица 4.3, рекомендуется к использованию для определения коэффициента  $\eta$  при погружении свай в однородные глинистые грунты.

Таким образом, с учетом коэффициента  $\eta$ , формула (4.2) может быть представлена в следующем виде:

$$F_d = \gamma_c \{ \gamma_{cR} RA + \eta [ \sum (h_{pu,i} u_{pu,i} f_{pu,i}) + \sum (h_{pu,i} u_{pu,i} i_{pu,p} E_{pu,i} k_{pu,i} \zeta_r) ] + [ u_{pr} \gamma_{cf} \sum (f_{pr,i} h_{pr,i}) ] \}, \quad (4.5)$$

Коэффициента  $\eta'$  при погружении опытных свай в однородное напластование песчаных грунтов устанавливался по следующей формуле

$$\eta' = \frac{\eta \left( \frac{F_{d,g}}{k_{np}} \right)}{F_{d,g}} = \frac{\eta}{k_{np}}, \quad (4.6)$$

где:

$\eta$  – коэффициент, определяемый для глинистого грунта;

$F_{d,g}$  - расчетная несущая способность опытной сваи в глинистом грунте, кН, устанавливаемая по формуле 4.5;

$k_{np}$  - коэффициент превышения несущей способности опытной сваи в глинистом грунте над ее несущей способностью в песчаном грунте, принимаемая по результатам испытаний, представленных в параграфе 3.2.2 (таблице 4.5).

Таблица 4.5 – Значения коэффициента превышения  $k_{np}$

Значения коэффициента превышения $k_{np}$ для опытных свай с длиной пирамидального участка, м			
1	2	3	4
1,60	1,62	1,64	1,65

Результаты расчетов, выполненные по формуле (4.6), представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Значения коэффициента  $\eta'$  для песчаных грунтов

Вид песчаного грунта (средней плотности)	Значения коэффициента $\eta'$ для опытных свай с длиной пирамидального участка			
	1	2	3	4
мелкий	0,072	0,101	0,163	0,208
пылеватый	0,111	0,131	0,193	0,228

Данные, приведенные в таблице 4.6, описываются следующей линейной функцией (рисунок 4.3)

$$\eta' = cl + d, \quad (4.7)$$

где:

$l$  – тоже, что в формуле 4.4.

$c$  и  $d$  – параметры, принимаемые по таблицам 4.7 в зависимости от вида песчаного грунта.

Таблица 4.7. - Значения параметров  $c$  и  $d$

Песок средней плотности	Значения параметров		Значения показателя аппроксимации $R^2$
	$c$	$d$	
мелкий	0,047	0,018	0,983
пылеватый	0,041	0,062	0,966

Из таблицы 4.7 следует, что значения показателя аппроксимации  $R^2$  достаточно близки к 1,0, что свидетельствует о высокой достоверности результатов, получаемых по формуле (4.7). Поэтому данная формула, как и таблица 4.7, рекомендуется к использованию для определения коэффициента  $\eta'$  при погружении свай в однородные песчаные грунты.

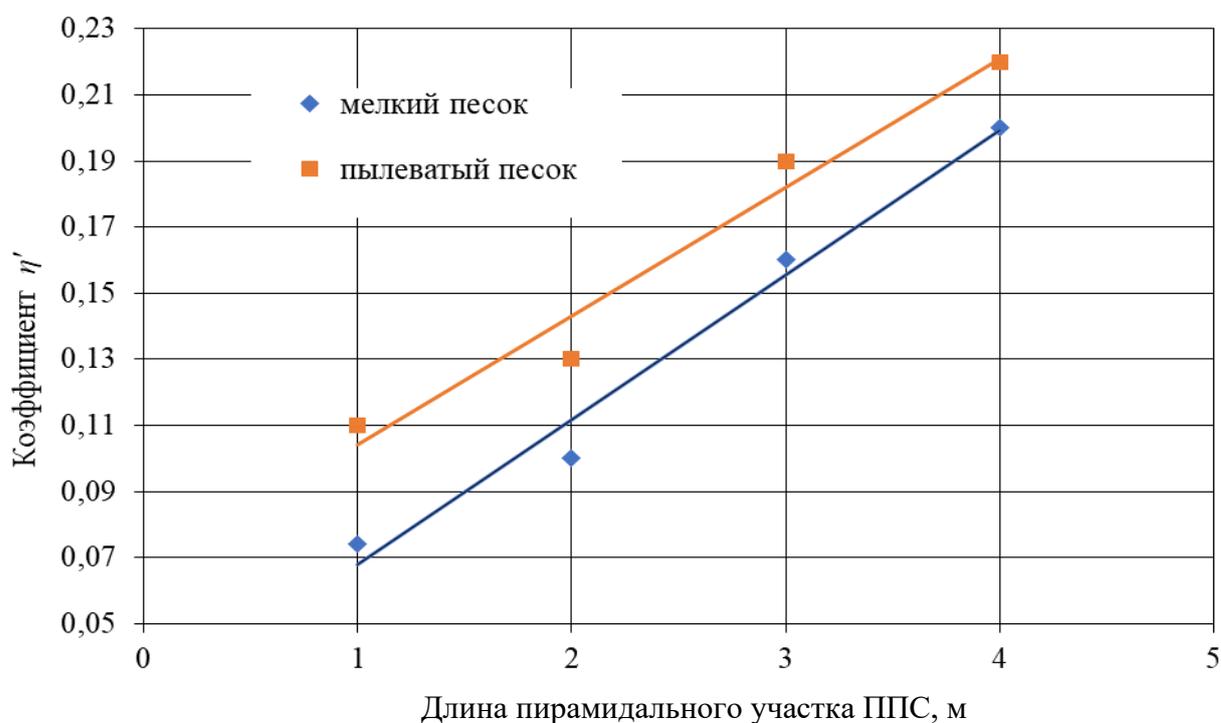


Рисунок 4.3 – Зависимость коэффициента  $\eta'$  от длины пирамидального участка опытных свай в однородных песчаных грунтах

Формула (4.5) может быть использована и при погружении свай в однородные песчаные грунты. При этом в ней вместо значений коэффициента  $\eta$  следует принимать значения коэффициента  $\eta'$ .

Представленный метод расчета несущей способности ППС реализован в виде прикладной программы, позволяющей выполнять необходимые расчеты с применением ПК. Описание, алгоритм и интерфейс программы представлены в Приложении Б.

## 4.2 Метод расчета сопротивляемости свай горизонтальной нагрузке

Определение несущей способности опытных свай при действии горизонтальной статической нагрузки и перемещении их головной части на 10 мм производится по формуле (4.8) с помощью коэффициента относительной эффективности по горизонтальному перемещению сваи  $J_{gp}$ . При этом расчеты выполняются относительно несущей способности одной из контрольных свай.

$$F_{d,gp} = F_{d,gt} J_{gp}, \quad (4.8)$$

где:

$F_{d,gt}$  - несущая способность призматической сваи с размерами сечения 20×20 см или призматической сваи с размерами сечения 30×30 см, либо пирамидальной сваи с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см, кН;

$J_{gp}$  – коэффициент относительной эффективности по горизонтальному перемещению свай, принимаемый по таблице 3.20.

При отсутствии экспериментальных данных о несущей способности контрольных свай для их назначения допускается использовать данные, представленные в таблице 4.8, которые получены на основе обработки существующих материалов испытаний свай на горизонтальную нагрузку [120].

Таблица 4.8 - Несущая способность свай  $F_{d,gt}$  при горизонтальном перемещении их головной части на 10 мм

Виды грунтов, залегающих непосредственно в пределах глубины заделки свай	Глубина заделки свай	Несущая способность, кН,		
		призматической свай с размерами сечения 20 × 20 см	призматической свай с размерами сечения 30 × 30 см	пирамидальной свай с размерами сечения поверху 30×30 см и по низу 20×20 см
при залегании выше уровня подземных вод				
Пески средней плотности; Супеси пластичные ( $I_L = 0 - 1,0$ ); Суглинки и глины тугопластичные ( $I_L = 0,25 - 0,50$ ).	$5d$	60	130	121
при залегании ниже уровня подземных вод				
Пески средней плотности; Супеси пластичные ( $I_L = 0 - 1,0$ ); Суглинки и глины тугопластичные ( $I_L = 0,25 - 0,50$ ).	$6d$	27,5	60	56
Пески пылеватые, рыхлые, супеси пластичные ( $I_L = 0 - 1,0$ ); Суглинки и глины мягкопластичные ( $I_L = 0,50 - 0,75$ )	$7d$	11,5	25	23
Суглинки и глины текучепластичные ( $I_L = 0,75 - 1,0$ )	$8d$	4,5	10	9,5
Примечание – $d$ – размер поперечного сечения свай, м				

Значения коэффициента  $J_{gp}$  в формуле (4.8) рекомендуется устанавливать по формуле (4.9), которая получена по результатам полевых испытаний свай, представленных в таблице 3.20 (рисунок 4.4).

$$J_{gp} = xl + y, \quad (4.9)$$

где:

$x$  и  $y$  – параметры, принимаемые по таблице 4.9;

$l$  – тоже, что в формуле 4.4.

Таблица 4.9 – Параметры  $x$  и  $y$  в формуле (4.9)

Вид контрольной сваи	Значения параметров		Показатель аппроксимации $R^2$
	$x$	$y$	
Призматическая свая с размерами сечения 20×20 см	0,202	0,945	0,963
Призматическая свая с размерами сечения 30×30 см	0,093	0,455	0,959
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см	0,089	0,42	0,950

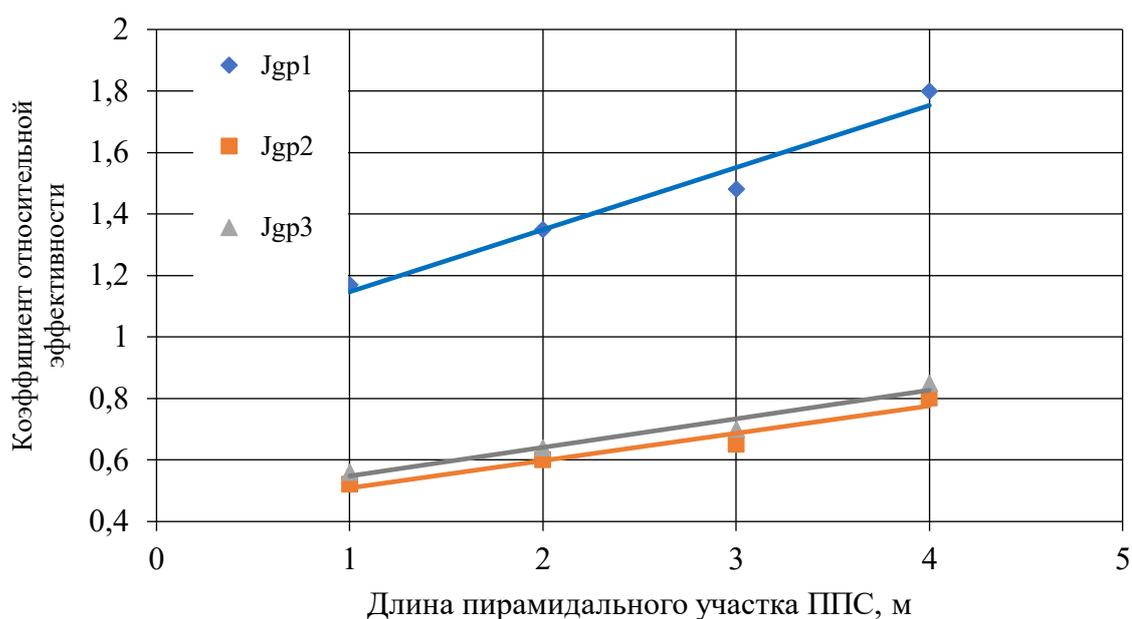


Рисунок 4.4 – Зависимость коэффициента относительной эффективности  $J_{gp}$  по горизонтальному перемещению от длины пирамидального участка опытных свай

Из таблицы 4.9 следует, что значения показателя аппроксимации  $R^2$  достаточно близки к 1,0, что свидетельствует о высокой достоверности результатов, получаемых по формуле (4.9).

Из результатов исследований, представленных в параграфе 3.2.3 следует, что несущая способность ППС в песчаном грунте при действии горизонтальной нагрузки ниже, чем в глинистом грунте. Исходя из этого для использования формулы (4.8) для определения несущей способности свай в песчаных грунтах рекомендуется в ее состав вводить коэффициент  $k_{c,gp}$ . Данный коэффициент позволяет учитывать снижение несущей способности свай в песчаном грунте. С учетом коэффициента  $k_{c,gp}$  формула (4.8) может быть представлена в следующем виде:

$$F_{d,gp} = F_{d,gt} J_{gp} k_{c,gp}, \quad (4.10)$$

Значения коэффициента  $k_{c,gp}$  в формуле (4.10) можно устанавливать по формуле (4.11), которая получена по результатам исследований, представленных в таблице 3.11 (рисунок 4.5).

$$k_{p,gp} = al + b, \quad (4.11)$$

где:

$a$  и  $b$  – параметры, принимаемые соответственно -0,061 и 0,845;

$l$  – тоже, что в формуле 4.4.

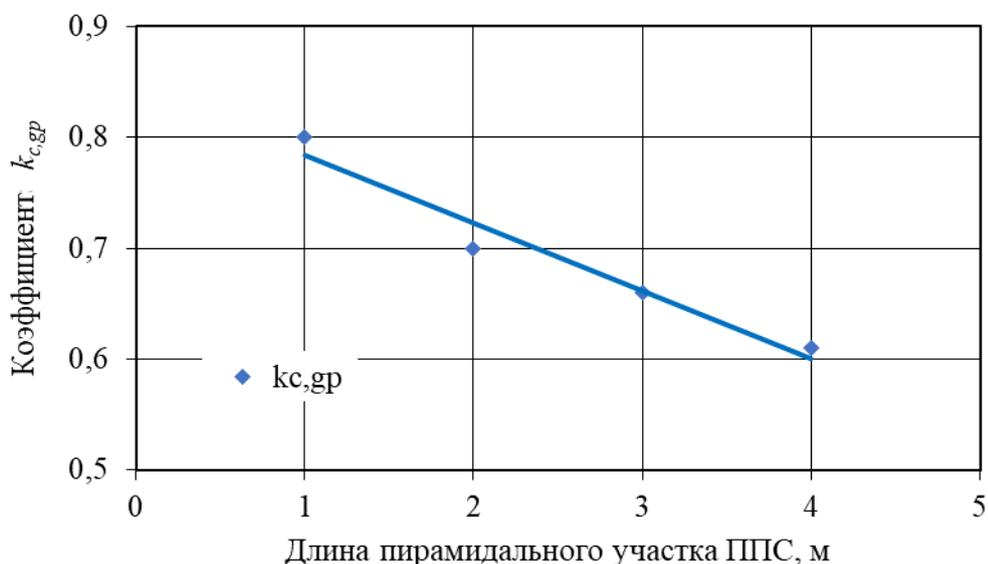


Рисунок 4.5 – Зависимость коэффициента снижения  $k_{c,gp}$  от длины пирамидального участка опытных свай

Значение показателя аппроксимации  $R^2$  составляет 0,955, что свидетельствует о высокой достоверности результатов, получаемых по формуле (4.10).

Формулы (4.8) и (4.10) допускается использовать и при горизонтальных перемещениях головной части опытных свай менее 10 мм. При этом значения несущей способности контрольных свай  $F_{d,gp}$ , представленные в таблице 4.8, необходимо принимать пропорционально уменьшению величины горизонтального перемещения их головной части.

Таким образом, изложенный метод позволяет устанавливать несущую способность ППС как в глинистых грунтах, так и в песчаных грунтах относительно несущей способности одной из традиционных свай.

### 4.3 Метод расчета несущей способности свай при действии выдергивающей нагрузки

Определение несущей способности опытных свай при действии выдергивающей нагрузки предлагается производить по формуле (4.12) с помощью коэффициента относительной эффективности по выдергиванию  $J_v$ . При этом расчеты выполняются относительно несущей способности одной из контрольных свай.

$$F_{d,v} = F_{d,v} J_v, \quad (4.12)$$

где:

$F_{d,v}$  - несущая способность призматической сваи с размерами сечения 20×20 см или призматической сваи с размерами сечения 30×30 см, либо пирамидальной сваи с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см, кН;

$J_v$  – коэффициент относительной эффективности по выдергиванию, установленный по результатам полевых испытаний свай (таблица 3.23);

Значения коэффициента  $J_v$  в формуле (4.12) рекомендуется устанавливать по формуле (4.13), которая получена по результатам полевых испытаний свай, представленные в таблице 3.23 (рисунок 4.6).

$$J_v = fl + g, \quad (4.13)$$

где:

$f$  и  $g$  – параметры, принимаемые по таблице 4.10;

$l$  – тоже, что в формуле 4.4.

Таблица 4.10 – Параметры  $f$  и  $g$  в формуле (4.13)

Вид контрольной сваи	Значения параметров		Показатель аппроксимации $R^2$
	$f$	$g$	
Призматическая свая с размерами сечения 20×20 см	0,248	0,78	0,998
Призматическая свая с размерами сечения 30×30 см	0,13	0,415	0,998
Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см	0,12	0,385	0,998

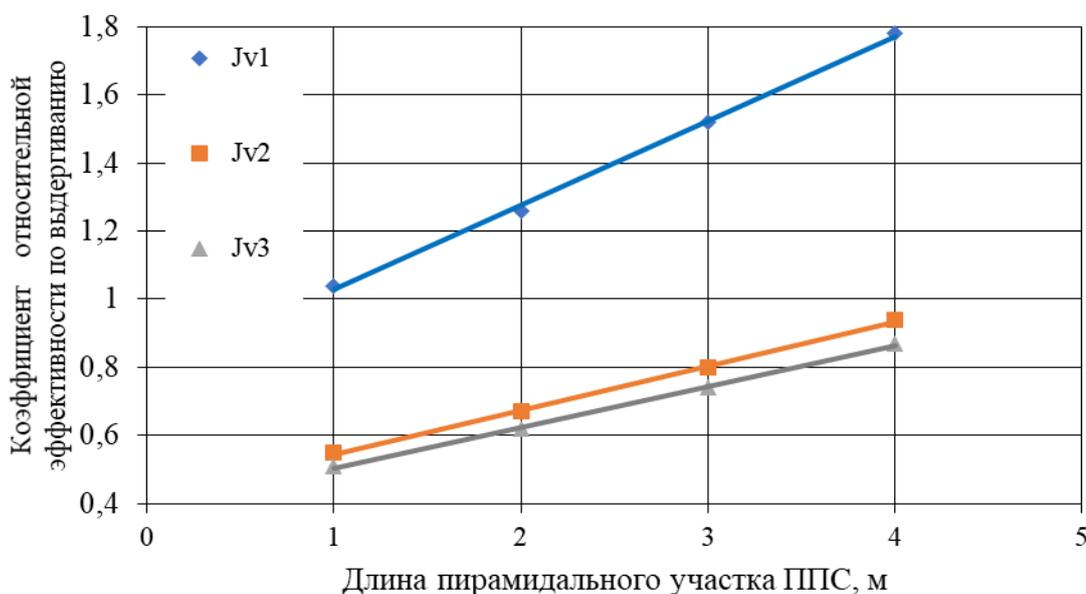


Рисунок 4.6 – Зависимость коэффициента относительной эффективности  $J_v$  по выдергиванию от длины пирамидального участка опытных свай

Из таблицы 4.10 следует, что значения показателя аппроксимации  $R^2$  достаточно близки к 1,0, что свидетельствует о высокой достоверности результатов, получаемых по формуле (4.12).

Из результатов исследований, представленных в параграфе 3.2.4 следует, что несущая способность ППС в песчаном грунте при действии выдергивающей нагрузки выше, чем в глинистом грунте. Исходя из этого для использования формулы (4.12) для определения несущей способности свай в песчаных грунтах рекомендуется в ее состав вводить коэффициент  $k_{p,v}$ . Данный коэффициент позволяет учитывать превышение несущей способности свай в песчаном грунте. С учетом коэффициента  $k_{p,v}$  формула (4.12) может быть представлена в следующем виде:

$$F_{d,v} = F_{d,v} J_v k_{p,v}, \quad (4.14)$$

Значение коэффициента  $k_{p,v}$  в формуле (4.14) можно устанавливать по формуле (4.15), которая получена по результатам исследований, представленных в таблице 3.13 (рисунок 4.7).

$$k_{p,v} = cl + d, \quad (4.15)$$

где:

$c$  и  $d$  – параметры, принимаемые соответственно 0,025 и 1,33;

$l$  – тоже, что в формуле 4.4.

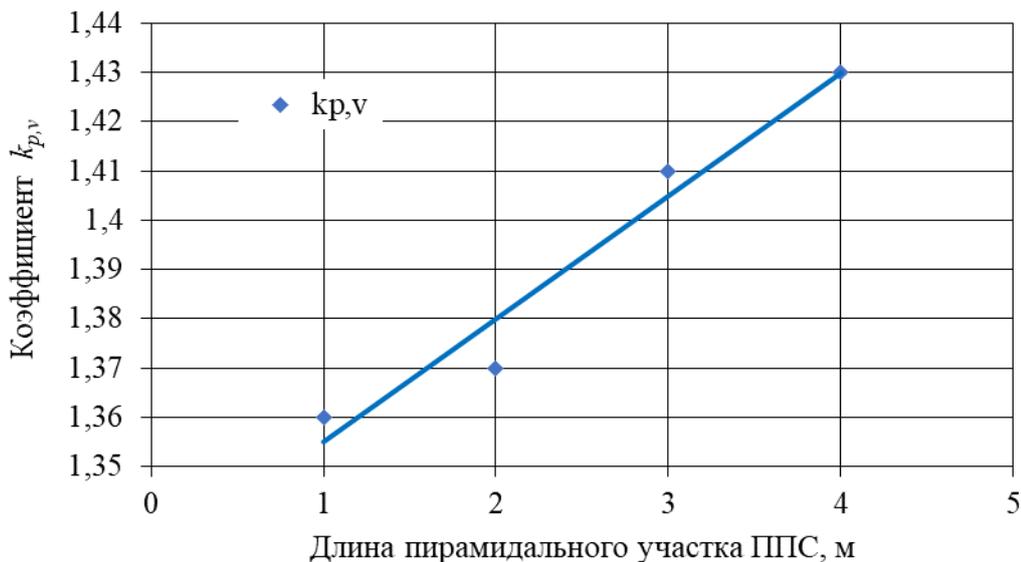


Рисунок 4.7 – Зависимость коэффициента превышения  $k_{p,v}$  от длины пирамидального участка ППС

Показатель значения аппроксимации  $R^2$  составляет 0,954, что свидетельствует о высокой достоверности результатов, получаемых по формуле (4.15).

Таким образом, изложенный метод позволяет устанавливать несущую способность ППС как в глинистых, так и в песчаных грунтах относительно несущей способности одной из контрольных свай.

#### 4.4 Рекомендации по устройству свай

*Рекомендации по выбору молота для забивки свай.* Забивку опытных свай под фундаменты зданий и сооружений (под насосные станции, насосное оборудование, под опоры акведуков, лотков, водоводов, селепроводов и т.д.) допускается производить любыми типами сваебойных агрегатов, используемых для забивки стандартных железобетонных свай.

Выбор молота для забивки свай следует осуществлять в соответствии с требованиями свода правил [121]. При этом минимальная необходимая энергия удара молота  $E_{h,u}$  устанавливается как и для условий погружения обычных свай, но с учетом результатов полевых исследований, представленных в параграфе 3.3. Учет отличительных особенностей погружения опытных свай производится с помощью коэффициента относительной энергоемкости забивки  $J_{\text{э}}$ .

Необходимую минимальную энергию удара молота  $E_{h,u}$  для погружения опытных свай рекомендуется определять относительно энергии удара молота  $E_{h1}$ , необходимой для забивки контрольных свай, по следующим формулам:

$$E_{h,u} = E_{h1} J_{\text{э}1} , \quad (4.16)$$

$$E_{h,u} = \frac{E_{h2}}{J_{\text{э}2}} , \quad (4.17)$$

$$E_{h,u} = \frac{E_{h3}}{J_{\text{э}3}} , \quad (4.18)$$

где:

-  $E_{h1}$ ,  $E_{h2}$ ,  $E_{h3}$  – необходимая минимальная энергия молота для забивки соответственно призматической сваи с размерами сечения  $20 \times 20$  см, призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  см и пирамидальной сваи с размерами сечения поверху  $30 \times 30$  см, и понизу –  $20 \times 20$  см, кДж;

-  $J_{\text{э}1}$ ,  $J_{\text{э}2}$ ,  $J_{\text{э}3}$ , – коэффициенты относительной энергоемкости забивки свай, относящиеся соответственно к призматической свае с размерами сечения  $20 \times 20$  см, призматической свае с размерами сечения  $30 \times 30$  см и пирамидальной свае с размерами сечения поверху  $30 \times 30$  см, и понизу –  $20 \times 20$  см (таблица 3.12).

Формулы (4.16-4.18) применимы для случаев забивки опытных свай в однородные глинистые грунты. Из результатов экспериментов, представленных в параграфе 3.2 следует, что забивка свай в песчаный грунт требует меньших затрат энергии молота, чем в глинистый грунт. Поэтому для

условий забивки опытных свай в однородные напластования песчаных грунтов рассматриваемые формулы можно использовать со снижающим коэффициентом в виде

$$E_{h,u} = E_{hl} J_{\varepsilon 1} \tau_{c,\varepsilon}; \quad (4.19)$$

$$E_{h,u} = \frac{E_{h2}}{J_{\varepsilon 2}} \tau_{c,\varepsilon}, \quad (4.20)$$

$$E_{h,u} = \frac{E_{h3}}{J_{\varepsilon 3}} \tau_{c,\varepsilon}, \quad (4.21)$$

Коэффициент  $\tau_{c,\varepsilon}$  учитывающий влияние песчаного грунта на затраты энергии молота, рекомендуется устанавливать по формуле (4.22), полученной по результатам обработки данных, представленных в таблице 3.5.

$$\tau_{c,\varepsilon} = -al^2 + bl + c \quad (4.22)$$

где:

$a$ ,  $b$  и  $c$  параметры, принимаемые соответственно равными: 0,02; 0,066; 0,38;

$l$  – тоже, что в формуле 4.4.

Показатель аппроксимации данных по формуле (4.22) составляет 0,958, что свидетельствует о ее достаточно высокой достоверности.

**Рекомендации по размещению свай в плане фундаментов.** Опытные сваи в составе фундамента здания или сооружения гидротехнических объектов могут устраиваться в виде:

- одиночных свай под отдельно стоящие опоры сооружения (здания) или оборудования;

- свайных лент для передачи от здания или сооружения распределенных по длине нагрузок с расположением свай в один или два ряда;

- свайных кустов с расположением свай в плане ростверка квадратной, прямоугольной или трапецидальной формы.

Основные рекомендуемые схемы размещения свай в плане фундаментов приведены на рисунке 4.8.

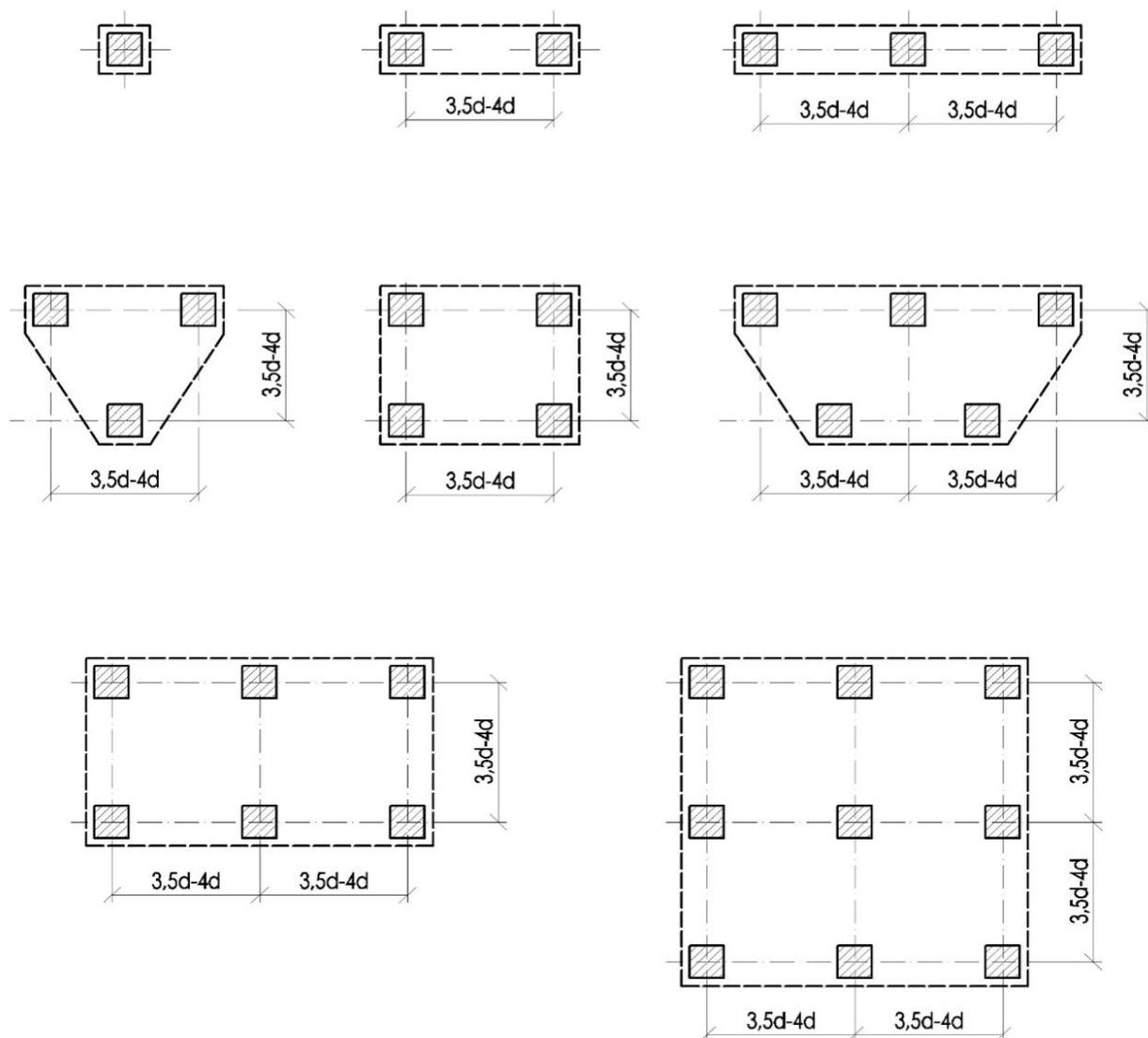


Рисунок 4.8 – Схемы размещения свай в плане ростверка фундаментов зданий и сооружений гидротехнического назначения

При действии на фундамент моментных и горизонтальных нагрузок, а также внецентренно приложенных вертикальных нагрузок, сваи с большей длиной пирамидального участка или с большим размером сечения верхней части пирамидального участка следует располагать в зоне действия эксцентриситета, а сваи с меньшими размерами – в противоположной зоне. При необходимости в зоне действия эксцентриситета допускается увеличивать количество свай или уменьшать расстояние между ними.

При этом минимальные расстояния между осями свай в фундаменте принимаются равными:

- $3,5d$  при длине пирамидального участка 1 и 2 м;
- $4,0d$  тоже при длине – 3 и 4 м.

Количество свай в фундаменте устанавливается, исходя из их несущей способности и нагрузок, действующих на фундамент на уровне верха ростверка.

*Рекомендации по устройству ППС под фундаменты здания насосной станции и насосных агрегатов.* Устройство ППС под фундаменты здания насосной станции и насосных агрегатов рекомендуется выполнять с соблюдением следующих основных принципов:

- длину и размеры поперечного сечения пирамидального участка свай, а также их количество в фундаменте принимать исходя из условия обеспечения требуемой несущей способности;

- требуемая несущая способность свай в свою очередь должна устанавливаться с учетом вида, толщины и свойств грунтов;

- при залегании с поверхности строительной площадки слабых глинистых грунтов или песчаных грунтов рыхлого сложения необходимо использовать сваи с большими размерами сечения пирамидального участка;

- в грунтах однородного сложения с незначительными изменениями их физических и деформационно-прочностных характеристик следует использовать сваи с одинаковыми размерами пирамидального участка;

- при прорезке грунтов неоднородного сложения со значительным изменением физических и деформационно-прочностных характеристик необходимо устраивать сваи с разными размерами пирамидального участка.

Для наглядности в диссертации рассмотрены два варианта проектирования опытных свай под фундаменты зданий насосных станций и под насосные агрегаты с учетом вышеперечисленных принципов.

I вариант. Здание насосной станции оборотного водоснабжения производительностью 8000 м<sup>3</sup>/час с двумя группами насосов (ТП 901-2-159.87) [122]. Здание в плане имеет прямоугольную форму с размерами в осях 68,7×21,0 м (рисунок 4.9). В осях «1-5/Б-Г» здание запроектировано без подвала, а в осях 6-13/А-Д - с подвальной частью. В конструктивном отношении несущим элементом здания является железобетонный каркас со сборными железобетонными плитами покрытия. В осях «6-13/А-В» на отм. - 5.400 расположен машинный зал с двумя рядами насосных агрегатов.

В качестве инженерно-геологических условий приняты естественные напластования грунтов, залегающие в юго-восточной части города Тараз. Физико-механические характеристики грунтов приведены в таблицах 4.11. Нагрузки, действующие на фундаменты здания, представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.11 – Грунты и их физико-механические характеристики

ИГЭ	Наименование грунта	Влажность, %	Коэффициент пористости	Модуль деформации, МПа	Плотность, кН/м <sup>3</sup>	Удельное сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
1	Насыпной грунт	-	-	-	-	-	-
2	Супесь просадочная	20	0,690	15,98	18,63	0,012	27
3	Песок пылеватый	15	0,705	10,98	16,57	0,0056	26

Таблица 4.12 – Нагрузки, несущая способность свай, их количество и марка

№ п/п	Осевая ориентация фундаментов в плане	Расчетная нагрузка $N$ , кН	Несущая способность сваи $F_d$ , кН	Количество свай в кусте, шт	Марка сваи
1	по оси «А/10-13»	235,41	120,18	3	С30.30-А400-ПП-2
2	по оси «Б/6-13»	709,61	261,48	4	С60.30-А400-ПП-4
3	по оси «Г/6-13»	709,61	250,15	4	С50.30-А400-ПП-2
4	по оси «В/6»	470,70	250,15	3	С50.30-А400-ПП-2
5	по оси «В/13»	470,70	250,15	3	С50.30-А400-ПП-2
6	по оси «Д/7-10»	235,41	132,51	3	С30.30-А400-ПП-2
7	по оси «Б/1-5»	488,18	233,1	3	С50.30-А400-ПП-2
8	по оси «Г/1-5»	488,18	224,1	3	С40.30-А400-ПП-2
9	в осях «Б-Г/6-10» (фундамент под насосный агрегат)	198,58	112,41	6	С30.30-А400-ПП-1
10	в осях «Б-Г/10-13» (фундамент под насосный агрегат)	172,51	112,41	4	С30.30-А400-ПП-1

Примечание – маркировка свай имеет следующий вид (на примере С50.30-А400-ПП-2): С – свая сплошного сечения; 50 – длина сваи, дм; 30 – размер сечения по верху пирамидальной части, см; А-400 – тип армирования; ПП – пирамидально-призматическая свая; 2 – длина пирамидальной части, м.

План и разрезы размещения свай в составе фундаментов здания насосной станции приведены на рисунках 4.9-4.11. Сваи в составе кустов размещены по прямоугольной и треугольной схемам и объединены железобетонными ростверками. Ростверки соединены между собой железобетонной фундаментной балкой, которая распределяет нагрузку от стены подвального помещения машинного зала на ростверки.

Под насосные агрегаты предусмотрены отдельно стоящие фундаменты с параллельным и шахматным размещением свай в плане. Головы свай объединены с помощью железобетонного ростверка, на которые устанавливаются насосные агрегаты.

В зависимости от грунтовых условий и действующих нагрузок в проекте здания приняты опытные сваи со следующей маркировкой:

- С30.30-А400-ПП-1 в составе отдельно стоящего фундамента насосного агрегата в количестве 4 - 6 штук (при расчетной нагрузке 172,51 – 198,51 кН);
- С30.30-А400-ПП-2 в составе свайного куста подвального помещения здания насосной станции в количестве 3 штук (при расчетной нагрузке 235,41 кН);
- С40.30-А400-ПП-2 в составе свайного куста под железобетонную колонну без подвальной части здания насосной станции в количестве 3 штук (при расчетной нагрузке 488,18 кН);
- С50.30-А400-ПП-2 в составе свайного куста под железобетонную колонну здания насосной станции в количестве 3-4 штук (при расчетной нагрузке 470,70 – 709,61 кН);
- С60.30-А400-ПП-4 в составе свайного куста под железобетонную колонну подвальной части здания насосной станции в количестве 4 штук (при расчетной нагрузке 709,61 кН).

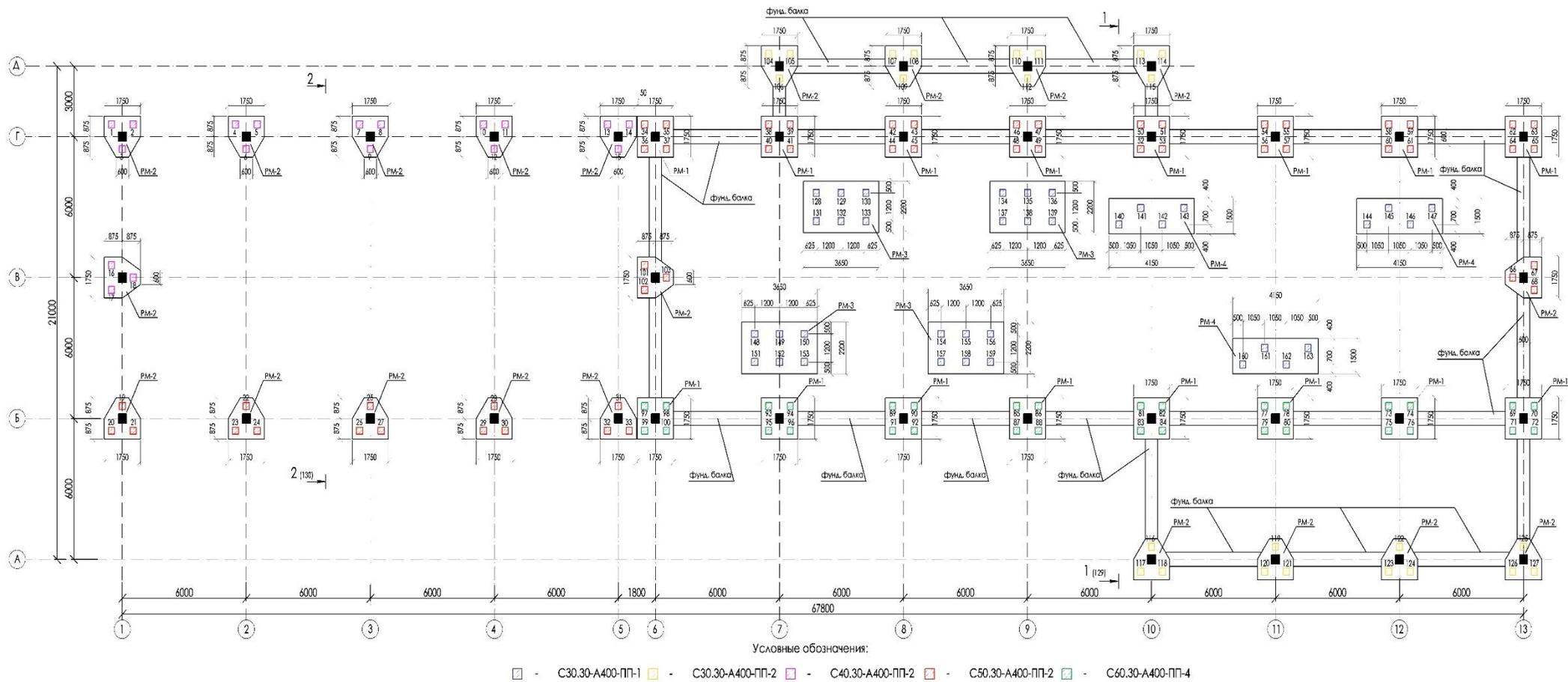


Рисунок 4.9 – План свайного поля здания насосной станции

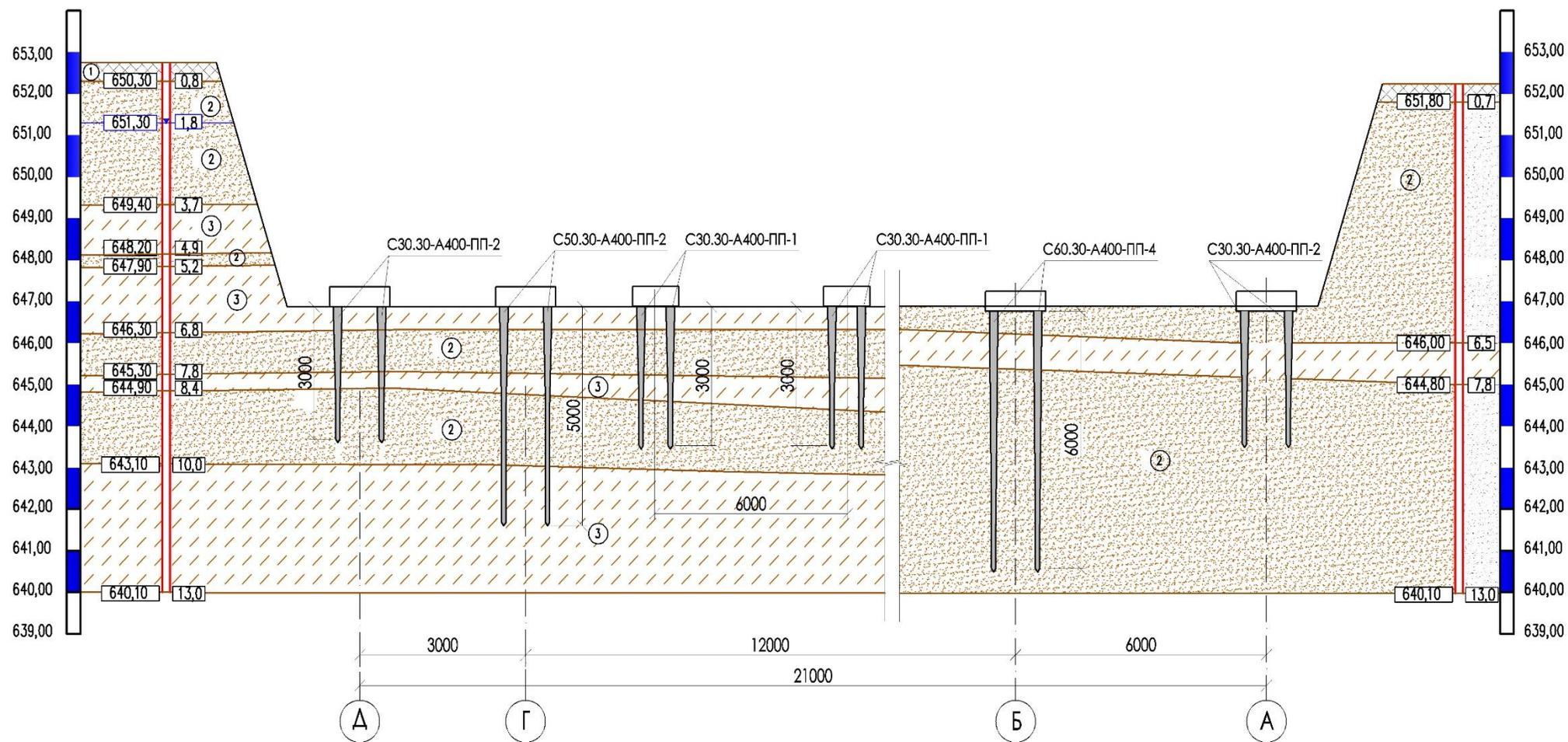


Рисунок 4.10 – Разрез 1-1

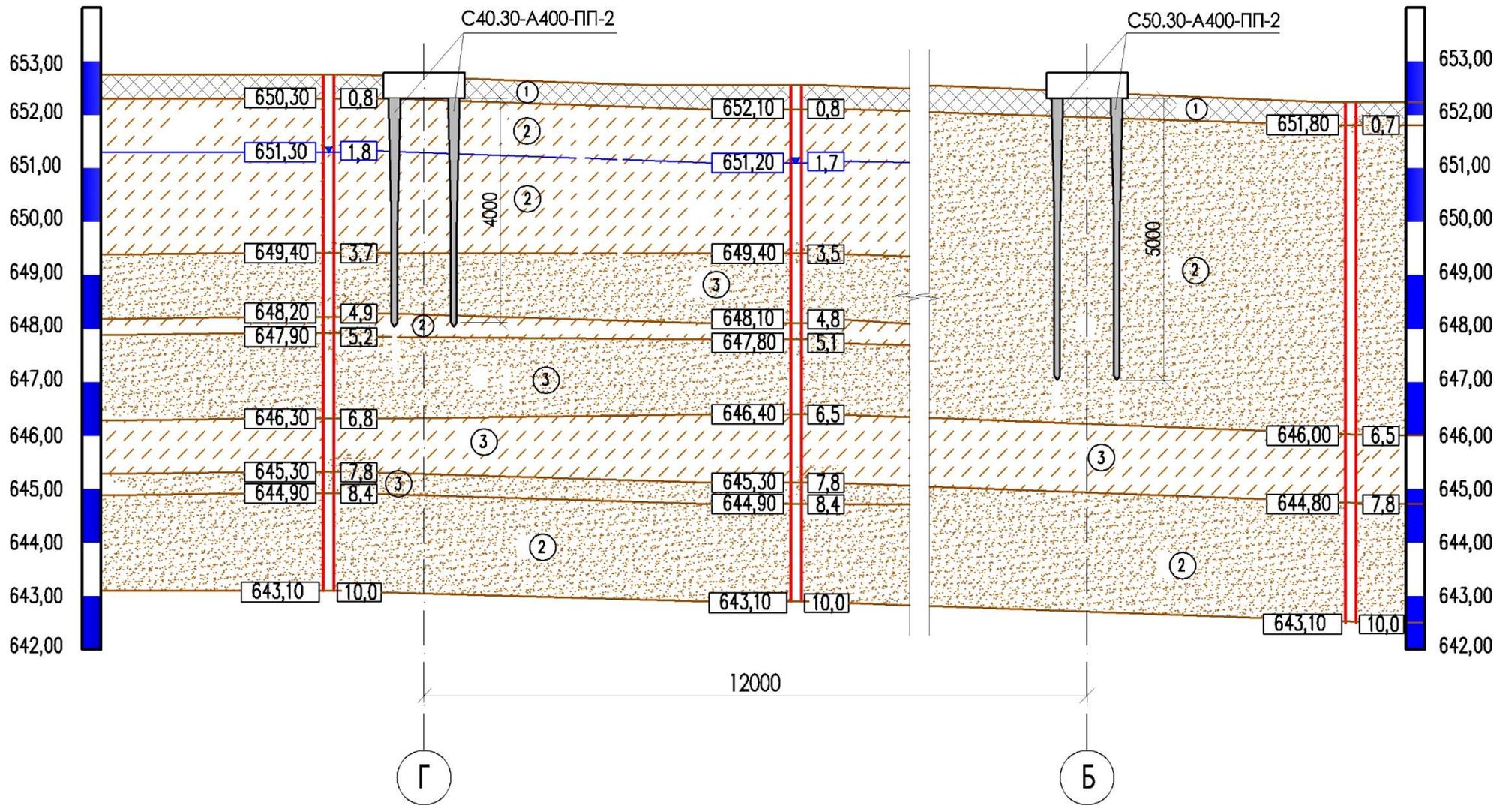


Рисунок 4.11 – Разрез 2-2

II - вариант. Здание насосной станции 2-го подъема одноэтажное с подвалом (ТП РК 100-200НСП8С(ШБ)-2009) [123]. Здание в плане имеет прямоугольную форму с размерами в осях 6,0×12,0 м. Расчетно-конструктивная система здания: несущие продольные стены со сборными железобетонными многопустными плитами покрытия. В осях «1-3/А-Б» на отм. -2.400 расположен машинный зал с насосными агрегатами.

В качестве инженерно-геологических условий приняты естественные напластования грунтов, залегающие в районе восточной объездной автомобильной дороги Медеуского района г. Алматы.

Физико-механические характеристики грунтов приведены в таблице 4.13. Нагрузки, действующие на фундаменты здания, представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.13 – Грунты и их физико-механические характеристики

ИГЭ	Наименование грунта	Влажность, %	Коэффициент пористости	Модуль деформации, МПа	Плотность, кН/м <sup>3</sup>	Удельное сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
1	Насыпной грунт	-	-	-	-	-	-
2	Суглинок полутвердой консистенции, просадочный	20	0,953	6,20	16,18	0,022	21

Таблица 4.14 – Нагрузки, несущая способность свай, их количество и марка

№ п/п	Осевая ориентация фундаментов в плане	Расчетная нагрузка $N$ , кН	Несущая способность свай $F_d$ , кН	Количество свай в фундаменте, шт	Марка свай
1	по оси «А/1-3»	115,91	182,26	12	С40.30-А400-ПП-2
2	по оси «Б/1-3»	115,91	182,26	12	С40.30-А400-ПП-2
3	по оси «1/А-Б»	76,59	127,23	5	С30.30-А400-ПП-2
4	по оси «1/А-Б»	76,59	127,23	5	С30.30-А400-ПП-2
5	в осях «А-Б/1-2» (фундамент под насосный агрегат)	34,42	49,22	2	С30.30-А400-ПП-1
6	в осях «А-Б/2-3» (фундамент под насосный агрегат)	34,42	49,22	2	С30.30-А400-ПП-1

Примечание -в позициях 1-4 расчетная нагрузка указана на 1 п.м. длины фундамента.

План и разрез размещения свай в составе фундаментов здания насосной станции приведены на рисунках 4.12 и 4.13. Сваи в плане размещены в виде

одиночных свай, объединенных ленточным железобетонным ростверком по периметру здания. Под насосные агрегаты запроектированы двухсвайные кусты.

С учетом действующих нагрузок на фундаменты и грунтовых условий строительной площадки под здание насосной станции запроектированы сваи со следующей маркировкой:

- С40.30-А400-ПП-2 в составе ленточных фундаментов под несущие продольные стены (при расчетной нагрузке 115,91 кН);
- С30.30-А400-ПП-2 в составе ленточных фундаментов под поперечные самонесущие стены (при расчетной нагрузке 76,59 кН);
- С30.30-А400-ПП-1 в составе свайного куста под насосный агрегат в количестве 2 штук (при расчетной нагрузке 34,42 кН).

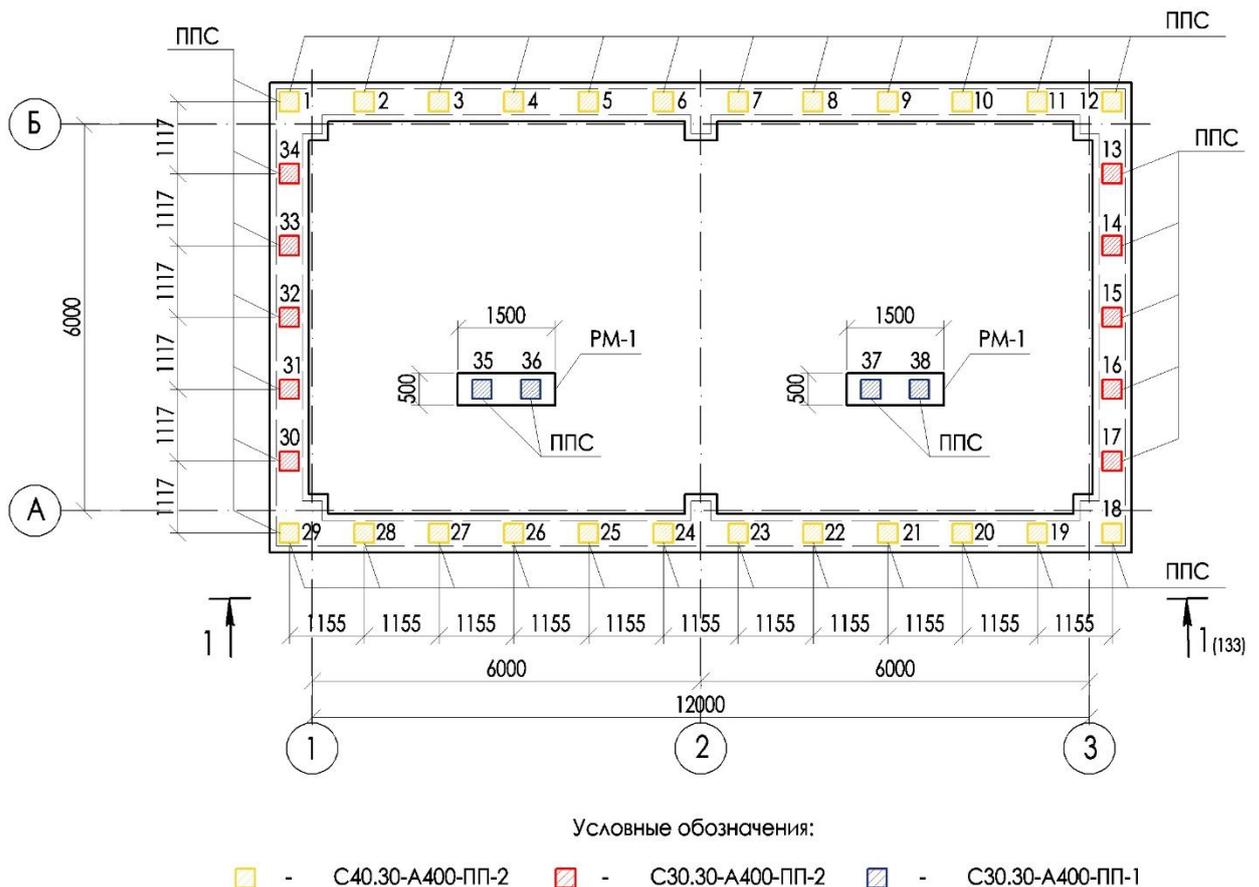


Рисунок 4.12 – План свайного поля здания насосной станции

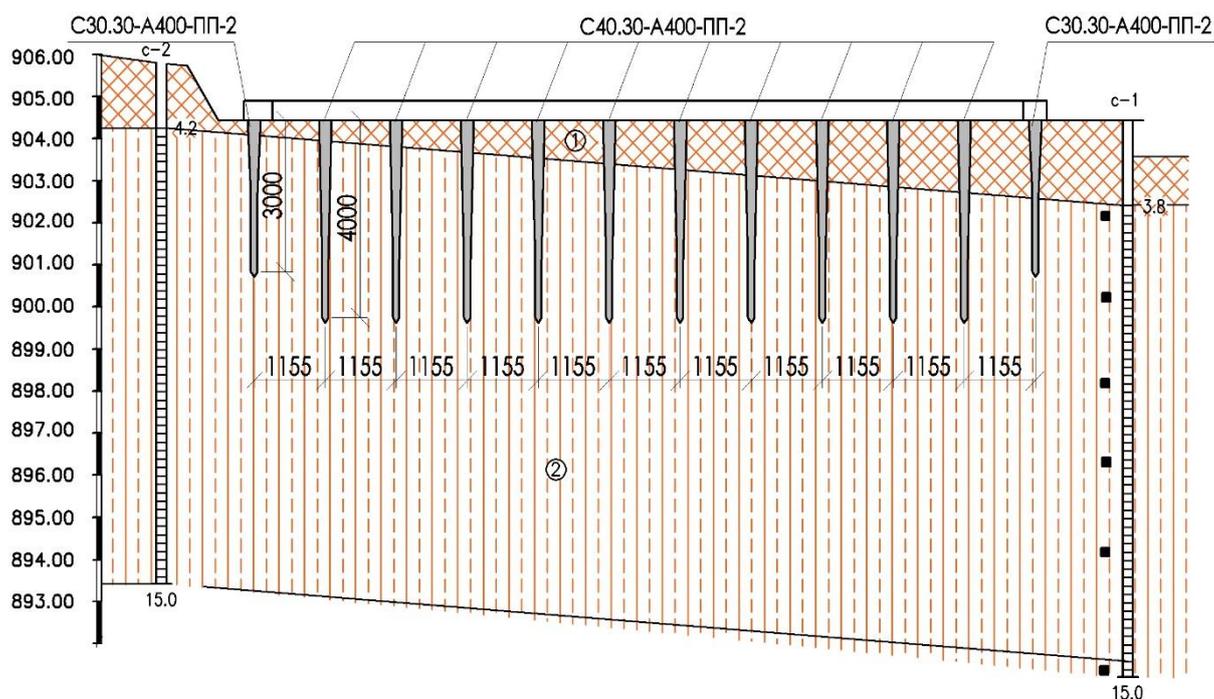


Рисунок 4.13 – Разрез 1-1

*Рекомендации по изготовлению ППС.* Изготовление опытных свай рекомендуется производить на предприятиях по выпуску железобетонных изделий. Для выпуска свай с напрягаемой и ненапрягаемой продольными арматурами на промышленной основе реализованы следующие работы:

- определены область применения свай по грунтовым условиям и правила их размещения в плане фундаментов;
- составлен сортамент и произведена маркировка свай;
- выполнен подбор арматуры и закладных деталей свай, а также осуществлено конструирование их арматурных каркасов;
- разработаны рабочие чертежи свай и определены их основные параметры (масса свай, расход материалов на их изготовление, класс бетона свай по прочности на сжатие и др.).

Результаты выполненных работ включены в следующую техническую документацию:

- Альбом 1. Рабочие чертежи. «Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные» (сваи цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой) [124];
- Альбом 1. Рабочие чертежи. «Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные» (сваи цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой) [125].

Перечисленные документы являются основой для организации и производства работ по выпуску ППС на отечественных предприятиях.

Результаты исследований, представленные в разделах 3 и 4, включены в «Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из ППС» (Р-1-20) [126]. Рекомендации разработаны с учетом требований действующих

нормативных документов, в том числе и СП РК EN 1997-1:2004/2011 Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правил [103, с. 31].

#### 4.5 Техничко-экономическая оценка применения свай

Для оценки технико-экономической целесообразности применения опытных свай в составе фундаментов гидротехнических сооружений выполнены соответствующие расчеты.

Экономическая оценка устройства вариантов фундаментов из опытных свай выполнена для двух разновидностей зданий насосных станций и грунтовых условий, приведенных в параграфе 4.4.

Стоимость фундаментов и стоимость их устройства установлены на основе программного комплекса АВС (редакция 2024.2) совместно с ТОО «Табыс Жоба» на основе разработанных рабочих чертежей пирамидально-призматических свай с напрягаемой и ненапрягаемой арматурами.

В качестве сравниваемых вариантов фундаментов зданий насосных станций приняты следующие их виды:

- плитный (типовой вариант);
- свайный из традиционных призматических свай с размерами сечения 30×30 см;
- свайный из опытных свай.

Здание насосной станции (ТП 901-2-159.87). Сведения о расходах арматуры и бетона на устройство рассматриваемых фундаментов здания насосной станции приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расход материалов на устройство фундаментов здания насосной станции (ТП 901-2-159.87)

Позиция	Обозначение	Наименование материала	Количество	Масса ед., кг	Общая масса, кг
плитный фундамент					
1	ГОСТ 23279-85	Арматурная сетка Ø16АIII/Ø16АIII, п.м.	17500	1,58	27 650
2		Бетон класса В15, м <sup>3</sup>	640	-	-
свайный фундамент из призматических свай С50.30-1					
1	Серия 1.011.1-10	С50.30-1, шт.	163	1 160	189 080
2	Монолитный ростверк	Арматурная сетка Ø14АIII/Ø14АIII, п.м.	2821	1,208	3407,8
		Бетон класса В15, м <sup>3</sup>	99,4	-	-
свайный фундамент из ППС					
1		С30.30-А400-ПП-1, шт.	36	363,3	13 078
2		С30.30-А400-ПП-2, шт.	24	421,7	10 120
3		С40.30-А400-ПП-2, шт.	18	521,7	9 390
4		С50.30-А400-ПП-2, шт.	53	621,7	32 950
5		С60.30-А400-ПП-4, шт.	32	838,2	26 822
6	Монолитный ростверк	Арматурная сетка Ø14АIII/Ø14АIII, п.м.	2821	1,208	3407,8
		Бетон класса В15, м <sup>3</sup>	99,4	-	-

Сравнительные данные о стоимости устройства рассматриваемых вариантов фундаментов здания насосной станции (ТП 901-2-159.87) приведены на рисунке 4.15.

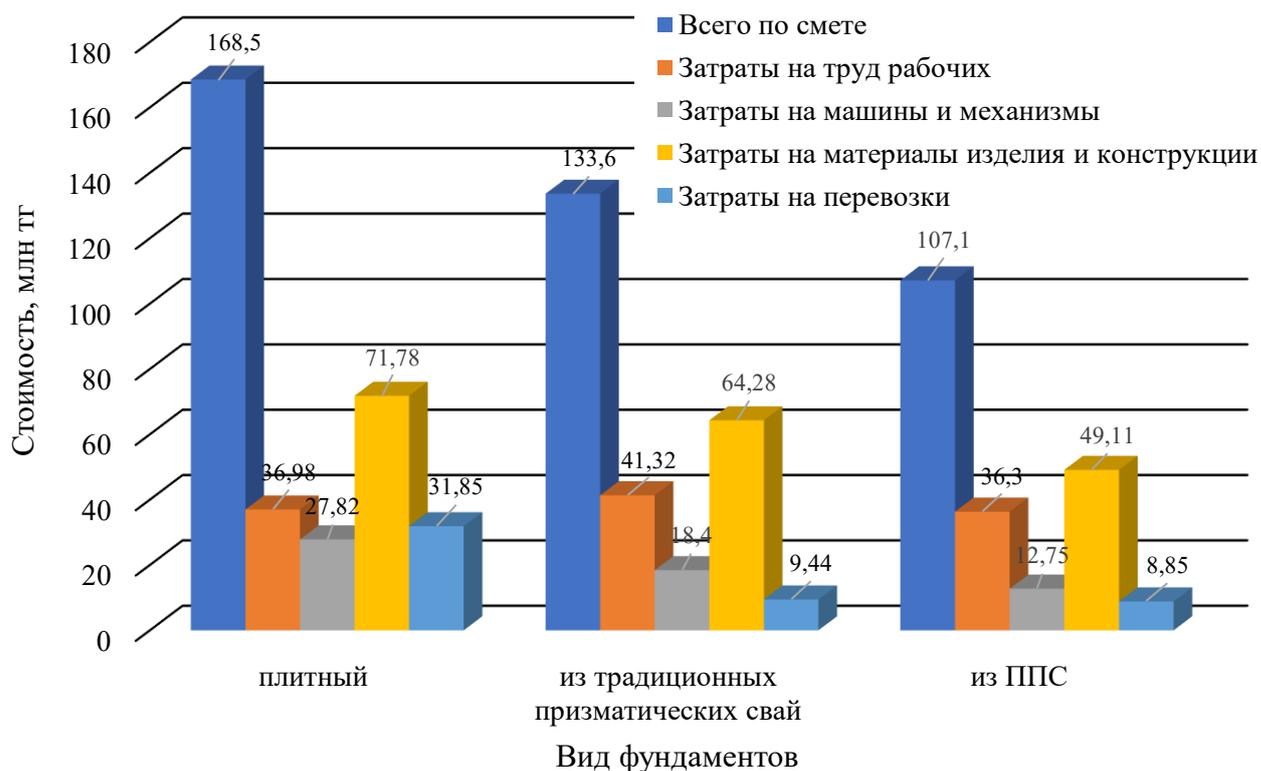


Рисунок 4.15 – Стоимость устройства фундаментов здания насосной станции (ТП 901-2-159.87)

Установлено, что использование опытных свай длиной 3-6 м (при длине пирамидального участка 1, 2 и 4 м) приводит к снижению затрат на устройство фундаментов насосной станции (ТП 901-2-159.87). Так стоимость устройства фундаментов из ППС соответственно на 57,42% и на 24,74% меньше, чем стоимость устройства плитного фундамента и свайного фундамента из традиционных призматических свай.

Здание насосной станции 2-го подъема (ТП РК 100-200НСП8С(ШБ)-2009). Сведения о расходах арматуры и бетона на устройство принятых вариантов фундаментов здания насосной станции приведены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расход материалов на устройство фундаментов насосной станции (ТП РК 100-200НСП8С(ШБ)-2009)

Позиция	Обозначение	Наименование	Количество	Масса ед., кг	Общая масса, кг
1	2	3	4	5	6
плитный фундамент					
1	ГОСТ 5781-82	Арматурная сетка Ø12АIII/Ø12АIII, п.м.	820	0,888	728,0
2		Бетон класса В15, м <sup>3</sup>	50	-	-
свайный фундамент из призматических свай С30.30-1					
1	Серия 1.011.1-10	С30.30-1, шт.	34	680	23 120

Продолжение таблицы 4.16

1	2	3	4	5	6
2	Монолитный ростверк	Арматурная сетка Ø14АIII/Ø14АIII, п.м.	262,4	1,208	316,5
		Бетон класса В15, м <sup>3</sup>	20,0	-	-
свайный фундамент из ППС					
1		С40.30-А400-ПП-2, шт.	24	521,7	12 520
2		С30.30-А400-ПП-2, шт.	10	421,7	4 217
3		С30.30-А400-ПП-1, шт.	4	363,3	1 453
4	Монолитный ростверк	Арматурная сетка Ø14АIII/Ø14АIII, п.м.	262,4	1,208	316,5
		Бетон класса В15, м <sup>3</sup>	20,0	-	-

Сравнительные данные о стоимости устройства различных вариантов фундаментов здания насосной станции приведены на рисунке 4.16.

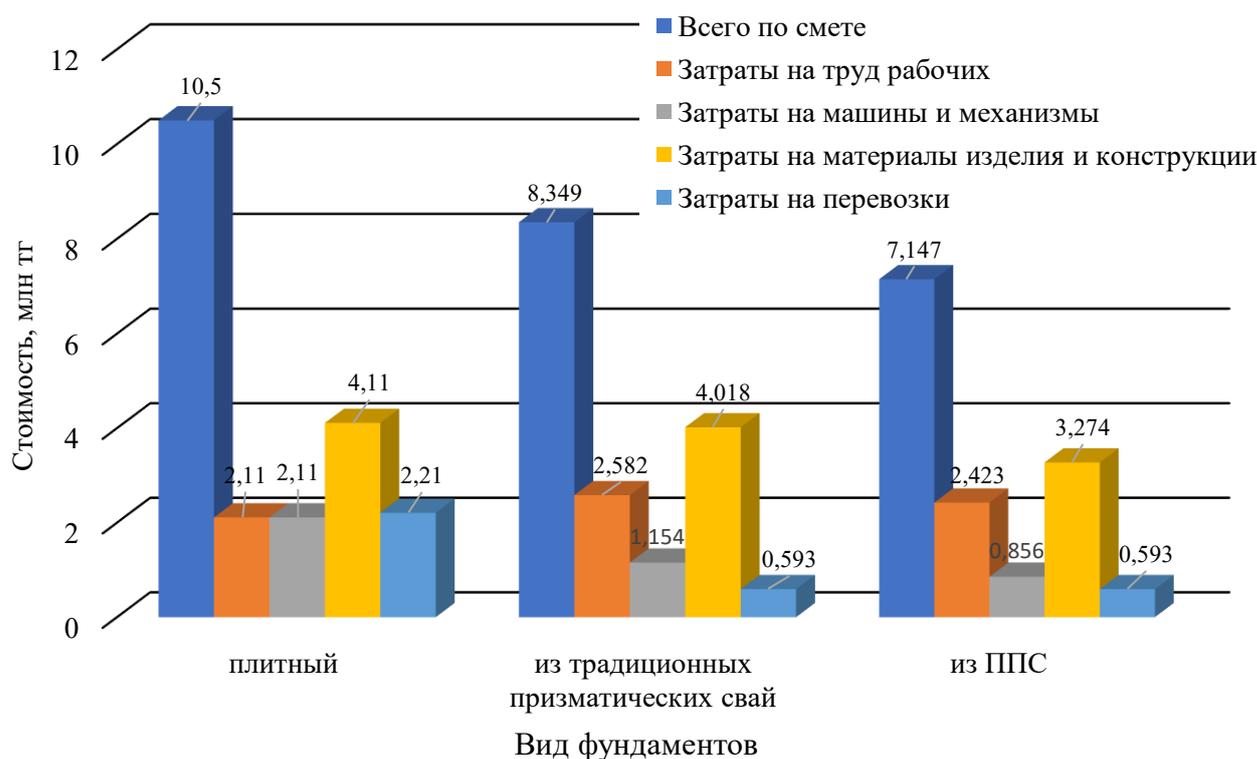


Рисунок 4.16 – Стоимость устройства фундаментов здания насосной станции (ТП РК 100-200НСП8С(ШБ)-2009)

Выявлено, что применение опытных свай длиной 3 и 4 м (при длине пирамидального участка 1 и 2 м) обеспечивает снижение стоимости устройства фундаментов под здание насосной станции (ТП РК 100-200НСП8С(ШБ)-2009). Так, данное снижение по сравнению с плитным фундаментом составило 46,85%, а по сравнению со свайным фундаментом из призматических свай - 16,78%.

Выполненная оценка свидетельствует об экономичности применения опытных свай в составе фундаментов гидротехнических сооружений, что позволяет сократить материальные, трудовые и финансовые средства в гидротехническом строительстве.

## Выводы по 4 главе

Результаты выполненных работ позволяют сформулировать следующие выводы:

1) Разработан метод расчетного определения несущей способности ППС при действии статической вдавливающей нагрузки, основанный на учете расчетных сопротивлений грунтов, залегающих под нижним концом свай и вдоль их боковых граней. Метод учитывает влияние продольной формы ствола опытных свай, а также вида грунта на их сопротивляемость. Учет этих факторов производится с помощью коэффициентов, установленных по результатам сопоставления расчетных и экспериментальных данных о несущей способности свай. Предложенные коэффициенты устанавливаются на основе корреляционных зависимостей относительно длины пирамидального участка опытных свай. На основе метода разработана прикладная компьютерная программа, позволяющая производить расчет несущей способности опытных свай;

2) Предложены методы определения несущей способности ППС при действии горизонтальной и выдергивающей нагрузок, позволяющие производить оценку сопротивляемости опытных свай относительно сопротивляемости призматической и пирамидальной свай одинаковой длины. Методы основаны на использовании коэффициентов эффективности свай по горизонтальному перемещению их головы на 10 мм и по выдергиванию свай, установленных по результатам экспериментальных исследований. Для определения указанных коэффициентов получены корреляционные зависимости, позволяющие учитывать размеры пирамидального участка свай и вида грунта, в который забиваются сваи;

3) Разработаны рекомендации по определению необходимой минимальной энергии удара молота для забивки опытных свай в однородные глинистые и песчаные грунты, а также предложены рекомендации по размещению ППС в плане фундаментов гидротехнических сооружений в виде одиночных свай, свайных лент и свайных кустов;

4) Выполнена технико-экономическая оценка использования ППС в составе фундаментов зданий насосных станций. Установлено, что устройство свайного фундамента из ППС взамен плитного фундамента и свайного фундамента из призматических свай более эффективно по стоимости работ. Применение фундаментов из ППС обеспечивает снижение стоимости работ на 88,25-95,24% по сравнению с плитным фундаментом и на 16,78-24,74% - по сравнению со свайным фундаментом из призматических свай;

5) Для обеспечения промышленного выпуска ППС на отечественных предприятиях и использования их для возведения гидротехнических объектов разработана и издана соответствующая техническая и инструктивная документация. Техническая документация включает в себя рабочие чертежи опытных свай с напрягаемой и ненапрягаемой арматурами, основные параметры, расход материалов и требования по их изготовлению в заводских условиях. Инструктивная документация содержит вопросы проектирования, расчета и устройства фундаментов из ППС под здания и сооружения гидротехнического назначения с учетом требований Еврокода 7.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение особенностей работы пирамидально-призматических свай для устройства фундаментов зданий и сооружений гидротехнического назначения, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Экспериментально изучены закономерности послойного деформирования грунта вокруг пирамидально-призматических свай при их забивке. Установлено, что для опытных свай характерна конусообразная форма деформированной зоны грунта. Определены минимальные расстояния между опытными сваями (в составе фундаментов), которые в зависимости от размеров их пирамидального участка изменяются от  $3d$  до  $4d$ .

2. Лабораторными и полевыми исследованиями установлены особенности работы пирамидально-призматических свай при действии статических вдавливающих, выдергивающих и горизонтальных нагрузок. Выявлено, что опытные сваи обладают меньшей энергоемкостью и большей сопротивляемостью статическим нагрузкам по сравнению с существующими традиционными сваями. Так, энергетические затраты на забивку опытных свай соответственно на 3,0-59,0% и на 9,0-49,0% ниже, чем на погружение призматической сваи с размерами сечения  $30 \times 30$  см и пирамидальной сваей с размерами сечения попереху  $30 \times 30$  см и понизу  $20 \times 20$  см. Несущая способность пирамидально-призматических свай при действии вертикальной вдавливающей нагрузки выше, чем у призматических свай с размерами сечения  $20 \times 20$  см и  $30 \times 30$  см соответственно в 1,23-2,80 раза и 1,03-1,65 раза. Удельная несущая способность пирамидально-призматических свай также выше, чем у призматических свай с размерами сечения  $20 \times 20$  см и  $30 \times 30$  см соответственно в 1,15-2,40 раза и 1,42-2,60 раза. Сопротивляемость опытных свай горизонтальной и выдергивающей нагрузкам больше соответственно в 1,13-2,27 и в 1,04-1,78 раза по сравнению с призматической сваей с размерами сечения  $20 \times 20$  см.

3. Произведена оценка влияния длины и размеров верхнего сечения пирамидального участка опытных свай на их энергоемкость забивки и несущую способность в однородных напластованиях глинистого и песчаного грунтов. Увеличение длины (в 2-4 раза) и размеров верхнего сечения (в 1,33-1,67 раза) пирамидального участка свай сопровождается повышением: энергетических затрат на забивку в 1,07-1,67 раза; несущей способности при действии вдавливающей нагрузки в 1,24-3,58 раза; сопротивляемости горизонтальной и выдергивающей нагрузкам соответственно в 1,09-1,71 раза и в 1,09-1,41 раза.

4. Выполнена оценка влияния вида грунта на энергоемкость забивки и несущую способность опытных свай. Затраты энергии на забивку свай, их несущая способность при действии вдавливающей нагрузки, а также сопротивляемость горизонтальной нагрузке в глинистом грунте выше, чем в песчаном соответственно в 1,72-2,55 раза, 1,03-0,62 раза и 1,25-1,73 раза. В

песчаном грунте несущая способность опытных свай при действии выдергивающей нагрузки больше, чем в глинистом грунте, в 1,25-1,73 раза.

5. Разработан метод определения несущей способности пирамидально-призматических свай при действии статической вдавливающей нагрузки, основанный на учете расчетных сопротивлений грунтов, залегающих под нижним концом свай и вдоль их боковых граней. Метод учитывает влияние продольной формы (длины пирамидального участка) ствола опытных свай, а также вида грунта на их сопротивляемость. Метод реализован в виде прикладной программы, позволяющей выполнять расчеты с применением ПК.

6. Предложены методы определения несущей способности пирамидально-призматических свай при действии горизонтальной и выдергивающей нагрузок относительно сопротивляемости призматической и пирамидальной свай одиноковой длины. Методы предусматривают использование корреляционных зависимостей, установленных между опытными сваями и указанными традиционными сваями.

7. Разработаны и изданы рекомендации по применению пирамидально-призматических свай для устройства фундаментов гидротехнических зданий и сооружений, включающие в себя положения по определению необходимой минимальной энергии удара молота для забивки опытных свай в однородные глинистые и песчаные грунты, по оптимальному размещению свай в плане фундаментов, расчету и проектированию свай и свайных фундаментов из них.

8. Выполнен сметный расчет возведения свайных фундаментов из пирамидально-призматических свай на примере двух зданий насосных станции. Результаты расчетов свидетельствуют об экономичности фундаментов из опытных свай по сравнению с традиционным плитным фундаментом неглубокого заложения и свайным фундаментом из призматических свай. Использование фундаментов из пирамидально-призматических свай обеспечивает снижение стоимости работ на 88,25-95,24% по сравнению с плитным фундаментом и на 16,78-24,74% - по сравнению со свайным фундаментом из призматических свай.

9. Разработаны Альбомы рабочих чертежей, включающие в себя номенклатуру свай, их геометрические параметры, схемы армирования, узлы и детали, а также расход арматуры и бетона, для обеспечения промышленного выпуска опытных свай на отечественных предприятиях с целью использования при возведении гидротехнических объектов.

**Перспективы дальнейших исследований** связаны с изучением особенностей сопротивляемости свайных кустов и свайных ленточных фундаментов из пирамидально-призматических свай при действии статических и сейсмических нагрузок. В настоящее время в продолжение диссертационной тематики реализуется грантовый проект на тему «Разработка забивных фибробетонных полипрочных пирамидально-призматических свай» (ИРН АР13268763) по конкурсу «Жас ғалым» на 2022-2024 годы.

**Оценка полноты решения поставленных задач.** Задачи, поставленные в диссертационной работе, решены в полной мере на основе проведенных автором

теоретических и экспериментальных исследований. Установленные особенности работы пирамидально-призматических свай при действии статических нагрузок, разработанные методы определения их несущей способности, рабочие чертежи и рекомендации по устройству свай составляют основу их эффективного применения при устройстве фундаментов гидротехнических объектов.

**Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов.** Результаты исследования рекомендуются к использованию проектными и строительными организациями при возведении зданий и сооружений гидротехнического назначения.

**Оценка технико-экономической эффективности внедрения.** Основные результаты исследования интегрированы в нормативно-техническую базу ведущих организации по проектированию зданий и сооружений, таких как ЮКФ АО «КазНИИСА», ТОО «Тараз Аркон», ТОО «Мекен-Жай Тараз», ТОО «Табыс Жоба», ТОО «Экспертиза сейсмостойкого строительства», ТОО «Тараз-Технопроект», ТОО «АзияТурПроект», ТОО «Эрфольг», ТОО «Бином» и ТОО «Ғимарат Темірбетон».

**Оценка технико-экономического уровня выполненной работы.** Предлагаемая новая конструкция в виде забивной железобетонной пирамидально-призматической сваи для устройства фундаментов зданий и сооружений гидротехнического назначения по сравнению с традиционными сваями позволяют существенно снизить финансовые и трудовые затраты по устройству свайных фундаментов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Федоровский В.Г., Левачев С.Н., Курилло С.В., Колесников Ю.М. Сваи в гидротехническом строительстве. – М.: Издательство АСВ, 2003.– 240 с.
- 2 Valeriy P. Popov, Dmitriy V. Popov, Anna Yu. Davidenko. On technology of hydraulic engineering structures pile foundations production // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 111. - P. 652-655.
- 3 Valeriy P. Popov, Dmitriy V. Popov, Anna Yu. Davidenko. On technology of hydraulic engineering structures retaining walls production // Procedia Engineering. - 2015. – Vol.111. - P. 656-659.
- 4 Bekbasarov I., Shanshabayev N. Analysis of research results and application of piles as part of hydraulic facilities // Qazbsqa хабаршысы. Сәулет және дизайн. - 2023. - №4 (90). - С. 77-96. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2023.4-06>
- 5 Круглицкий Н.Н., Мильковский С.И., Скворцов В.Ф., Шейнблум В.М. Траншейные стенки в грунтах. – Киев: Наукова Думка, 1973. – 304 с.
- 6 Федоров Б.С., Смородинов М.И. «Стена в грунте» - прогрессивный способ строительства. – М.: Стройиздат, 1975. - 33 с.
- 7 Айрапетян Р.А. Проектирование каменно-земляных и каменнонабросных плотин. – М.: Энергия, 1975. – 328 с.
- 8 Живодеров В.Н. ВПСМО «Союзгидроспецстрой» - отечественная школа специальных гидротехнических работ В СССР // Гидротехническое строительство. - 1991. - №2. - С. 16-20.
- 9 Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. – М.: Высшая школа, 1979. – 164 с.
- 10 Непорожного П.С. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР. – М.: Энергоиздат, 1982. - 563 с.
- 11 Андрианов А.В., Баранов А.Е., Крылова Е.В. Опыт активного проектирования противокарсных мероприятий на участке входного оголовка водосброса-водоотпуска Юмагузинского гидроузла // Гидротехническое строительство. – 2003. - №3. – С.28-33.
- 12 Баранов А.Е. Обоснование устойчивости и прочности башенных водоприемников гидротехнических сооружений в условиях закарстованных оснований: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.07. – М., 2008. - 21 с.
- 13 Приданова О.В. Повышения эксплуатационной надежности причальных набережных в районах Сибири и Крайнего севера: автореф. ... канд. техн. наук: 05.22.19. - Новосибирск, 2009. - 19 с.
- 14 Саинов М.П., Шаймердянов И.Р. Исследование сейсмостойкости грунтовой перемычки с бетонной диафрагмой // Вестник Евразийской науки. - 2018. - №3. – С. 318-325. <https://esj.today/PDF/03SAVN318.pdf>
- 15 Ерахтин Б.М., Ерахтин В.М. Строительство гидроэлектростанции в России. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. - 411 с.
- 16 Вдовенко А.В., Митюнина Г.П. К вопросу обустройства и защиты прибрежных территорий // Ученые заметки ТОГУ. - 2014. - Т. 5, №4. - С. 25-31.
- 17 ГОСТ Р. 58744.1-2019 Внутренний водный транспорт. Объекты инфраструктуры. Набережные, подпорные стены тонкостенные (шпунтовые).

Основные требования к расчету и проектированию. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.

18 Unaibayev, B.B., Unaibayev, B.Zh., Alibekova, N., Sarsembayeva, A. Installation of Bored Piles with a Protective Silicate Shell of a New Design in Saline Silty-Clayey Soils. Appl. Sci. - 2021. - Vol. 11. - P. 1-18. <https://doi.org/10.3390/app11156935>

19 Исиченко Б.Н., Нижне-Бурейская ГЭС // Гидротехническое строительство. - 2012. - № 8. - С. 26-27.

20 Пат. 151898 RU , МПК E02B 7/06, E02B 3/16. Грунтовая плотина / А.С. Гаркин, В.В. Борзунов, А.В. Васильев, Е.А. Кадушкина, Е.А. Николаева; патентообл. ОАО «Ленгидропроект». №2014144558/13; заявл. 05.11.2014; опубл. 20.04.2015. Бюл. № 11.

21 Саинов М.П., Кудрявцев Г.М. Влияние деформируемого материала противофильтрационной диафрагмы, выполненной в негрунтовой плотине методом «стена в грунте», на его прочность // Вестник МГСУ. - 2016. - №12 (2). - С. 214-221. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.2.214-221>

22 Саинов М.П., Котов Ф.В. Работоспособность грунтовой плотины с многоярусной диафрагмой, выполненной методом «стена в грунте» // Вестник Евразийской науки. - 2018. - №5. - С. 51-56. <https://esj.today/PDF/03SAVN518.pdf>

23 Саинов М.П., Котов Ф.В. Оценка надежности диафрагмы из буронабивных свай в плотине средней высоты // Вестник МГСУ. - 2014. - №1. - С. 153-163.

24 Радзинский А.В., Рассказов Л.Н., Саинов М.П. Плотина стометровой высоты с глиноцементобетонной диафрагмой по типу «стена в грунте» // Вестник МГСУ. - 2014. - №9. - С. 106-115.

25 Саинов М.П., Толстиков В.В., Тарасов А.А. Исследование напряжённо-деформированного состояния бетонной диафрагмы грунтовой перемычки при шарнирном соединении с основанием // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №1. – С. 118-124. <https://esj.today/PDF/75SAVN118.pdf>

26 Королёв В.М., Смирнов О.Е., Аргал Э.С., Радзинский А.В. Новое в создании противофильтрационного элемента в теле грунтовой плотины // Гидротехническое строительство. - 2013. - № 8. - С. 2-9.

27 Радзинский А.В. Надёжность грунтовых плотин с протифильтрационным элементом в виде «стена в грунте»: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.07. - М., 2014. - 38 с.

28 РусГидро Дагестанский филиал. На Зарамагской ГЭС-1 приступили к строительству здания гидроэлектростанции. Режим доступа: <http://www.dagestan.rushydro.ru/press/news/103133.html>. Дата обращения: 08.08.24.

29 Котлов О.Н., Орищук Р.Н., Гуняшева Ф.И. Полевые исследования по самозалечиванию трещин в противофильтрационном элементе из буросекущих глиноцементобетонных свай // Вестник МГСУ. - 2014. - №7. - С. 133–146. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.322-329>

30 Орищук Р.Н. Разработка и обоснование конструкции самозалечивающихся противофильтрационных диафрагм грунтовых плотин из

буресекущихся глиноцементнобетонных свай: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.07. - Санкт-Петербург, 2019. - 18 с.

31 Бардюков В.Т., Изотов В.Н., Гришин В.А., Радченко В.Г., Шишов И.Н. Ремонт плотины Курейской ГЭС // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. - 2000. - Т. 238. - С. 92-96.

32 СТП 310.02.НТ-2017. Рекомендации по проектированию, расчётам и возведению противофильтрационного элемента из глиноцементобетонных буресекущихся свай / Под ред. Мильцина В.Л., Орищука Р.Н., Сольского С.В. - СПб.: АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», АО «Ленгидропроект», 2017. – 118 с.

33 Ковалев В.А. Совершенствование конструкции и технологии устройства свайных фундаментов лотковых каналов (на примере Голодной и Джизакской степей): автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.07. - М., 1983. - 18 с.

34 Абдул Крим Сажид Ради. Особенности совместной работы гидротехнических сооружений со свайными фундаментами в лессовых просадочных грунтах: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.07. – М., 1992. - 19 с.

35 Каганов Г.М. Влияние особенностей конструкции, свойств основания, специфики топографии и других существенных факторов на работу облегченных бетонных и грунтовых плотин: автореф. .... док. техн. наук: 05.23.07. – М., 1992. - 65 с.

36 Каганов Г.К., Розанов Н.П., Адесман В.Б. К вопросу моделирования свайных фундаментов многоарочных плотин // Материалы конференции и совещании по гидротехнике. Всесоюзная конференция «Повышение эффективности проектирования, исследований и эксплуатация арочных плотин» Арка-87. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 78 с.

37 Каганов Г.К., Адесман В.Б. Материалы для моделирования нескального основания // Сборник научных трудов МГМИ «Исследования гидротехнических сооружений и водохозяйственных комплексов». - М., 1988. – 80 с.

38 Кубенов Р.Т. Вопросы обеспечения надежной работы гидросооружений оросительных систем на просадочных грунтах: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.07. – М., 1993. - 24 с.

39 Кадиров О. Совершенствование конструкций и разработка метода гидравлического расчета комбинированных дамб: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.07. - Ташкент, 1993. - 27 с.

40 Глаговский В.Б. Разработка и совершенствование методов статических и динамических расчетов фундаментов энергетических и гидротехнических сооружений: автореф. ... док. техн. наук: 05.23.02. – Санкт-Петербург, 2002. - 20 с.

41 Бахтин Б.М. Динамическое взаимодействие негрунтовых и грунтовых элементов гидротехнических сооружений, возводимых в сейсмических районах: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.07. – М., 2005. - 50 с.

42 Бахтин Б.М. Критерии моделирования работ одиночных свай // Гидротехническое строительство. - 1996. - №5. - С.42-46.

- 43 Бекбасаров И.И. Методологическое обеспечение рационального устройства фундаментов гидротехнических сооружений: дис. ... док. техн. наук: 05.23.07. - Тараз, 2007. - 284 с.
- 44 Николаев Г.Н. Справочник по строительству портовых гидротехнических сооружений. – М.: Транспорт, 1972. – 474 с.
- 45 Салимов С.В. Несущая способность конструкций анкерных свай морских гидротехнических сооружений: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.01. – Санкт-Петербург, 1993. - 24 с.
- 46 Коровкин В.С. Длительная прочность и долговечность эксплуатируемых сооружений портовой гидротехники: автореф. ... док. техн. наук: 05.22.19 и 05.23.02. – М., 1994. - 42 с.
- 47 Рахаринуси А. П. Применение стальных трубчатых свай с открытым нижним концом в портовых гидротехнических сооружениях: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19. - Санкт-Петербург, 1999. - 182 с.
- 48 Костромин Ф.С. Взаимодействие гидротехнических сооружений гравитационно-свайного типа с грунтами основания: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.07. - М., 2000. - 29 с.
- 49 Соснина С.А. Несущая способность и деформации стальных трубчатых свай, применяемых при строительстве сооружений на шельфе: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.02. – Санкт-Петербург, 2006. - 18 с.
- 50 Степонян Г.А. Исследование несущей способности причалов, возводимых на илах большой мощности: автореф. ... канд.техн.наук: 05.22.19. – М., 2014. - 23 с.
- 51 Mostafa Y. Design Considerations for Pile Groups Supporting Marine Structures with Respect to Scour // Engineering. - 2012. - Vol. 4. – P. 833-842. <https://doi.org/10.4236/eng.2012.412106>.
- 52 Mahomed Rohid Mahomadiquebal. Pile Foundations in Piers of Port Works The Case Study in Pier of the Alemoa Terminal – Brazil. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/844820067125783/Extended%20Abstract.pdf>. Дата обращения: 25.09.24.
- 53 Шеховцев В.А. Обоснование прочности и устойчивости трубобетонных конструкций опорных блоков морских стационарных платформ при квазистатических и периодических внешних воздействиях: автореф. ... док. техн. наук: 05.23.07 и 05.23.01. – Санкт-Петербург, 2010. - 39 с.
- 54 Атенев Е.И. Исследование работы свай с плоскими уширениями ствола для устройства фундаментов линейных гидротехнических сооружений: дисс... док. философии (PhD): 8D07411. – Тараз: ТарПУ им. М.Х. Дулати, 2023. - 154 с.
- 55 Рабочий проект «Реконструкция 2-й очереди с повышением сейсмоустойчивости плотины Тасоткельского водохранилища в Шуйском районе Жамбылской области». Альбом 2 чертежи Катастрофический водосброс (исправлено по замечаниям РГП «Госэкспертиза» от 25.11.2018 г.). МСХ РК, Комитет по водным ресурсам, Производственный кооператив «Институт КАЗГИПРОВОДХОЗ». – Алматы, 2018.

- 56 НТП РК 03-05.1-2011 Проектирование стальных конструкций. Часть 1-9. Проектирование стальных свай и шпунтов. – Астана: АО «КазНИИСА», ТОО «Астана Строй-Консалтинг», 2015. – 156 с.
- 57 ГОСТ Р. 57365-2016/EN 12063:1999 Стены шпунтовые. Правила производства работ – М.: Стандартинформ, 2017. – 61 с.
- 58 РД 31.31.33-85 Рекомендации по проектированию глубоководных портовых гидротехнических сооружений с использованием сварных шпунтов. – М., 1985. – 35 с.
- 59 Левачев С.Н., Федоровский В.Г., Колесников Ю.М., Курилло С.В. Расчет свайных оснований гидротехнических сооружений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
- 60 Красов Н.В. Стальные шпунтовые сваи в портовом гидротехническом строительстве. - М.: Транспорт, 1982. – 68 с.
- 61 Комиссаров Ю.В. Мы работали ради будущего // Промышленное и гражданское строительство. - 2010. - №4. - С. 56-58.
- 62 ООО «Гидротехническое бюро». Примеры проектов. Сопряжение шпунтовой набережной и водовыпуска. <https://www.gidroburo.ru/index.php/c-dopolnitelno/c-2-primery-konstruktsij/154-c-2-12-sopryazhenie-shpuntovoj-naberezhnoj-i-vodovypuska>. Дата обращения: 03.08.23.
- 63 ООО «Гидротехническое бюро». Примеры проектов. Шпунтовый причал с анкерной стенкой. <https://www.gidroburo.ru/index.php/c-dopolnitelno/c-2-primery-konstruktsij/143-c-2-03-shpuntovyj-prichal-s-ankernoj-stenkej>. Дата обращения: 03.08.23.
- 64 ТОО «Компания Unex Stroy». Строительство причала для производственной базы ККОИ. <http://www.unexstroy.kz/ru/facility/>. Дата обращения: 03.08.23.
- 65 Носенко О.П. Разработка профиля шпунтовых свай типа Ларсен повышенной несущей способности // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2016. - №5/1. - С. 86-92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80616>
- 66 Новак Ю.В., Макаров Г.И., Безволев С.Г., Цыба О.О. Применение балочно-шпунтовых свай в качестве несущих конструкций в мостовом и гидротехническом строительстве // ГидроТехника. - 2018. - № 2. - С. 70-76.
- 67 Немолочнов А.Г. Совершенствование конструкций берегоукрепительных сооружений с использованием композитного шпунта: дис. ... канд.техн.наук: 05.23.07. – М., 2019. - 125 с.
- 68 Дмоховский В.К. О влиянии геометрической формы сваи на сопротивляемость // Труды Москов. института инж.транспорта. - 1927. - №6. - С. 1-10.
- 69 Бартоломей А.А, Пономарев А.Б. Исследование и прогноз осадок фундаментов из конических свай // Механика грунтов и фундаментостроение. – 2001. - 38(2). - С. 42-50. <https://doi.org/10.1023/A1010422029681>
- 70 Пономарев А.Б. Экспериментально-теоретические основы прогноза осадок и несущей способности фундаментов из свай распорных конструкции: автореф. ... докт.техн.наук: 05.23.02. - Пермь, 1999. - 32 с.

- 71 Shafaghat A., Hataf N. Recent advances and past discoveries on tapered pile foundations: a review // Geomech. Geoenjin. – 2020. – Vol. 4. – P.1-30. <https://doi.org/10.1080/17486025.2020.1794057>
- 72 Hataf N., Shafaghat A. Optimizing the Bearing Capacity of Tapered Piles in Realistic Scale Using 3D Finite Element Method // Geotech. Geol. Eng. – 2015. – Vol. 33. - P. 1465–1473. <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9912-6>
- 73 Hataf N., Shafaghat A. Numerical comparison of bearing capacity of tapered pile groups using 3D FEM // Geomech. and Eng. – 2015. – Vol. 9 (5). - P. 547-567. <http://dx.doi.org/10.12989/gae.2015.9.5.547>
- 74 Репецкий Д.С. Работа двухконусных свай в пучинистых грунтах: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.02. - Тюмень, 2011. - 20 с.
- 75 Добрынин А.О. Фундаменты из двухконусных свай для транспортного строительства: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.02. – Тюмень, 2013. - 20 с.
- 76 Бахолдин Б.В., Игонькин И.Т. Исследования несущей способности пирамидальных свай // Механика грунтов и фундаментостроение. – 1978. - №15. - С. 165-170. <https://doi.org/10.1007/BF02132792>
- 77 Sorochan E.A., Li E.A. Investigation of the operation of pyramidal piles in swelling soils // Soil Mech Found Eng. - 1993. - Vol. 30. - P. 42-46. <https://doi.org/10.1007/BF01782906>
- 78 Попович М.М. Робота пірамідальних паль при одночасній дії горизонтальних та вертикальних навантажень: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.02. - Київ, 2000. - 17 с.
- 79 Hosseini M. A., Rayhani M. Evolution of pile shaft capacity over time in marine soils // Inter. Journal of Geo-Eng. - 2017. – Vol. 12. – P. 132-145 <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0049-8>
- 80 Anusic I., Barry M., Lehane Gudmund, Eiksund R., Morten A. Liingaard Evaluation of installation effects on set-up of field displacement piles in sand // Can. Geotech. Journal. – 2019. – Vol. 56 (4). - P. 461–472. <https://doi.org/10.1139/cgj-2017-0730>
- 81 Kamran Khan M., Hesham El Naggat M., Elkasabgy M. Compression testing and analysis of drilled concrete tapered piles in cohesive-frictional soil // Can. Geotech. Journal. – 2008. – Vol. 45 (3). - P. 297–313. <https://doi.org/10.1139/T07-107>
- 82 Hassan S.A., Al-Soud M.S., Mohammed S.A. Behavior of Pyramidal Shell Foundations on Reinforced Sandy Soil // Geotechnical. Geol. Eng. – 2019. – Vol. 37. - P. 2437–2452. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-00767-z>
- 83 Blanchet R., Tavenas F., Garneau R. Behaviour of friction piles in soft sensitive clays // Can. Geotech. Journal. - 1980. – Vol. 17 (2). - P. 153–164. <https://doi.org/10.1139/t80-023>
- 84 Zotcenko M., Vynukov Y., Miroshnichenko I., Petrash R. Deformation Modeling of Pyramidal Piles Base at Petroleum Industry Facilities // Inter. Journal of Eng & Tech. – 2018. – Vol. 7. - P. 48-52. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27212>
- 85 Esmaili D., Hataf N. Determination of ultimate load capacity of conical and pyramidal shell foundations using dimensional analysis // IJST, Transactions of Civil Eng. – 2013. – Vol. 37. - P. 423-435.

[https://www.researchgate.net/publication/260530221\\_Determination\\_of\\_Ultimate\\_Load\\_Capacity\\_of\\_Conical\\_and\\_Pyramidal\\_Shell\\_Foundations\\_Using\\_Dimensional\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/260530221_Determination_of_Ultimate_Load_Capacity_of_Conical_and_Pyramidal_Shell_Foundations_Using_Dimensional_Analysis)

86 Медведева О.П. Работы пирамидально-призматических свай в пылевато-глинистых грунтах: автореф. ... канд.техн.наук: 05.23.02. - Пермь, 1992. - 20 с.

87 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.

88 Бекбасаров И.И., Исаков Г.И., Аманбай А. Оценка влияния параметров свай и штампов на их погужаемость и несущую способность фундаментных конструкций. – Тараз: Издательство «Тараз университеті», 2014. – 146 с.

89 Бекбасаров И.И. Исследование процесса забивки свай и штампов на моделях. – М.: ИНФРА-М Publ., 2021. - 195 с. <https://doi.org/10.12737/1074097>

90 Медведева О.П., Буланкин Н.Ф. Определение несущей способности пирамидально-призматических свай по результатам динамических испытаний // Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроений и транспортным сооружениям. - М.: РИО ППИ, 2000. - С.196-199.

91 Козаков Ю.Н., Буланкин Н.Ф., Иванов В.Ф. Опыт внедрения рациональных конструкций свай в Восточной Сибири // Сборник научных трудов / Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении. – М.: Стройиздат, 1987. – С.121-123.

92 Пат. 4521 РК. Забивная железобетонная свая / И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев; опубл. 29.11.2019, Бюл. №5. - 2 с.

93 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.

94 Шилибеков С.К., Бекбасаров И.И., Тасболатов Б.К. Установка для вытрамбовывания котлованов // Информационный листок №22-26. – Джамбул: Джамбульский ЦНТИ, 1986. – 4 с.

95 Бекбасаров И.И., Шилибеков С.К., Кушекбаев Б.З. О влиянии некоторых геометрических параметров трамбовки на энергоемкость процесса вытрамбовывания котлованов и его состояние // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь: ППИ, 1987. – С. 118-126.

96 Бекбасаров И.И., Шилибеков С.К., Кушекбаев Б.З. О влиянии некоторых геометрических параметров фундаментов в вытрамбованных котлованах на их сопротивляемость действию статической вертикальной нагрузки // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь: ППИ, 1989. – С. 88-93.

97 Бекбасаров И.И., Байтемиров М.Н., Атенев Е.И., Шаншабаев Н.А. Об экспериментальном оборудовании для забивки и испытаний крупномасштабных моделей свай в полевых условиях // Механика и технологии. Научный журнал. – 2019. – №4. – С.134-141.

- 98 ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
- 99 ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2018. – 36 с.
- 100 ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2013. – 44 с.
- 101 ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
- 102 ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014. – 47 с.
- 103 СП РК EN 1997-1:2004/2011 Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила. – Астана: РГП «КазНИИСА», 2016. – 156 с.
- 104 СП РК 5.01-103-2013. Свайные фундаменты. – Астана: АО «КазНИИСА», 2015. – 181 с.
- 105 СТ РК EN 12699-2012 = EN 12699:2000, IDT. Выполнение специальных геотехнических работ. Вытесняющие сваи. – Астана: РГП «Казахстанский институт стандартизации сертификации», 2012. – 49 с.
- 106 Бекбасаров И.И., Никитенко М.И., Шаншабаев Н.А. Об энергоемкости забивки и несущей способности моделей пирамидально-призматических свай в глинистом грунте // Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий материалы II Всероссийской конференции с международным участием. - Пермь, 2021. – С. 41-56.
- 107 Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. Об энергоемкости забивки и несущей способности моделей пирамидально-призматических свай // Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. Научный журнал. – 2020. - №3. – С. 97-106. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.3-13>
- 108 Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. О влиянии размеров пирамидальной части пирамидально-призматических свай на их энергоемкость и несущую способность // Вестник КазНУ. Научный журнал. – 2020. - №6. – С. 190-200.
- 109 Bekbasarov I., Nikitenko M., Shanshabayev N., Atenov Y., Moldamuratov Zh. Tapered-prismatic pile: driving energy consumption and bearing capacity // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2021. - Vol. 6 (450). - P. 53-63. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.119>
- 110 Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. Сопrotивляемость моделей пирамидально-призматических свай горизонтальной нагрузке // Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. Научный журнал. – 2020. - №4. – С. 135-145. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2020.4-20>
- 111 Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А.. Результаты лабораторных исследований работы моделей пирамидально-призматических свай на действие вертикальной выдергивающей нагрузки в глинистом грунте // Qazbsqa

хабаршысы. Сәулет және дизайн. - 2022. - №4 (86). – С.132-146.  
<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2022.4-13>

112 Бекбасаров И.И., Никитенко М.И., Шаншабаев Н.А. Сопrotивляемость моделей пирамидально-призматических свай статической выдерживающей нагрузке // Вестник ЕНУ. Серия технические науки и технологии. Научный журнал. – 2021. - №1. – С. 7-19.  
<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-134-1-7-19>

113 Bekbasarov I., Shanshabayev N. Impact Dipping Pyramidal-Prismatic Piles and their Resistance to Pressure and Horizontal Load // Periodica Polytechnica Civil Engineering. - 2021. - Vol. 65(3). - P. 909-917. <https://doi.org/10.3311/PPci.17923>

114 Bekbasarov I., Shanshabayev N. Driving Features of Tapered-Prismatic Piles and Their Resistance to Static Loads // Acta Montanistica Slovaca. – 2022. – Vol. 4. – P. 55-65. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27iX.X>

115 Bekbasarov I., Shanshabayev N. Uplift behavior of pyramidal-prismatic piles in clay soil // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2023. – Vol. 5 (461). – P. 76-88. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.332>

116 Пат. 4386 РК. Способ определения несущей способности висячей забивной пирамидально-призматической сваи / И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев; опубл. 23.10.2019, Бюл. №2019/0526.2. - 2 с.

117 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.

118 Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. О несущей способности пирамидально-призматической сваи в однородных глинистых грунтах // Материалы XIII международной научной конференции молодых ученых «Инновационное развитие и востребованность науки в современной Казахстане». – Тараз, 2019. – С. 25-27.

119 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.

120 Цытович Н.А. Основание и фундаменты. – М.: Гостстройиздат, 1959. – 452 с.

121 СП РК 5.01-101-2013 Земляные сооружения, основания и фундаменты. – Астана: АО «КазНИИСА», 2015. – 108 с.

122 Типовой проект 901-2-159.87 «Насосная станция обратного водоснабжения производительностью 8000 м<sup>3</sup>/час с двумя группами насосов». Альбом II (Архитектурно-строительные чертежи). – М.: Союзводоканалпроект, 1996. – 53 с.

123 Типовой проект ТП РК 100-200НСП8С(ШБ)-2009 «Насосная станция II-го подъема, подкачки или систем обратного водоснабжения

производительностью от 100 до 200 м<sup>3</sup>/час». Альбом 2 (Архитектурно-строительные чертежи). – Тараз: ТОО «Мекен-Жай Тараз», 2021. – 82 с.

124 Альбом 1. Рабочие чертежи. «Сваи забивные железобетонные пирамидально-призматические». Сваи цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой» / И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев, Е.И. Атенев. – Тараз: Dulaty University, 2024. – 28 с.

125 Альбом 2. Рабочие чертежи. «Сваи забивные железобетонные пирамидально-призматические». Сваи цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой» / И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев и Е.И. Атенев. – Тараз: Dulaty University, 2024. – 28 с.

126 Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А., Атенев Е.И. Р-1-24 «Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из ППС». – Тараз: Dulaty University, 2024. – 78 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Параметры и критерии моделирования экспериментов

Таблица А.1 - Параметры и критерии моделирования экспериментов

Масштабы моделирования	Численные значения масштабов моделирования	Параметры моделирования	Численные значения параметров моделей	Обозначение параметров
1	2	3	4	5
Параметры и масштабы геометрического моделирование				
$K_L = \frac{l_m}{L_n}$	$K_L = 0,1$	$l_m = K_L L_n$	$l_m = 0,5$	$K_L$ – коэффициент масштаба длины сваи; $l_m$ – длина моделей сваи (м); $L_n$ – длина натурной сваи (м).
$K_a = \frac{d_a^m}{d_a^n}$	$K_a = 0,1$	$d_a^m = K_a d_a^n$	$d_a^m = 0,03$	$K_a$ – коэффициент масштаба диаметра сваи; $d_a^m$ – диаметр моделей сваи (м); $d_a^n$ – диаметр натурной сваи (м).
$K_\epsilon = \frac{\epsilon_m}{\epsilon_n}$	$K_\epsilon = 0,1$	$\epsilon_m = K_\epsilon \epsilon_n$	$\epsilon_m = 0,03$	$K_\epsilon$ – коэффициент масштаба поперечного сечения сваи; $\epsilon_m$ – поперечное сечение моделей сваи (м); $\epsilon_n$ – поперечное сечение натурной сваи (м).
$K_F = \frac{F_m}{F_n}$	$K_F = 0,01$	$F_m = K_F F_n$	$F_m = 0,0009$	$K_F$ – коэффициент площади поперечного сечения сваи; $F_m$ – площадь поперечного сечения моделей сваи (м <sup>2</sup> ); $F_n$ – площадь поперечного сечения натурной сваи (м <sup>2</sup> ).

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5
$\frac{A_{ma}}{A_m} = \mu$	$\mu = 0,003$	$A_{ma} = \mu A_m$	$A_{ma} = 0,3$	$\mu$ – коэффициент армирования; $A_{na}$ – площадь поперечного сечения продольной арматуры сваи (см <sup>2</sup> ); $A_{ma}$ – тоже самое для модели сваи (см <sup>2</sup> ); $A_n$ – площадь поперечного сечения сваи (см <sup>2</sup> ); $A_m$ – тоже самое для модели сваи (см <sup>2</sup> ).
$\frac{A_{na}}{A_n} = \mu$	$\mu = 0,003$	$A_{na} = \mu A_n$	$A_{na} = 2,7$	
Параметры и критерии физического моделирования молота и сваи				
$\frac{E_m}{V_{pm}} = K_E^m$	$K_E^m = 0,87$	$E_m = K_E^m V_{pm}$	$E_m = 195,3$	$K_E^m$ – коэффициент энергоемкости забивки сваи; $E_m$ – потенциальная энергия удара модели молота (Дж); $V_{pm}$ – объем погружения за один удар (м <sup>3</sup> ).
$\frac{E_n}{V_{pn}} = K_E^n$	$K_E^n = 0,90$	$E_n = K_E^n V_{pn}$	$E_n = 4050$	$K_E^n$ – коэффициент энергоемкости забивки сваи; $E_n$ – потенциальная энергия удара натурального молота; $V_{pn}$ – объем погружения за один удар.
$\frac{Q_m}{q_m} = K_M^m$	$K_M^m = 1,8$	$Q_m = K_M^m q_m$	$Q_m = 40$	$K_M^m$ – коэффициент массы модели молота; $Q_m$ – масса молота (кг); $q_m$ – масса модели сваи (кг).

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5
$\frac{Q_n}{q_n} = K_m^n$	$K_m^n = 1,8$	$Q_n = K_m^n q_n$	$Q_n = 900$	$K_m^n$ – коэффициент массы натурального молота; $Q_n$ – масса молота (кг); $q_n$ – масса натурной сваи (кг).
Параметры и критерии физического моделирования грунта и сваи				
$\frac{\rho_{mq}}{W_{mq}} = K_g^m$	$K_g^m = 0,12$	$\rho_{mq} = K_g^m W_{mq}$	$\rho_{mq} = 1,67$	$K_g^m$ – коэффициент плотности грунта; $\rho_{mq}$ – плотность грунта (г/см <sup>3</sup> ); $W_{mq}$ – влажность природного грунта (%).
$\frac{\rho_{nq}}{W_{nq}} = K_g^n$	$K_g^n = 0,15$	$\rho_{nq} = K_g^n W_{nq}$	$\rho_{nq} = 1,7$	$K_g^n$ – коэффициент плотности грунта; $\rho_{nq}$ – плотность грунта (г/см <sup>3</sup> ); $W_{nq}$ – влажность природного грунта (%).
$\frac{R_m}{R_{mq}} = K_s^m$	$K_s^m = 0,68$	$R_m = K_s^m R_{mq}$	$R_m = 750$	$K_s^m$ – коэффициент расчетного сопротивления; $R_m$ – расчетное сопротивление материалов сваи (МПа); $R_{mq}$ – расчетное сопротивление модели грунта (КПа).
$\frac{R_n}{R_{nq}} = K_s^n$	$K_s^n = 0,70$	$R_n = K_s^n R_{nq}$	$R_n = 770$	$K_s^n$ – коэффициент расчетного сопротивления; $R_n$ – расчетное сопротивление материалов сваи (МПа); $R_{nq}$ – расчетное сопротивление модели грунта (КПа).

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программа для расчета несущей способности забивных железобетонных пирамидально-призматических свай (ТРР-20.24) на вдавливающую статическую нагрузку

Прикладная программа ТРР-20.24 разработана для расчета несущей способности забивных железобетонных пирамидально-призматических свай на вертикальную вдавливающую нагрузку. Расчеты производятся по предложенной автором методике, представленной в параграфе 4.1.

Программа разработана в среде приложения Java script. Расчеты выполняются автоматически при вводе необходимых значений параметров, указанных в составе формулы (4.5). Алгоритм действия программы включает последовательное выполнение следующих операций:

1. Запуск программы;
2. Активация следующих окон: сведения об авторах, общие сведения, справочная информация, расчет несущей способности ППС;
3. Выбор размеров сечения верхней части пирамидального участка ППС;
4. Выбор общей длины ствола ППС;
5. Выбор длины пирамидального участка ППС;
6. Ввод необходимых значений параметров формулы (4.5);
7. Расчет вычислений;
8. Получение окончательных результатов вычислений.

Схема алгоритма работы программы представлена на рисунке Б.1.

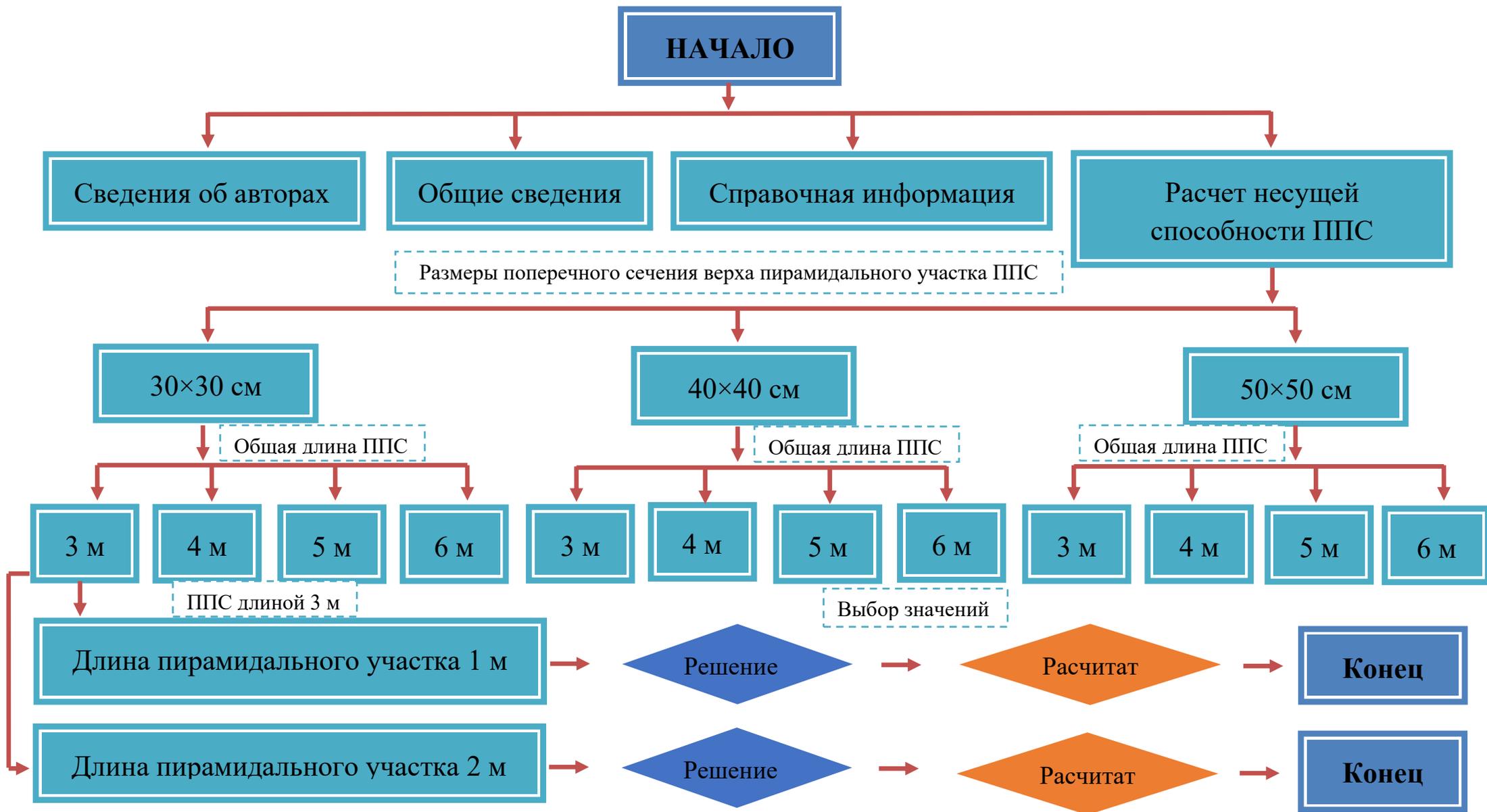


Рисунок Б.1 – Алгоритм работы прикладной программы

Интерфейс прикладной программы имеет вид, представленный на рисунках Б.2, Б.3, Б.4 и Б.5.



Рисунок Б.2 – Титульная страница программы



Рисунок Б.3 – Окно выбора следующих команд: сведения об авторах, общие сведения, справочная информация, расчет несущей способности ППС



Рисунок Б.4 – Окно выбора размеров поперечного сечения верха пирамидального участка и общей длины ППС

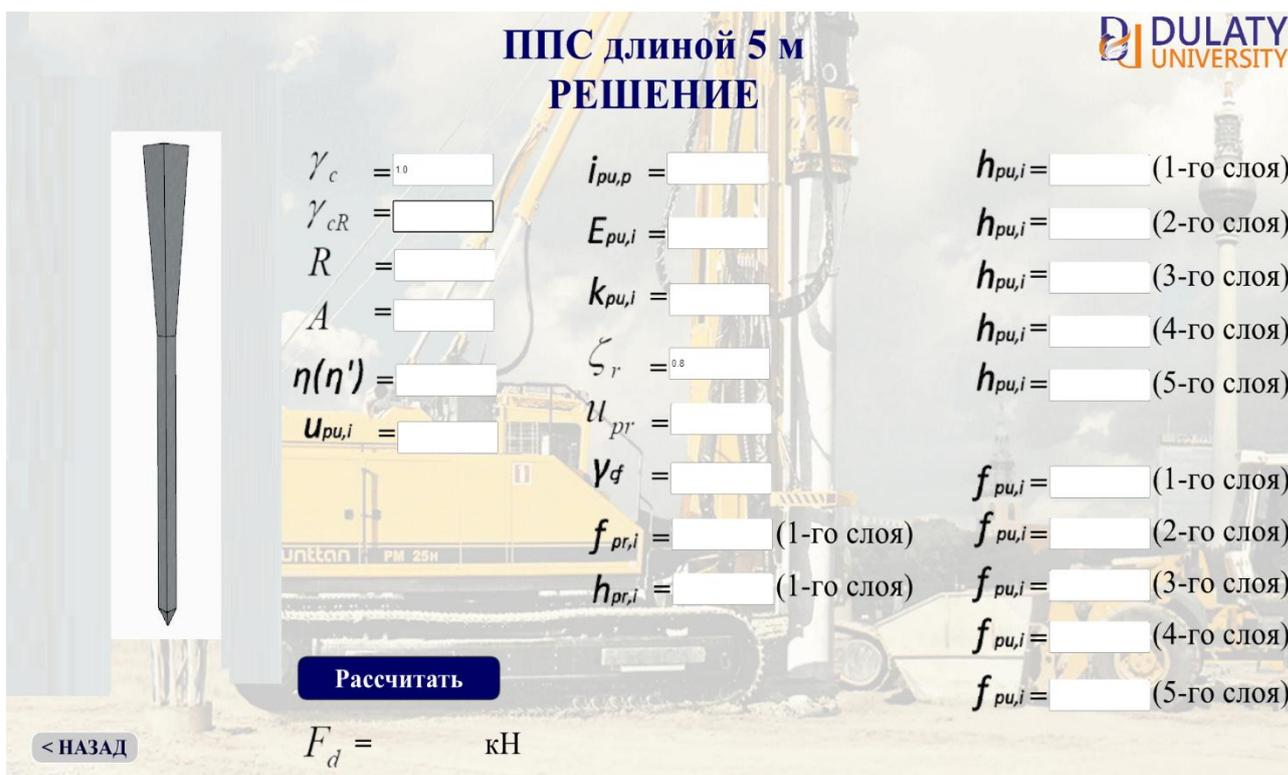


Рисунок Б.5 – Окно ввода параметров

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Расчетная нагрузка сваи по материалу

Расчётная несущая способность железобетонной сваи «по материалу» определяется как предельная продольная сила, которую может воспринять железобетонное сечение сваи без разрушений. Для центрально сжатой сваи в общем виде для расчета несущей способности сваи по материалу используется следующая формула:

$$N_{Rd} = \eta[\varphi_{\ell} R_b A_c + R_s A_s] \quad (B.1)$$

где:  $A_c$  – площадь бетона сечения (брутто-площадь минус площадь продольных арматурных стержней), м<sup>2</sup>;  $A_s$  – суммарная площадь продольной рабочей арматуры, м<sup>2</sup>;  $R_b$  – расчетные сопротивления бетона осевому сжатию, МПа;  $R_s$  – расчётное сопротивление арматуры сжатию, МПа;  $\varphi_{\ell}$  - коэффициент учета длительного действия нагрузки;  $\eta$  – коэффициент условий работы.

Результаты расчетов, выполненные на основе указанной формулы, представлены в таблице В.1

Таблица В.1 – Значения несущей способности опытных и контрольных свай по материалу

№	Марка сваи	Параметры, входящие в формулу (1)						$N_{Rd}$ , мН
		$\eta$	$\varphi_{\ell}$	$R_b$ , МПа	$A_c$ , м <sup>2</sup>	$R_s$ , МПа	$A_s$ , м <sup>2</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	C30.30-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,059182	400	0,0008038	0,7742
2	C30.30-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,060182	400	0,0008038	0,7819
3	C30.40-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,129196	400	0,0008038	1,3098
4	C30.40-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,134196	400	0,0008038	1,3481
5	C30.50-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,199196	400	0,0008038	1,8453
6	C30.50-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,219196	400	0,0008038	1,9983
7	C40.30-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,059182	400	0,0008038	0,7742
8	C40.30-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,060182	400	0,0008038	0,7819
9	C40.30-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,061182	400	0,0008038	0,7895
10	C40.40-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,041354	400	0,0008038	0,6378
11	C40.40-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,043109	400	0,0008038	0,6513
12	C40.40-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,046788	400	0,0008038	0,6794
13	C40.50-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,180154	400	0,0008038	1,6996
14	C40.50-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,199196	400	0,0008038	1,8453
15	C40.50-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,219196	400	0,0008038	1,9983
16	C50.30-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,059182	400	0,0008038	0,7742
17	C50.30-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,060182	400	0,0008038	0,7819
18	C50.30-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,061182	400	0,0008038	0,7895
19	C50.30-A400-ПП-4	1,0	0,90	8,5	0,062182	400	0,0008038	0,7972
20	C50.40-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,041354	400	0,0008038	0,6378
21	C50.40-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,043109	400	0,0008038	0,6513

Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
22	C50.40-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,046788	400	0,0008038	0,6794
23	C50.40-A400-ПП-4	1,0	0,90	8,5	0,051987	400	0,0008038	0,7192
24	C50.50-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,180154	400	0,0008038	1,6996
25	C50.50-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,199196	400	0,0008038	1,8453
26	C50.50-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,219196	400	0,0008038	1,9983
27	C50.50-A400-ПП-4	1,0	0,90	8,5	0,238150	400	0,0008038	2,1433
28	C60.30-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,059182	400	0,0008038	0,7742
29	C60.30-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,060182	400	0,0008038	0,7819
30	C60.30-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,061182	400	0,0008038	0,7895
31	C60.30-A400-ПП-4	1,0	0,90	8,5	0,062182	400	0,0008038	0,7972
32	C60.30-A400-ПП-5	1,0	0,90	8,5	0,063182	400	0,0008038	0,8048
33	C60.40-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,041354	400	0,0008038	0,6378
34	C60.40-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,043109	400	0,0008038	0,6513
35	C60.40-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,046788	400	0,0008038	0,6794
36	C60.40-A400-ПП-4	1,0	0,90	8,5	0,051987	400	0,0008038	0,7192
37	C60.40-A400-ПП-5	1,0	0,90	8,5	0,057763	400	0,0008038	0,7634
38	C60.50-A400-ПП-1	1,0	0,90	8,5	0,180154	400	0,0008038	1,6996
39	C60.50-A400-ПП-2	1,0	0,90	8,5	0,199196	400	0,0008038	1,8453
40	C60.50-A400-ПП-3	1,0	0,90	8,5	0,219196	400	0,0008038	1,9983
41	C60.50-A400-ПП-4	1,0	0,90	8,5	0,238150	400	0,0008038	2,1433
42	C60.50-A400-ПП-5	1,0	0,90	8,5	0,243157	400	0,0008038	2,1816
43	Призматическая свая с размерами сечения 20×20 см (L=6,0 м)	1,0	0,90	8,5	0,039385	400	0,0008038	0,6228
44	Призматическая свая с размерами сечения 30×30 см (L=6,0 м)	1,0	0,90	8,5	0,08898	400	0,001018	1,0878
45	Пирамидальная свая с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см (L=6,0 м)	1,0	0,90	8,5	0,064182	400	0,0008038	0,8219

Из таблицы следует, что расчетная несущая способность по материалу опытных свай составляет 0,6378 – 2,1816 мН в зависимости от их марки, а несущая способность по материалу контрольных свай – 0,6228 – 1,0878 мН. Таким образом, пирамидально-призматические сваи по несущей способности материала в 1,02-2,0 раза выше по сравнению с призматическими и пирамидальной сваями.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Акты внедрения

«СОГЛАСОВАНО»

Проректор по научной работе  
и цифровизации Таразского  
регионального университета  
им. М.Х. Дулати,  
PhD, ассистент-профессор



С. Орынбаев  
2024 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ЮКФ АО  
«КазНИИСА», к.т.н.  
М. Байтемиров  
2024 г.

ТОО «Тараз Аркон», к.т.н.  
И. Момбеков  
2024 г.

ТОО «Мекен-Жай Тараз»  
Б. Абдалиев  
2024 г.

ТОО «Табыс Жоба»  
Г. Ахметова  
2024 г.

ТОО «Экспертиза  
сейсмостойкого  
строительства»  
Н. Оспанов  
2024 г.

ТОО «Тараз-Технопроект»  
М. Олжабеков  
2024 г.

ТОО «АзияТурПроект»  
Б. Турлыбаева  
2024 г.

ТОО «Эрфольг»  
П. Попандопуло  
2024 г.

### АКТ

принятия инструктивной документации  
для проектирования свайных фундаментов  
из забивных железобетонных пирамидально-призматических свай

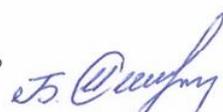
Настоящим актом подтверждается, что Р-1-24 «Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из пирамидально-призматических свай», разработанные специалистами научно-исследовательской лаборатории инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати, приняты в нормативно-техническую базу ЮКФ АО «КазНИИСА», ТОО «Тараз Аркон», ТОО «Мекен-Жай Тараз»,

ТОО «ТабысЖоба», ТОО «Экспертиза сейсмостойкого строительства», ТОО «Тараз-Технопроект», ТОО «АзияТурПроект», ТОО «Эрфольг». Принята также программа расчета несущей способности пирамидально-призматических свай, разработанная в соответствии с требованиями действующих строительных норм.

В соответствии с принятыми рекомендациями ЮКФ АО «КазНИИСА», ТОО «Тараз Аркон», ТОО «Мекен-Жай Тараз», ТОО «ТабысЖоба», ТОО «Экспертиза сейсмостойкого строительства», ТОО «Тараз-Технопроект», ТОО «АзияТурПроект», ТОО «Эрфольг» планирует использовать пирамидально-призматические сваи и фундаменты из них в качестве альтернативных фундаментных конструкций в рамках вариантного проектирования подземных частей зданий и сооружений. Программа расчета несущей способности пирамидально-призматических свай апробирована в ЮКФ АО «КазНИИСА», ТОО «Тараз Аркон», ТОО «Мекен-Жай Тараз», ТОО «ТабысЖоба», ТОО «Экспертиза сейсмостойкого строительства», ТОО «Тараз-Технопроект», ТОО «АзияТурПроект», ТОО «Эрфольг» путем выполнения проверочных расчетов, что свидетельствует о ее достаточно высокой достоверности.

Заведующий НИЛ

«Наноинженерные методы  
исследований им. А.С. Ахметова»,  
д.т.н., профессор



И.И.Бекбасаров

Инженер лаборатории



Н.А.Шаншабаев

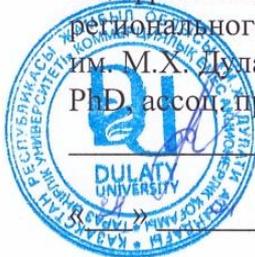
Инженер лаборатории



Е.И.Атенев

«СОГЛАСОВАНО»

Проректор по научной работе  
и цифровизации Таразского  
регионального университета  
им. М.Х. Дулати,  
PhD, ассоц. профессор



С. Орынбаев

20 24 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
ТОО «БИНОМ»



М. Бакеев

20 24 г.

### АКТ

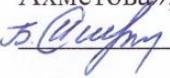
#### принятия технической документации для производства забивных железобетонных пирамидально-призматических свай

Настоящим актом подтверждается, что следующая техническая документация:

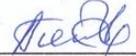
- 1) Альбом 1. Рабочие чертежи. «Свай пирамидально-призматические забивные железобетонные (Қағылмалы темірбетонды пирамидалды-призмалық қадалар). Свай цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой»;
- 2) Альбом 2. Рабочие чертежи. «Свай пирамидально-призматические забивные железобетонные (Қағылмалы темірбетонды пирамидалды-призмалық қадалар). Свай цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой», разработанная специалистами НИЛ инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» Таразского регионального университета имени М.Х. Дулати, принята ТОО «БИНОМ» для организации и производства работ по изготовлению забивных железобетонных пирамидально-призматических свай.

В соответствии с принятой технической документацией в ТОО «БИНОМ» в 2024 году предусматривается формирование заказа на указанные железобетонные конструкции, подготовка и переоборудование производственного участка, изготовление опалубочных стендов и заготовка сырьевых материалов для выпуска опытной партии пирамидально-призматических свай.

#### Представители сторон:

Заведующий НИЛ «Наноинженерные  
методы исследований им. А.С.  
Ахметова», д.т.н., профессор  
 Бекбасаров И.И.

Инженер  Шаншабаев Н.А.

Инженер  Атенев Е.И.

Заведующий заводской  
лаборатории  
ТОО «БИНОМ»

 Р. Тен



«СОГЛАСОВАНО»

Проректор по научной работе  
и цифровизации

Таразского регионального  
университета

им. М.Х. Дулати,  
PhD, ассист. профессор

С. Орынбаев

21 2024 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
ТОО «ФИМАРАТ-  
ТЕМІРБЕТОН»

К. Сматов

«29» 07 2024 г.



### АКТ

принятия технической документации для производства  
забивных железобетонных пирамидально-призматических свай

Настоящим актом подтверждается, что следующая техническая документация:

1) Альбом 1. Рабочие чертежи. «Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные (Қағылмалы темірбетонды пирамидалды-призмалық қадалар). Сваи цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой»;

2) Альбом 2. Рабочие чертежи. «Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные (Қағылмалы темірбетонды пирамидалды-призмалық қадалар). Сваи цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой»,

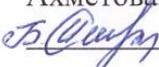
разработанная специалистами научно-исследовательской лаборатории инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати, принята ТОО «ФИМАРАТ-ТЕМІРБЕТОН» для организации и производства работ по изготовлению забивных железобетонных пирамидально-призматических свай.

В соответствии с принятой технической документацией в ТОО «ФИМАРАТ-ТЕМІРБЕТОН» в 2024 году предусматривается формирование заказа на указанные железобетонные конструкции, подготовка и переоборудование производственного участка, изготовление опалубочных стендов и заготовка сырьевых материалов для выпуска опытной партии пирамидально-призматических свай.

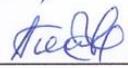
### Представители сторон:

Заведующий НИЛ «Наноинженерные  
методы исследований им. А.С.

Ахметова», д.т.н., профессор

 Бекбасаров И.И.

Инженер  Шаншабаев Н.А.

Инженер  Атенев Е.И.

Заведующий заводской  
лаборатории

ТОО «ФИМАРАТ-  
ТЕМІРБЕТОН»

 Пожилая В.Н.



«УТВЕРЖДАЮ»



Директор

ТОО «МЕКЕН-ЖАЙ ТАРАЗ»

Абдалиев Б.Б.

«26» 2024 г.

## АКТ

внедрения результатов научно-исследовательских работ

Мы, нижеподписавшиеся, директор ТОО «МЕКЕН-ЖАЙ ТАРАЗ» Абдалиев Б.Б. и главный инженер проекта Шымырбаев К. составили настоящий акт о включении следующих результатов научных исследований докторанта Шаншабаева Н.А. в проектную деятельность ТОО «МЕКЕН-ЖАЙ ТАРАЗ», включенных в состав Р-1-24 «Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из пирамидально-призматических свай»:

- методов оценки несущей способности пирамидально-призматических свай при действии статических нагрузок (вдавливающей, горизонтальной и выдергивающей);

- программы расчета несущей способности пирамидально-призматических свай при действии вертикальной вдавливающей статической нагрузки.

Указанные результаты научно исследовательской работы и Р-1-24 использованы при вариантном проектировании фундаментов насосных станций 1-го (надземная насосная станция производительностью от 12 до 80 м<sup>3</sup>/час) и 2-го подъема (насосная станция производительностью от 100 до 200 м<sup>3</sup>/час), входящих в состав водозаборных сооружений, расположенных в ауле Жанатурмыс Байзакского района Жамбылской области. На стадии проектирования в качестве одного из альтернативных вариантов принят свайный фундамент из пирамидально-призматических свай длиной ствола 5 м (имеющие пирамидальный участок длиной 2 м с размерами сечения поверху 50×50 см).

Расчетами установлено, что использование пирамидально-призматических свай в составе проектируемого сооружения достаточно эффективно в глинистых грунтах (суглинков). Практическая апробация методов и программы расчетов показала их надежность, достоверность и несложность в применении.

Главный инженер

ТОО «МЕКЕН-ЖАЙ ТАРАЗ»



Шымырбаев К.



## «КАЗЮЖГИПРОВОДСТРОЙПРОЕКТ»

## «КАЗЮЖГИПРОВОДСТРОЙПРОЕКТ»

Тараз қаласы  
Асқаров көшесі, 20 к  
тел./факс: 8(7262) 45-86-99  
E-mail: kgvsp@bk.ru

№ 170  
«05» 12 2024 ж./г.

город Тараз  
улица Асқарова, 20 к  
тел./факс: 8(7262) 45-86-99



Технический директор  
ТОО «Казюжгипроводстройпроект»  
Мамажанов А.  
2024 г.

## АКТ

внедрения результатов научно-исследовательских работ

Мы, нижеподписавшиеся, технический директор ТОО «Казюжгипроводстройпроект» Мамажанов А. и главный инженер проекта Казиев М.А. составили настоящий акт о включении следующих результатов научных исследований докторанта Шаншабаева Н.А. в проектную деятельность ТОО «Казюжгипроводстройпроект»:

- Р-1-24 «Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из пирамидально-призматических свай»;
- формул по расчетному определению несущей способности пирамидально-призматических свай при действии статических (вертикально вдавливающих, горизонтальных и выдергивающих) нагрузок;
- программы расчета несущей способности пирамидально-призматических свай при действии вертикально вдавливающей статической нагрузки.

Р-1-24 «Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из пирамидально-призматических свай» использованы при вариантном проектировании свайного фундамента из пирамидально-призматических свай длиной ствола 6 м (с пирамидальным участком длиной от 2 до 5 м с размерами сечения попереху 40×40 см) под водозаборные сооружения на реке Талас в Байзакском районе Жамбылской области.

Водозаборные сооружения на реке Талас предназначены для обеспечения поливной водой сельскохозяйственных угодий площадью 2150 га. Данные сооружения включают:

- Водозаборный узел, состоящий из водозаборного канала, регулирующих шлюзов и пескоуловительных конструкций для предотвращения заилиения головного водозаборного узла;
- Распределительные сети, обеспечивающие равномерное распределение воды по участкам, с применением магистральных и распределительных каналов;
- Гидротехнические устройства, такие как насосные станции, водомерные узлы и регулирующие сооружения, для контроля объема и давления воды;
- Защитные сооружения, предотвращающие затопление прилегающих территорий и обеспечивающие устойчивость системы в периоды паводков.

Применение пирамидально-призматических свай при вариантном проектировании свайного фундамента показало их эффективность в грунтах естественного напластования (суглинки легкой, песчаный полутвердой консистенции без видимых включений, с глубины 4,0 м твердый, с 12,0 м плотного сложения). Несущая способность пирамидально-призматических свай определена расчетами по разработанным формулам на основе программы для определения несущей способности пирамидально-призматических свай. Апробация разработанных формул показала их достаточную достоверность.

Технический директор  
ТОО «Казюжгипроводстройпроект»

Мамажанов А.

Главный инженер  
ТОО «Казюжгипроводстройпроект»

Казиев М. А.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## Рабочие чертежи пирамидально-призматических свай с напрягаемой и не напрягаемой арматурой и рекомендации по проектированию и устройству ППС

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғарғы білім министрлігі  
Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан

"М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті" КЕ АҚ  
НАО "Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати"

**ЖҰМЫС СЫЗБАЛАРЫ**  
Альбом 1

Эксперименттік құрылыс құрылымдары, бұйымдары мен бөлшектері  
**ҚАҒЫЛМАЛЫ ТЕМІРБЕТОНДЫ**  
**ПИРАМИДАЛДЫ-ПРИЗМАЛЫҚ ҚАДАЛАР**  
Алдын ала көрнеуленбеген арматурасы бар біртұтас қадалар

Экспериментальные строительные конструкции, изделия и узлы  
**СВАИ ПИРАМИДАЛЬНО-ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ**  
**ЗАБИВНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ**  
Сваи цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой

**РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ**  
Альбом 1

Тараз 2024

Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан  
НАО "Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати"

**УТВЕРЖАЮ**  
Иван Провалов - Проректор по науке  
и инновациям Таразского регионального  
университета им. М.Х. Дулати,  
канд. социал. профессор  
С.А. Орынбаев  
2024 г.

Экспериментальные строительные конструкции, изделия и узлы

**Сваи пирамидально-призматические**  
**забивные железобетонные**

Сваи цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой

**РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ**  
Альбом 1

Разработаны НИЛ инженерного профиля "Инженерные методы исследований им. А.С. Ахметова"

Зав. лаб. *С.А. Орынбаев* И.И. Бекбарсов  
Инженер *А.И. Шаншабаев* Н.А. Шаншабаев  
Инженер *Е.И. Атепов* Е.И. Атепов

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
к рабочим чертежам (Альбом 1) "Сваи пирамидально-призматические  
забивные железобетонные цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой"

№ п/п	Должность согласующего лица	Фамилия, инициалы согласующего лица	Отметка согласования	Дата согласования
1	Директор ЮКФ АО "КазНПС" к.т.н.	Байтемиров М.Н.	<i>Согласовано</i>	18.01.24
2	Директор ТОО "Тараз Арнак" к.т.н.	Мамбаса И.А.	<i>Согласовано</i>	20.01.24
3	Директор ТОО "Экспертная самостоятельная строительная"	Оспанов Н.А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
4	Заместитель заведующей лабораторией ТОО ТИМАРАТ-ТЕМІРБЕТОН	Пакияз В.Н.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
5	Директор ТОО "Бинам"	Бакиев М.Н.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
6	Директор ТОО "Мекен-Жай Тараз"	Абдиев Б.Б.	<i>Согласовано</i>	20.01.24
7	Директор ТОО "Ete Project Company BS"	Бекбаев Т.Б.	<i>Согласовано</i>	20.01.24
8	Директор ТОО "Тобас-жоба"	Ахметов Г.А.	<i>Согласовано</i>	22.01.24
9	Директор ТОО "Эрфран"	Попоналупо П.Г.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
10	Директор ТОО "Тараз-Телеграф"	Салкыбеков Н.Б.	<i>Согласовано</i>	20.01.24
11	Директор ТОО "АлиптирПроект"	Турмубаева Б.О.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
12	Директор ТОО "Термеком"	Канкыбаева А.М.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
13	Директор ТОО "Вектелбай"	Жалмабай А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
14	Директор ТОО "Архитектурное Проектировное Бюро-1"	Кадымбаева Г.О.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
15	Директор ТОО "Изыскание АТД"	Мектепов Д.А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24

**Содержание**

Лист	Наименование	Примеч.
1	Содержание	
2	Пояснительная записка	
3	Пояснительная записка	
4	Свая С30.30-А400-ПТ-1...С30.30-А400-ПТ-2	
5	Свая С40.30-А400-ПТ-1...С40.30-А400-ПТ-3	
6	Свая С30.30-А400-ПТ-1...С30.30-А400-ПТ-4	
7	Спецификация основных параметров свай, Свая С30.30-А400-ПТ-1...С30.30-А400-ПТ-4	
8	Свая С40.30-А400-ПТ-1...С40.30-А400-ПТ-3	
9	Спецификация основных параметров свай	
10	Схема армирования С30.30-А400-ПТ-1...С30.30-А400-ПТ-2 Каркас К170.30-А400-ПТ-1...К170.30-А400-ПТ-3	
11	Спецификация к элементам каркаса	
12	Схема армирования С40.30-А400-ПТ-1...С40.30-А400-ПТ-3 Каркас К170.30-А400-ПТ-1...К170.30-А400-ПТ-3	
13	Спецификация к элементам каркаса	
14	Схема армирования С30.30-А400-ПТ-1...С30.30-А400-ПТ-4 Каркас К170.30-А400-ПТ-1...К170.30-А400-ПТ-4	
15	Спецификация к элементам каркаса (яканна)	
16	Спецификация к элементам каркаса (яканна)	
17	Схема армирования С40.30-А400-ПТ-1...С40.30-А400-ПТ-3	
18	Схема армирования С40.30-А400-ПТ-4...С40.30-А400-ПТ-5	
19	Каркас К170.30-А400-ПТ-1...К170.30-А400-ПТ-5	
20	Спецификация к элементам каркаса (яканна)	
21	Спецификация к элементам каркаса (яканна)	
22	Узлы Н.С. сеч. 1-1, 2-2	
23	Сетка С-1, Пеша П-1	
24	Видимость распада стали (яканна)	
25	Видимость распада стали (яканна)	
26	Пояснительная записка (яканна)	
27	Пояснительная записка (яканна)	
28	Схема инвентарной опалубки для С30.30-А400-ПТ-1	
29	Схема инвентарной опалубки для С30.30-А400-ПТ-2	
30	Спецификация к элементам опалубки	
31	Схема инвентарной опалубки для С30.30-А400-ПТ-3	
32	Схема инвентарной опалубки для С30.30-А400-ПТ-4	
33	Спецификация к элементам опалубки	

Рабочие чертежи				Лист	Масштаб	Масштаб	
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные	Лист 1	Листов 33
Н. контр.		Жакупова М.А.		15.01			
Инж. АНҚ		Кобулуша А.		15.01			
Зав. лаб.		Бекбарсов И.		15.01			
Инженер		Шаншабаев Н.		15.01			
Инженер		Атепов Е.		15.01	Содержание	Тарау	ИМ. М.Х. ДУЛАТИ

**1. Общая часть**

Настоящий документ содержит рабочие чертежи железобетонных зобных пирамидально-призматических свай предназначенных для устройства свайных фундаментов малоэтажных (1-3 этажей) промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий и сооружений, а также под опоры гидротехнических сооружений (акведуки, трубопроводы, сепараторы, под здания водопроводных насосных станций и др.) и мелиоративных систем (лотки, водоводы и др.).

Пирамидально-призматические сваи обладают комбинированной формой, содержащей в себе как пирамидальную (верхнюю), так и призматическую (нижнюю) части.

Пирамидально-призматические сваи, представленные в данном документе, выполняются с неармированной арматурой с поперечным армированием.

**2. Область применения и основные конструктивные решения**

2.1 Пирамидально-призматические сваи предназначены для применения во всех климатических зонах, выделенных на территории Республики Казахстан.

2.2 Пирамидально-призматические сваи рекомендуются использовать для свайных фундаментов, устраиваемых в грунтах следующих видов и составов:

- песках средней крупности и мелком (средней плотности и рыхлом);
- песках пылеватых (плотных, средней плотности и рыхлом);
- глинистых грунтах при показателе текучести 0,3 и более;
- при разном слоестом напластовании указанных выше видов грунтов.

При необходимости и в иных грунтовых условиях применимость пирамидально-призматических свай устанавливается путем их пробной забойки.

Открытие нижней части пирамидально-призматических свай допускается на все виды грунтов, за исключением скальных грунтов, нейтральных насыщенных, а также слабых грунтов типа илов, глинистых текучей и текучекаменной консистенции и других видов силиконосвязанных грунтов.

2.3 Пирамидально-призматические сваи могут применяться в виде:

- одиночных свай;
- лент под стены зданий и сооружений с расположением свай в один или два ряда;
- нулевой колонны, стойки и опоры.

2.4 Пирамидально-призматические сваи с неармированной арматурой с поперечным армированием воспринимают вертикальные выходящие и выходящие нагрузки, а также горизонтальные нагрузки и изгибающие моменты.

2.5 При выборе пирамидально-призматических свай для применения в составе свайных фундаментов зданий и сооружений следует учитывать расчетную нагрузку, передаваемую на одну сваю, которая должна быть не более значения расчетной несущей способности сваи. В соответствии с положениями СП РК EN 1997-1:2004/2011 для обеспечения расчетных нагрузок (воздействий) с достаточным запасом надежности применение пирамидально-призматических свай должно осуществляться с соблюдением требований для всех приемных предельных состояний, комбинаций нагрузок и расчетных ситуаций.

2.6 Пирамидально-призматические сваи принимаются следующих размеров:

- размеры поперечного сечения призматической части сваи составляют 200-200 мм;
- размеры поперечного сечения верхней части пирамидального участка приняты равным 300-300 мм, 400-400 мм и 500-500 мм;
- длина пирамидального участка 1-5 м (шаг 1,0 м);
- острей имеет пирамидальную форму высотой 150 мм;
- длина свай составляет 3, 4, 5 и 6 м.

2.7 Допускается изготовление свай с стеновыми отверстиями на противоположных сторонах поперечного сечения, не превышающим 1:15 без изменения площади поперечного сечения.

2.8 Пирамидально-призматические сваи армируются как сварными, так и вязальными арматурными каркасами. При этом продольное армирование, контурное армирование (верхней пирамидальной части) выполняются из стержней периодического профиля.

2.9 Голова свай усиливается сетками. Сетки объединяются в пространственный каркас приваркой либо привязкой дополнительных стержней.

2.10 Подъемные петли должны быть заделаны за продольную арматуру сваи.

Рабочие чертежи					Лит.	Масса	Масштаб
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи пирамидально-призматические зобные железобетонные	Лист 2	Листов 33
Н. контр.	Дир. ДНХ	Зав. об.	Инженер	Инженер			
Жанушыев И.	Кобушев А.	Бекбосаров И.	Шаншабаев Н.	Атенов Е.	Пояснительная записка	ТарПУ	ИМ. М.Х. ДУАЛТИ
15.04	15.04	15.04	15.04	15.04			

С30.30-А400-ПП-1  
С30.40-А400-ПП-1  
С30.50-А400-ПП-1

С30.30-А400-ПП-2  
С30.40-А400-ПП-2  
С30.50-А400-ПП-2

**Спецификация основных параметров свай**

Марка сваи	Размеры, мм								Масса, т
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b	b <sub>1</sub>	
С30.30-А400-ПП-1	3000	1000	2000	500	500	150	300	200	0,3633
С30.40-А400-ПП-1	3000	1000	2000	500	500	150	400	200	0,4383
С30.50-А400-ПП-1	3000	1000	2000	500	500	150	500	200	0,5300
С30.30-А400-ПП-2	3000	2000	1000	500	500	150	300	200	0,4217
С30.40-А400-ПП-2	3000	2000	1000	500	500	150	400	200	0,5717
С30.50-А400-ПП-2	3000	2000	1000	500	500	150	500	200	0,7550

Рабочие чертежи					Лит.	Масса	Масштаб
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи пирамидально-призматические зобные железобетонные	Лист 4	Листов 33
Н. контр.	Дир. ДНХ	Зав. об.	Инженер	Инженер			
Жанушыев И.	Кобушев А.	Бекбосаров И.	Шаншабаев Н.	Атенов Е.	Сваи С30.30-А400-ПП-1...С30.50-А400-ПП-2	ТарПУ	ИМ. М.Х. ДУАЛТИ
15.04	15.04	15.04	15.04	15.04			

2.11 Сетки, петли и стальные проволочки должны быть привязаны к основному каркасу сваи вязальной проволокой. Количество мест и прочность привязки должны обеспечить геометрическую неизменяемость армирующей конструкции и сохранность ее пространственного положения до окончания формирования бетонной смеси.

2.12 Указанные сваи рекомендуются применять для фундаментов жилых зданий и сооружений, за исключением местоположений и портов гидротехнических сооружений, когда они проходят по номенклатуре и параметрам свай, предусмотренных рабочими чертежами, удовлетворяют результатам расчета и грунтовыми условиями строительной площадки. Такие сваи не допускается применять в грунневых группах, если силы влияния превышают величину вертикальной выходящей нагрузки на сваю, и при наличии сил выходящих, сейсмических, а также при необходимости погружения их в грунт с помощью вибратора.

**3. Маркировка свай**

3.1 Пирамидально-призматические сваи маркируются в соответствии с требованиями ГОСТ 19804-2012. Маркировка свай имеет следующий вид (пример):

С 30.20-А400-ПП-1

длина пирамидальной части, м  
пирамидально-призматическая свая  
тип армирования  
длина свай, диаметр сечения по вершине пирамидальной части, см  
свая сплошного сечения

3.2 Обозначение армирования свай принято в соответствии с ГОСТ 34028-2016.

Обозначение армирования	Диаметр и класс продольной арматуры
А400	10-А400

**4. Технические требования**

4.1 При изготовлении пирамидально-призматических свай должны соблюдаться основные технические требования, допускаемые отклонения от проектных размеров, методы испытаний, правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения, изложенные в ГОСТ 19804-2012.

4.2 Пирамидально-призматические сваи должны изготавливаться из тяжелого бетона класса прочности на сжатие не ниже В15. При отпирании свай на крупнообломочные грунты класс бетона по прочности на сжатие для свай должен приниматься не ниже В20 независимо от длины свай.

4.3 В качестве крупного заполнителя для бетона должен применяться фракционированный щебень из естественного камня по ГОСТ 26633-2012, при этом размер фракций должен быть не более 40 мм.

4.4 В качестве продольной арматуры для каркасов свай предусмотрена стержневая горячекатаная арматурная сталь периодического профиля класса А400 по ГОСТ 34028-2016.

4.5 Поперечное армирование свай предусмотрено в виде стержней из проволоки диаметром 5 мм класса Вр-1 по ГОСТ 6727-80. Крайние витки должны быть замкнутыми. Для петель следует применять стержневую горячекатаную арматуру класса А240 по ГОСТ 34028-2016, а для сетки - стержневую горячекатаную арматуру класса Вр-1 по ГОСТ 23279-2012.

4.6 Поперечная арматура должна быть приварена контактной точечной сваркой либо привязана к продольной арматуре не реже, чем через один шаг стержней.

4.7 Отпускная прочность бетона свай в момент отгрузки с предприятия-изготовителя должна быть не ниже 100% проектной прочности на сжатие.

Рабочие чертежи					Лит.	Масса	Масштаб
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи пирамидально-призматические зобные железобетонные	Лист 3	Листов 33
Н. контр.	Дир. ДНХ	Зав. об.	Инженер	Инженер			
Жанушыев И.	Кобушев А.	Бекбосаров И.	Шаншабаев Н.	Атенов Е.	Пояснительная записка	ТарПУ	ИМ. М.Х. ДУАЛТИ
15.04	15.04	15.04	15.04	15.04			

С40.30-А400-ПП-1  
С40.40-А400-ПП-1  
С40.50-А400-ПП-1

С40.30-А400-ПП-2  
С40.40-А400-ПП-2  
С40.50-А400-ПП-2

С40.30-А400-ПП-3  
С40.40-А400-ПП-3  
С40.50-А400-ПП-3

**Спецификация основных параметров свай**

Марка сваи	Размеры, мм								Масса, т
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b	b <sub>1</sub>	
С40.30-А400-ПП-1	4000	1000	3000	1000	1000	150	300	200	0,4633
С40.40-А400-ПП-1	4000	1000	3000	1000	1000	150	400	200	0,5383
С40.50-А400-ПП-1	4000	1000	3000	1000	1000	150	500	200	0,6300
С40.30-А400-ПП-2	4000	2000	2000	1000	1000	150	300	200	0,5217
С40.40-А400-ПП-2	4000	2000	2000	1000	1000	150	400	200	0,6717
С40.50-А400-ПП-2	4000	2000	2000	1000	1000	150	500	200	0,8550
С40.30-А400-ПП-3	4000	3000	1000	1000	1000	150	300	200	0,5800
С40.40-А400-ПП-3	4000	3000	1000	1000	1000	150	400	200	0,8050
С40.50-А400-ПП-3	4000	3000	1000	1000	1000	150	500	200	1,0800

Рабочие чертежи					Лит.	Масса	Масштаб
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи пирамидально-призматические зобные железобетонные	Лист 5	Листов 33
Н. контр.	Дир. ДНХ	Зав. об.	Инженер	Инженер			
Жанушыев И.	Кобушев А.	Бекбосаров И.	Шаншабаев Н.	Атенов Е.	Сваи С40.30-А400-ПП-1...С40.50-А400-ПП-3	ТарПУ	ИМ. М.Х. ДУАЛТИ
15.04	15.04	15.04	15.04	15.04			

C50.30-A400-ПП-1		C50.30-A400-ПП-2		C50.30-A400-ПП-3		C50.30-A400-ПП-4	
C50.40-A400-ПП-1	C50.40-A400-ПП-1	C50.40-A400-ПП-2	C50.40-A400-ПП-2	C50.40-A400-ПП-3	C50.40-A400-ПП-3	C50.40-A400-ПП-4	C50.40-A400-ПП-4
C50.50-A400-ПП-1	C50.50-A400-ПП-1	C50.50-A400-ПП-2	C50.50-A400-ПП-2	C50.50-A400-ПП-3	C50.50-A400-ПП-3	C50.50-A400-ПП-4	C50.50-A400-ПП-4

Вид А      Вид Б      I-I

Применение:  
Спецификация основных параметров свай см. л. 7

				Рабочие чертежи				
Изм.	Лист	№ докум.	Полд.	Дата	Свай пирамидально-призматические забивные железобетонные	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Дир. ДИК	Зав. лаб.	Инженер			Лист 6	Листов 33	
Жангуаншешев М.	Кобдушев А.	Бекбасаров И.	Шаншибаев Н.	Атенов Е.	ТарПУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			

Спецификация основных параметров свай

Марка свай	Размеры, мм								Масса, т
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b	b <sub>1</sub>	
C50.30-A400-ПП-1	5000	1000	4000	1000	1000	150	300	200	0,5633
C50.40-A400-ПП-1	5000	1000	4000	1000	1000	150	400	200	0,6383
C50.50-A400-ПП-1	5000	1000	4000	1000	1000	150	500	200	0,7300
C50.30-A400-ПП-2	5000	2000	3000	1000	1000	150	300	200	0,6217
C50.40-A400-ПП-2	5000	2000	3000	1000	1000	150	400	200	0,7717
C50.50-A400-ПП-2	5000	2000	3000	1000	1000	150	500	200	0,9550
C50.30-A400-ПП-3	5000	3000	2000	1000	1000	150	300	200	0,6800
C50.40-A400-ПП-3	5000	3000	2000	1000	1000	150	400	200	0,9050
C50.50-A400-ПП-3	5000	3000	2000	1000	1000	150	500	200	1,1800
C50.30-A400-ПП-4	5000	4000	1000	1000	1000	150	300	200	0,7383
C50.40-A400-ПП-4	5000	4000	1000	1000	1000	150	400	200	1,0383
C50.50-A400-ПП-4	5000	4000	1000	1000	1000	150	500	200	1,4050

				Рабочие чертежи				
Изм.	Лист	№ докум.	Полд.	Дата	Свай пирамидально-призматические забивные железобетонные	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Дир. ДИК	Зав. лаб.	Инженер			Лист 7	Листов 33	
Жангуаншешев М.	Кобдушев А.	Бекбасаров И.	Шаншибаев Н.	Атенов Е.	ТарПУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			

C60.30-A400-ПП-1		C60.30-A400-ПП-2		C60.30-A400-ПП-3		C60.30-A400-ПП-4		C60.30-A400-ПП-5	
C60.40-A400-ПП-1	C60.40-A400-ПП-1	C60.40-A400-ПП-2	C60.40-A400-ПП-2	C60.40-A400-ПП-3	C60.40-A400-ПП-3	C60.40-A400-ПП-4	C60.40-A400-ПП-4	C60.40-A400-ПП-5	C60.40-A400-ПП-5
C60.50-A400-ПП-1	C60.50-A400-ПП-1	C60.50-A400-ПП-2	C60.50-A400-ПП-2	C60.50-A400-ПП-3	C60.50-A400-ПП-3	C60.50-A400-ПП-4	C60.50-A400-ПП-4	C60.50-A400-ПП-5	C60.50-A400-ПП-5

Вид А      Вид Б      I-I

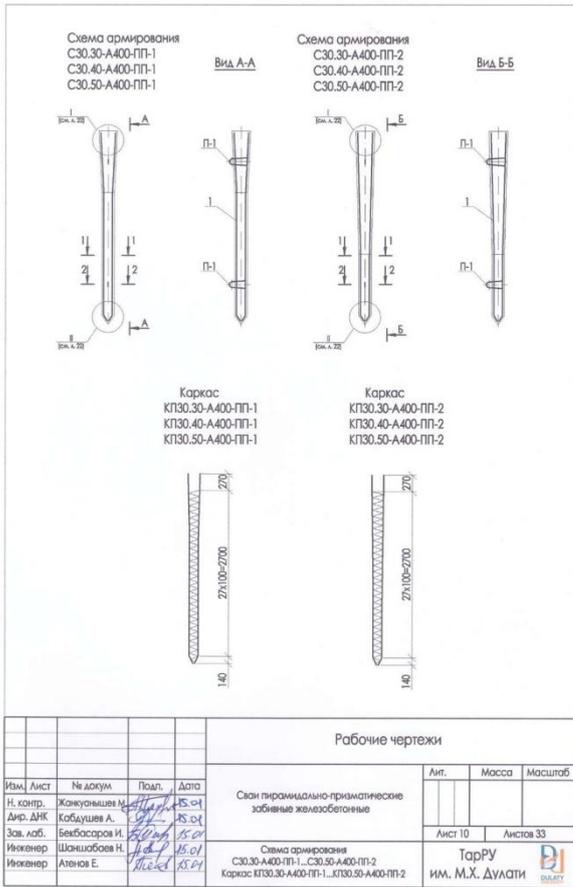
Применение:  
Спецификация основных параметров свай см. л. 9

				Рабочие чертежи				
Изм.	Лист	№ докум.	Полд.	Дата	Свай пирамидально-призматические забивные железобетонные	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Дир. ДИК	Зав. лаб.	Инженер			Лист 8	Листов 33	
Жангуаншешев М.	Кобдушев А.	Бекбасаров И.	Шаншибаев Н.	Атенов Е.	ТарПУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			

Спецификация основных параметров свай

Марка свай	Размеры, мм								Масса, т
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	b	b <sub>1</sub>	
C60.30-A400-ПП-1	6000	1000	5000	1000	1000	150	300	200	0,6633
C60.40-A400-ПП-1	6000	1000	5000	1000	1000	150	400	200	0,7383
C60.50-A400-ПП-1	6000	1000	5000	1000	1000	150	500	200	0,8300
C60.30-A400-ПП-2	6000	2000	4000	1000	1000	150	300	200	0,7217
C60.40-A400-ПП-2	6000	2000	4000	1000	1000	150	400	200	0,8717
C60.50-A400-ПП-2	6000	2000	4000	1000	1000	150	500	200	1,0550
C60.30-A400-ПП-3	6000	3000	3000	1000	1000	150	300	200	0,7800
C60.40-A400-ПП-3	6000	3000	3000	1000	1000	150	400	200	1,0050
C60.50-A400-ПП-3	6000	3000	3000	1000	1000	150	500	200	1,2800
C60.30-A400-ПП-4	6000	4000	2000	1000	1000	150	300	200	0,8382
C60.40-A400-ПП-4	6000	4000	2000	1000	1000	150	400	200	1,1383
C60.50-A400-ПП-4	6000	4000	2000	1000	1000	150	500	200	1,5050
C60.30-A400-ПП-5	6000	5000	1000	1000	1000	150	300	200	0,8967
C60.40-A400-ПП-5	6000	5000	1000	1000	1000	150	400	200	1,2717
C60.50-A400-ПП-5	6000	5000	1000	1000	1000	150	500	200	1,7300

				Рабочие чертежи				
Изм.	Лист	№ докум.	Полд.	Дата	Свай пирамидально-призматические забивные железобетонные	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Дир. ДИК	Зав. лаб.	Инженер			Лист 9	Листов 33	
Жангуаншешев М.	Кобдушев А.	Бекбасаров И.	Шаншибаев Н.	Атенов Е.	ТарПУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			



Спецификация к элементам каркаса

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
КП30.30-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=3000	4	1,851	7,404
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=34000	1	5,236	5,236
КП30.40-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=3000	4	1,851	7,404
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=34500	1	5,313	5,313
КП30.50-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=3000	4	1,851	7,404
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=35000	1	5,39	5,39
КП30.30-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=3050	4	1,88	7,53
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=35700	1	5,50	5,50
КП30.40-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=3050	4	1,88	7,53
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=36250	1	5,62	5,62
КП30.50-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=3050	4	1,88	7,53
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=36800	1	5,67	5,67

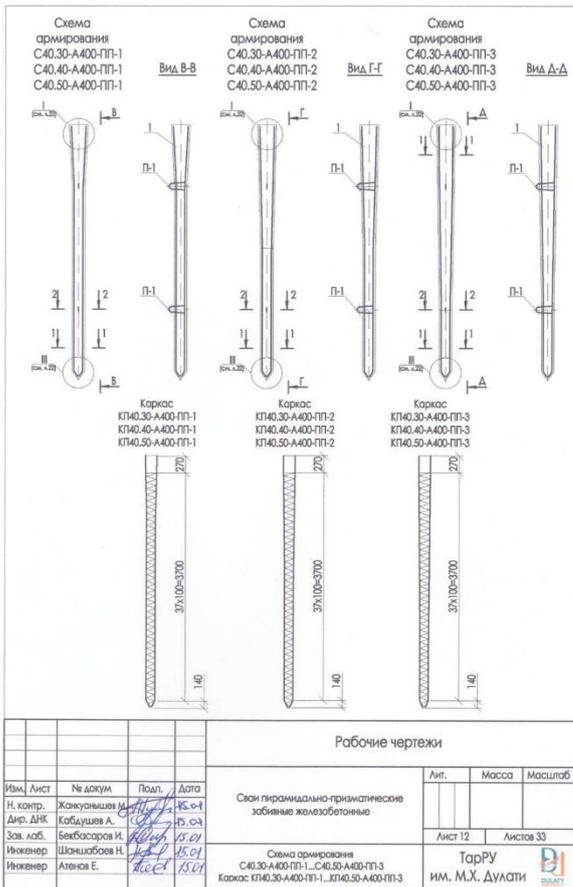
Рабочие чертежи

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Жанкунышев М.	Жанкунышев М.	15.01	15.01			
Дир. ДНК	Кобдушев А.	Кобдушев А.	15.01	15.01			
Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Бекбасаров И.	15.01	15.01			
Инженер	Шанцбаев Н.	Шанцбаев Н.	15.01	15.01			
Инженер	Атенов Е.	Атенов Е.	15.01	15.01			

Сваи пирамидально-призматические  
зобчатые железобетонные

Спецификация к элементам каркаса

ТарРУ  
ИМ. М.Х. ДУАТИ



Спецификация к элементам каркаса

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
КП40.30-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4000	4	2,47	9,87
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=48300	1	7,44	7,44
КП40.40-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4000	4	2,47	9,87
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=48900	1	7,53	7,53
КП40.50-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4000	4	2,47	9,87
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=49500	1	7,62	7,62
КП40.30-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4050	4	2,50	10,0
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=48800	1	7,515	7,515
КП40.40-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4050	4	2,50	10,0
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=49400	1	7,61	7,61
КП40.50-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4050	4	2,50	10,0
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=50000	1	7,7	7,7
КП40.30-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4100	4	2,53	10,12
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=49300	1	7,59	7,59
КП40.40-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4100	4	2,53	10,12
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=49900	1	7,68	7,68
КП40.50-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=4100	4	2,53	10,12
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=50500	1	7,77	7,77

Рабочие чертежи

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Жанкунышев М.	Жанкунышев М.	15.01	15.01			
Дир. ДНК	Кобдушев А.	Кобдушев А.	15.01	15.01			
Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Бекбасаров И.	15.01	15.01			
Инженер	Шанцбаев Н.	Шанцбаев Н.	15.01	15.01			
Инженер	Атенов Е.	Атенов Е.	15.01	15.01			

Сваи пирамидально-призматические  
зобчатые железобетонные

Спецификация к элементам каркаса

ТарРУ  
ИМ. М.Х. ДУАТИ

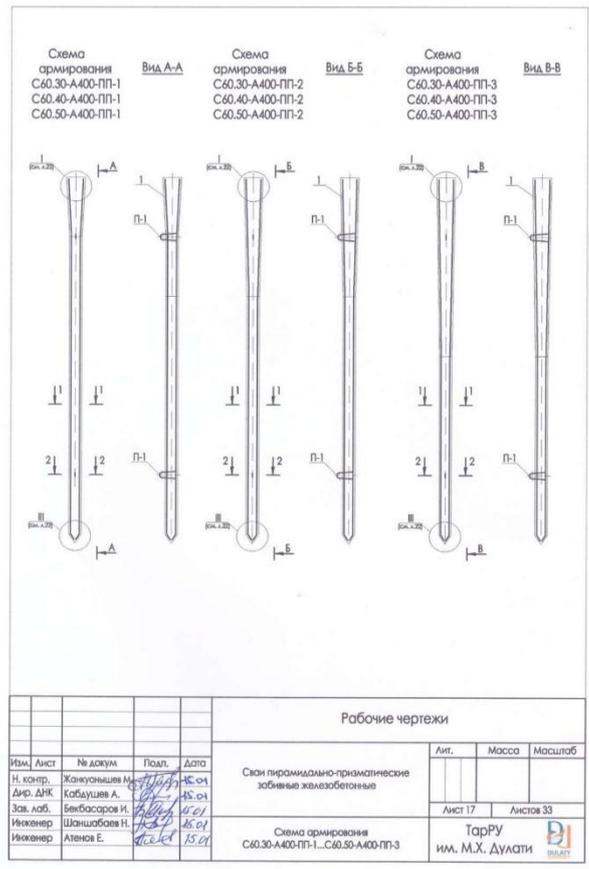
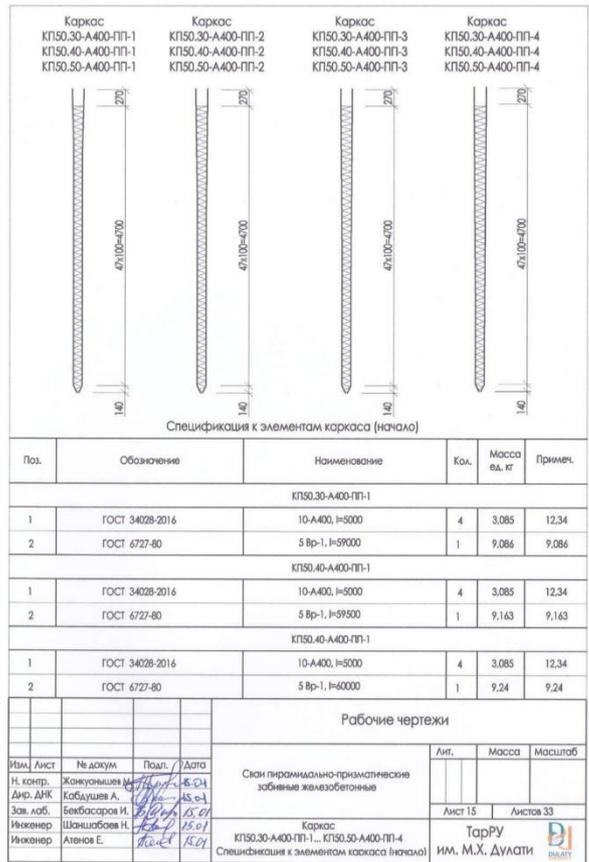
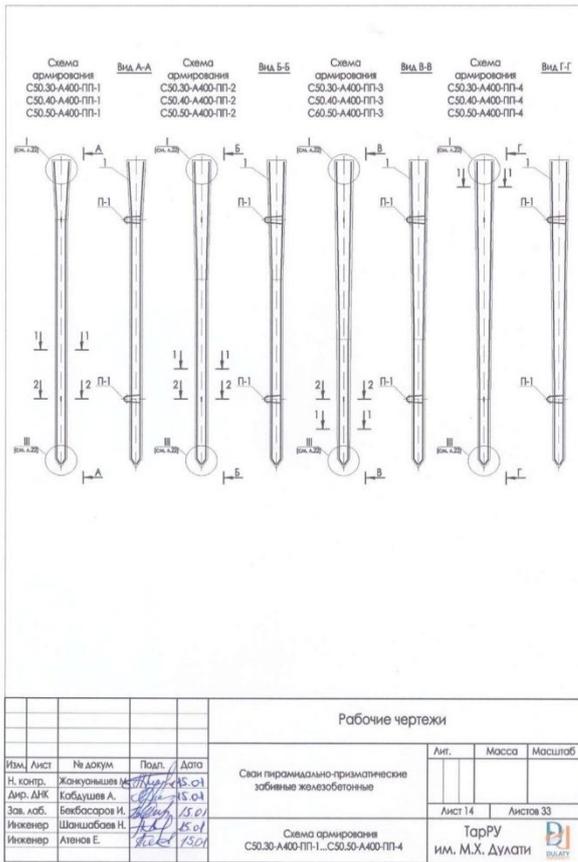


Схема армирования С60.30-А400-ПП-4 Вид Г-Г

Схема армирования С60.30-А400-ПП-5 Вид А-А

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	И. контр.	Жануяшья М.	Жануяшья М.	15.01			
Инж. ДНК	Инж. ДНК	Кобушья А.	Кобушья А.	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Бекбасаров И.	15.01			
Инженер	Инженер	Шаңцалбаев Н.	Шаңцалбаев Н.	15.01			
Инженер	Инженер	Атегов Е.	Атегов Е.	15.01			

Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные

Схема армирования С60.30-А400-ПП-4...С60.50-А400-ПП-5

ТарРУ им. М.Х. Дулати

Каркас КЛ60.30-А400-ПП-1

Каркас КЛ60.30-А400-ПП-2

Каркас КЛ60.40-А400-ПП-3

Каркас КЛ60.40-А400-ПП-4

Каркас КЛ60.50-А400-ПП-5

Спецификация к элементам каркаса (начало)

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
КЛ60.30-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6000	4	3,70	14,81
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=6900	1	10,75	10,75
КЛ60.40-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6000	4	3,70	14,81
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=70300	1	10,83	10,83

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	И. контр.	Жануяшья М.	Жануяшья М.	15.01			
Инж. ДНК	Инж. ДНК	Кобушья А.	Кобушья А.	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Бекбасаров И.	15.01			
Инженер	Инженер	Шаңцалбаев Н.	Шаңцалбаев Н.	15.01			
Инженер	Инженер	Атегов Е.	Атегов Е.	15.01			

Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные

Каркас КЛ60.30-А400-ПП-1...КЛ60.50-А400-ПП-5

ТарРУ им. М.Х. Дулати

Спецификация к элементам каркаса (продолжение)

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
КЛ60.50-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6000	4	3,70	14,81
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=70800	1	10,90	10,90
КЛ60.30-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6050	4	3,73	14,92
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=70300	1	10,83	10,83
КЛ60.40-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6050	4	3,73	14,92
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=70800	1	10,90	10,90
КЛ60.50-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6050	4	3,73	14,92
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=71300	1	10,98	10,98
КЛ60.30-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6100	4	3,76	15,04
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=70800	1	10,90	10,90
КЛ60.40-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6100	4	3,76	15,04
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=71300	1	10,98	10,98
КЛ60.50-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6100	4	3,76	15,04
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=71800	1	11,05	11,05
КЛ60.30-А400-ПП-4					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6150	4	3,79	15,16
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=71300	1	10,98	10,98

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	И. контр.	Жануяшья М.	Жануяшья М.	15.01			
Инж. ДНК	Инж. ДНК	Кобушья А.	Кобушья А.	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Бекбасаров И.	15.01			
Инженер	Инженер	Шаңцалбаев Н.	Шаңцалбаев Н.	15.01			
Инженер	Инженер	Атегов Е.	Атегов Е.	15.01			

Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные

Спецификация к элементам каркаса (продолжение)

ТарРУ им. М.Х. Дулати

Спецификация к элементам каркаса (окончание)

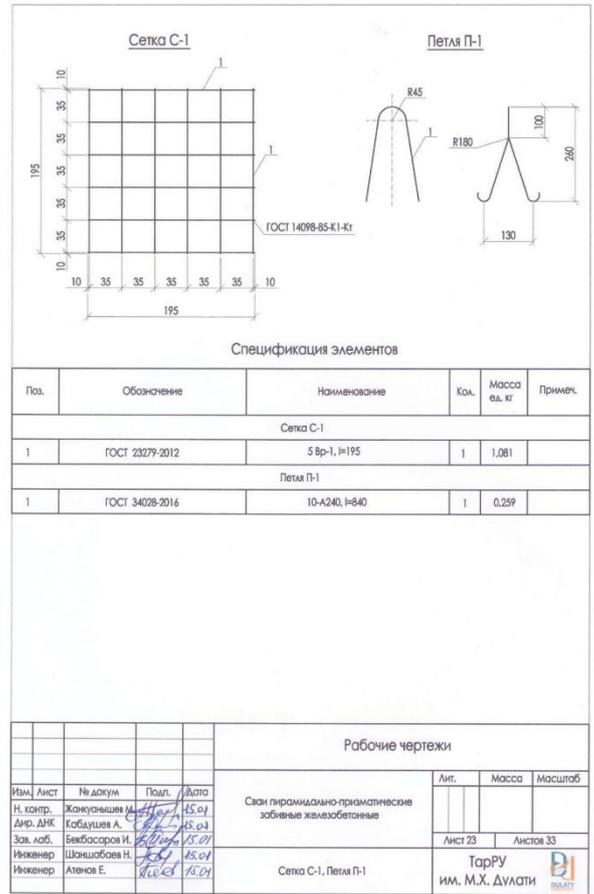
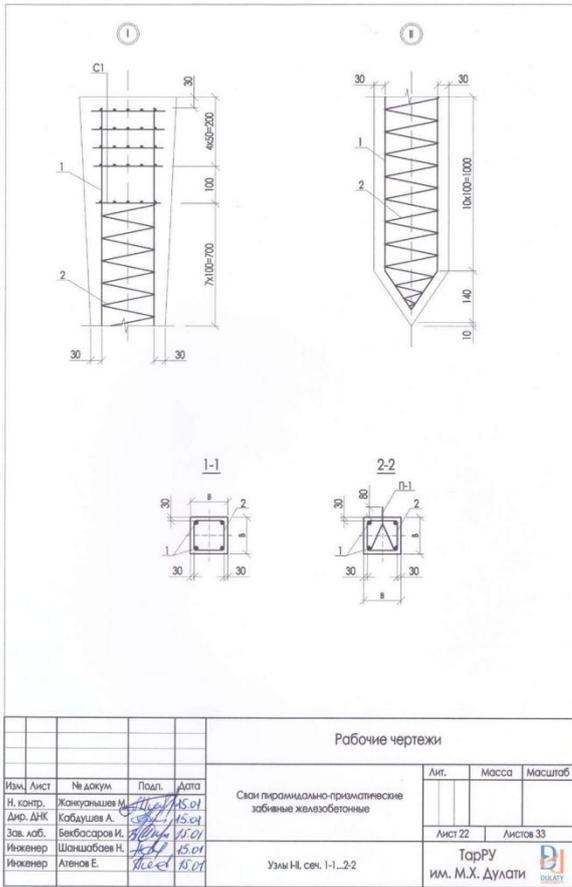
Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
КЛ60.40-А400-ПП-4					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6150	4	3,79	15,16
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=71800	1	11,05	11,05
КЛ60.50-А400-ПП-4					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6150	4	3,79	15,16
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=72300	1	11,13	11,13
КЛ60.30-А400-ПП-5					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6200	4	3,82	15,28
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=71800	1	11,05	11,05
КЛ60.40-А400-ПП-5					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6200	4	3,82	15,28
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=72300	1	11,13	11,13
КЛ60.50-А400-ПП-5					
1	ГОСТ 34028-2016	10-А400, l=6200	4	3,82	15,28
2	ГОСТ 6727-80	5 Вр-1, l=72800	1	11,21	11,21

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	И. контр.	Жануяшья М.	Жануяшья М.	15.01			
Инж. ДНК	Инж. ДНК	Кобушья А.	Кобушья А.	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Бекбасаров И.	15.01			
Инженер	Инженер	Шаңцалбаев Н.	Шаңцалбаев Н.	15.01			
Инженер	Инженер	Атегов Е.	Атегов Е.	15.01			

Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные

Спецификация к элементам каркаса (окончание)

ТарРУ им. М.Х. Дулати



**Ведомость расхода стали (начало)**

Марка элемента	Имяна арматурные								Всего
	Арматура класса								
	5 Вр-1		10-A240		10-A400				
	ГОСТ 23279-2012		ГОСТ 6727-80		ГОСТ 34028-2016		ГОСТ 34028-2016		
кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого		
С30.30-A400-ПП-1	5.41	5.41	5.236	5.236	0.518	0.518	7.40	7.40	18.56
С30.40-A400-ПП-1	5.41	5.41	5.313	5.313	0.518	0.518	7.40	7.40	18.64
С30.50-A400-ПП-1	5.41	5.41	5.390	5.390	0.518	0.518	7.40	7.40	18.72
С30.30-A400-ПП-2	5.41	5.41	5.50	5.50	0.518	0.518	7.40	7.40	18.83
С30.40-A400-ПП-2	5.41	5.41	5.62	5.62	0.518	0.518	7.40	7.40	18.95
С30.50-A400-ПП-2	5.41	5.41	5.62	5.67	0.518	0.518	7.40	7.40	19.0
С40.30-A400-ПП-1	5.41	5.41	7.44	7.44	0.518	0.518	9.87	9.87	23.24
С40.40-A400-ПП-1	5.41	5.41	7.53	7.53	0.518	0.518	9.87	9.87	23.33
С40.50-A400-ПП-1	5.41	5.41	7.62	7.62	0.518	0.518	9.87	9.87	23.42
С40.30-A400-ПП-2	5.41	5.41	7.51	7.51	0.518	0.518	10.0	10.0	23.44
С40.40-A400-ПП-2	5.41	5.41	7.61	7.61	0.518	0.518	10.0	10.0	23.54
С40.50-A400-ПП-2	5.41	5.41	7.70	7.70	0.518	0.518	10.0	10.0	23.63
С40.30-A400-ПП-3	5.41	5.41	7.59	7.59	0.518	0.518	10.12	10.12	23.64
С40.40-A400-ПП-3	5.41	5.41	7.68	7.68	0.518	0.518	10.12	10.12	23.73
С40.50-A400-ПП-3	5.41	5.41	7.77	7.77	0.518	0.518	10.12	10.12	23.82
С50.30-A400-ПП-1	5.41	5.41	9.086	9.086	0.518	0.518	12.34	12.34	27.35
С50.40-A400-ПП-1	5.41	5.41	9.163	9.163	0.518	0.518	12.34	12.34	27.43
С50.50-A400-ПП-1	5.41	5.41	9.240	9.240	0.518	0.518	12.34	12.34	27.51
С50.30-A400-ПП-2	5.41	5.41	9.163	9.163	0.518	0.518	12.44	12.44	27.53
С50.40-A400-ПП-2	5.41	5.41	9.240	9.240	0.518	0.518	12.44	12.44	27.61
С50.50-A400-ПП-2	5.41	5.41	9.320	9.320	0.518	0.518	12.44	12.44	27.69

**Рабочие чертежи**

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Н. контр.	Дир. ДНК	Жануаньяшев И.	Кобдушев А.	15.01			
Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Шаншобаев Н.	Аленов Е.	15.01			
Инженер	Аленов Е.	15.01	15.01				
Свая пирамидально-призматическая зобинные железобетонные					Лист 24	Листов 33	
Ведомость расхода стали (начало)					ТарГУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		

**Ведомость расхода стали (окончание)**

Марка элемента	Имяна арматурные								Всего
	Арматура класса								
	5 Вр-1		10-A240		10-A400				
	ГОСТ 23279-2012		ГОСТ 6727-80		ГОСТ 34028-2016		ГОСТ 34028-2016		
кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого		
С50.30-A400-ПП-3	5.41	5.41	9.240	9.240	0.518	0.518	12.60	12.60	27.77
С50.40-A400-ПП-3	5.41	5.41	9.320	9.320	0.518	0.518	12.60	12.60	27.85
С50.50-A400-ПП-3	5.41	5.41	9.390	9.390	0.518	0.518	12.60	12.60	27.92
С50.30-A400-ПП-4	5.41	5.41	9.320	9.320	0.518	0.518	12.71	12.71	27.96
С50.40-A400-ПП-4	5.41	5.41	9.390	9.390	0.518	0.518	12.71	12.71	28.03
С50.50-A400-ПП-4	5.41	5.41	9.470	9.470	0.518	0.518	12.71	12.71	28.11
С60.30-A400-ПП-1	5.41	5.41	10.75	10.75	0.518	0.518	14.80	14.80	31.48
С60.40-A400-ПП-1	5.41	5.41	10.83	10.83	0.518	0.518	14.80	14.80	31.56
С60.50-A400-ПП-1	5.41	5.41	10.90	10.90	0.518	0.518	14.80	14.80	31.63
С60.30-A400-ПП-2	5.41	5.41	10.83	10.83	0.518	0.518	14.92	14.92	31.68
С60.40-A400-ПП-2	5.41	5.41	10.90	10.90	0.518	0.518	14.92	14.92	31.75
С60.50-A400-ПП-2	5.41	5.41	10.98	10.98	0.518	0.518	14.92	14.92	31.83
С60.30-A400-ПП-3	5.41	5.41	10.90	10.90	0.518	0.518	15.04	15.04	31.87
С60.40-A400-ПП-3	5.41	5.41	10.98	10.98	0.518	0.518	15.04	15.04	31.95
С60.50-A400-ПП-3	5.41	5.41	11.05	11.05	0.518	0.518	15.04	15.04	32.02
С60.30-A400-ПП-4	5.41	5.41	10.98	10.98	0.518	0.518	15.16	15.16	32.07
С60.40-A400-ПП-4	5.41	5.41	11.05	11.05	0.518	0.518	15.16	15.16	32.14
С60.50-A400-ПП-4	5.41	5.41	11.13	11.13	0.518	0.518	15.16	15.16	32.22
С60.30-A400-ПП-5	5.41	5.41	11.05	11.05	0.518	0.518	15.28	15.28	32.26
С60.40-A400-ПП-5	5.41	5.41	11.13	11.13	0.518	0.518	15.28	15.28	32.34
С60.50-A400-ПП-5	5.41	5.41	11.21	11.21	0.518	0.518	15.28	15.28	32.42

**Рабочие чертежи**

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Н. контр.	Дир. ДНК	Жануаньяшев И.	Кобдушев А.	15.01			
Зав. лаб.	Бекбасаров И.	Шаншобаев Н.	Аленов Е.	15.01			
Инженер	Аленов Е.	15.01	15.01				
Свая пирамидально-призматическая зобинные железобетонные					Лист 25	Листов 33	
Ведомость расхода стали (окончание)					ТарГУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		

Показатели на одну сваю (начало)

Марка сваи	Размеры, мм			Длина пирамидального участка, м	Объем бетона, м³	Удельный расход арматуры кг/м³	Масса сваи, т	Класс бетона по прочности на сжатие
	L	B	B <sub>2</sub>					
C30.30-A400-ПП-1	3000	300	200	1	0,145	128,0	0,3633	B15
C30.40-A400-ПП-1	3000	400	200	1	0,175	106,51	0,4383	B15
C30.50-A400-ПП-1	3000	500	200	1	0,212	88,30	0,5300	B15
C30.30-A400-ПП-2	3000	300	200	2	0,169	111,42	0,4217	B15
C30.40-A400-ПП-2	3000	400	200	2	0,229	82,75	0,5717	B15
C30.50-A400-ПП-2	3000	500	200	2	0,302	62,91	0,7550	B15
C40.30-A400-ПП-1	4000	300	200	1	0,185	125,62	0,4633	B15
C40.40-A400-ПП-1	4000	400	200	1	0,215	108,51	0,5383	B15
C40.50-A400-ПП-1	4000	500	200	1	0,252	92,94	0,6300	B15
C40.30-A400-ПП-2	4000	300	200	2	0,209	112,15	0,5217	B15
C40.40-A400-ПП-2	4000	400	200	2	0,269	87,51	0,6717	B15
C40.50-A400-ПП-2	4000	500	200	2	0,342	69,10	0,8550	B15
C40.30-A400-ПП-3	4000	300	200	3	0,232	101,90	0,5800	B15
C40.40-A400-ПП-3	4000	400	200	3	0,322	73,69	0,8050	B15
C40.50-A400-ПП-3	4000	500	200	3	0,432	55,14	1,0800	B15
C50.30-A400-ПП-1	5000	300	200	1	0,225	121,5	0,5633	B15
C50.40-A400-ПП-1	5000	400	200	1	0,255	107,56	0,6383	B15
C50.50-A400-ПП-1	5000	500	200	1	0,292	94,21	0,7300	B15
C50.30-A400-ПП-2	5000	300	200	2	0,249	110,56	0,6217	B15
C50.40-A400-ПП-2	5000	400	200	2	0,309	89,35	0,7717	B15
C50.50-A400-ПП-2	5000	500	200	2	0,382	72,49	0,9550	B15
C50.30-A400-ПП-3	5000	300	200	3	0,272	102,10	0,6800	B15
C50.40-A400-ПП-3	5000	400	200	3	0,362	76,93	0,9050	B15
C50.50-A400-ПП-3	5000	500	200	3	0,472	59,15	1,1800	B15

Рабочие чертежи

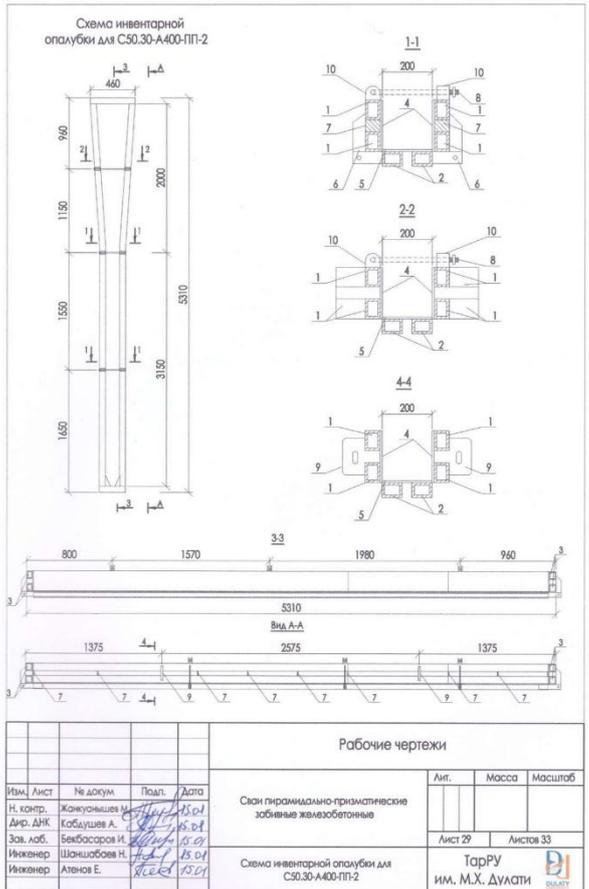
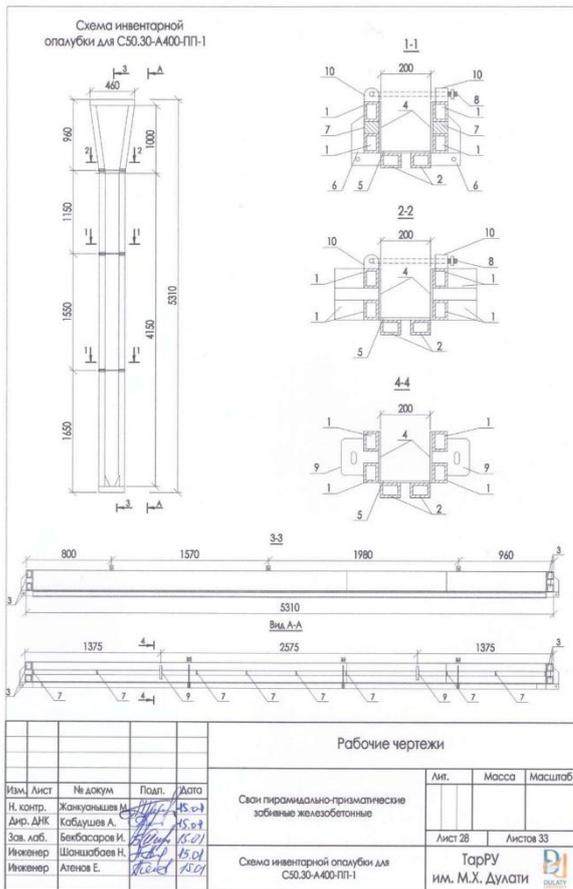
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные	Лит.	Масса	Масштаб
					Показатели на одну сваю (начало)			
						ТарГУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		

Показатели на одну сваю (окончание)

Марка сваи	Размеры, мм			Длина пирамидального участка, м	Объем бетона, м³	Удельный расход арматуры кг/м³	Масса сваи, т	Класс бетона по прочности на сжатие
	L	B	B <sub>2</sub>					
C50.30-A400-ПП-4	5000	300	200	4	0,295	94,78	0,295	B15
C50.40-A400-ПП-4	5000	400	200	4	0,415	67,54	1,0383	B15
C50.50-A400-ПП-4	5000	500	200	4	0,562	50,02	1,4050	B15
C60.30-A400-ПП-1	6000	300	200	1	0,265	118,80	0,6433	B15
C60.40-A400-ПП-1	6000	400	200	1	0,295	106,87	0,7383	B15
C60.50-A400-ПП-1	6000	500	200	1	0,332	95,27	0,8300	B15
C60.30-A400-ПП-2	6000	300	200	2	0,289	109,62	0,7217	B15
C60.40-A400-ПП-2	6000	400	200	2	0,349	90,97	0,8717	B15
C60.50-A400-ПП-2	6000	500	200	2	0,422	75,42	1,0550	B15
C60.30-A400-ПП-3	6000	300	200	3	0,312	102,15	0,7800	B15
C60.40-A400-ПП-3	6000	400	200	3	0,402	79,48	1,0050	B15
C60.50-A400-ПП-3	6000	500	200	3	0,512	62,54	1,2800	B15
C60.30-A400-ПП-4	6000	300	200	4	0,335	95,73	0,8382	B15
C60.40-A400-ПП-4	6000	400	200	4	0,455	70,44	1,1383	B15
C60.50-A400-ПП-4	6000	500	200	4	0,602	53,52	1,5050	B15
C60.30-A400-ПП-5	6000	300	200	5	0,359	89,86	0,8967	B15
C60.40-A400-ПП-5	6000	400	200	5	0,509	63,54	1,2717	B15
C60.50-A400-ПП-5	6000	500	200	5	0,692	46,85	1,7300	B15

Рабочие чертежи

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные	Лит.	Масса	Масштаб
					Показатели на одну сваю (окончание)			
						ТарГУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		



Спецификация к элементам опалубки					
Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
для С50.30-А400-ПП-1					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5280	4	42,61	171,5
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-1085x200x8	1	136,36	136,36
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x208x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x80x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	3	1,58	3,74
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	12	0,19	2,28
для С50.30-А400-ПП-2					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5415	4	43,69	174,8
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-10985x200x8	1	137,97	137,97
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x208x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x80x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	4	1,58	6,32
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	16	0,19	3,04

Рабочие чертежи							
Изм.	Лист	№ докум.	Полп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Н. контр.	Жануаншешев М.	15.01	15.01			
Дир. ДНК	Дир. ДНК	Кобдушев А.	15.01	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Шаншобаев Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Атенов Е.	15.01	15.01			
Сваи пирамидально-призматические зобинные железобетонные					Лист 30	Листов 33	
Спецификация к элементам опалубки					ТарРУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		

Схема инвентарной  
опалубки для С50.30-А400-ПП-3

Рабочие чертежи							
Изм.	Лист	№ докум.	Полп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Н. контр.	Жануаншешев М.	15.01	15.01			
Дир. ДНК	Дир. ДНК	Кобдушев А.	15.01	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Шаншобаев Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Атенов Е.	15.01	15.01			
Сваи пирамидально-призматические зобинные железобетонные					Лист 31	Листов 33	
Схема инвентарной опалубки для С50.30-А400-ПП-3					ТарРУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		

Схема инвентарной  
опалубки для С50.30-А400-ПП-4

Рабочие чертежи							
Изм.	Лист	№ докум.	Полп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Н. контр.	Жануаншешев М.	15.01	15.01			
Дир. ДНК	Дир. ДНК	Кобдушев А.	15.01	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Шаншобаев Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Атенов Е.	15.01	15.01			
Сваи пирамидально-призматические зобинные железобетонные					Лист 32	Листов 33	
Схема инвентарной опалубки для С50.30-А400-ПП-4					ТарРУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		

Спецификация к элементам опалубки

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
для С50.30-А400-ПП-3					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5280	4	42,61	171,5
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-1085x200x8	1	136,36	136,36
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x208x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x80x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	3	1,58	3,74
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	12	0,19	2,28
для С50.30-А400-ПП-4					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5415	4	43,69	174,8
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, I=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-10985x200x8	1	137,97	137,97
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x208x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x80x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	4	1,58	6,32
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	16	0,19	3,04

Рабочие чертежи							
Изм.	Лист	№ докум.	Полп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
И. контр.	Н. контр.	Жануаншешев М.	15.01	15.01			
Дир. ДНК	Дир. ДНК	Кобдушев А.	15.01	15.01			
Зав. лаб.	Зав. лаб.	Бекбасаров Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Шаншобаев Н.	15.01	15.01			
Инженер	Инженер	Атенов Е.	15.01	15.01			
Сваи пирамидально-призматические зобинные железобетонные					Лист 33	Листов 33	
Спецификация к элементам опалубки					ТарРУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ		

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғарғы білім министрлігі  
 Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан

"М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті" ҚЕ АҚ  
 НАО "Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати"

ЖҰМЫС СЫЗБАЛАРЫ  
 Альбом 2

Эксперименттік құрылыс құралымдары, бұйымдары мен бөлшектері  
**ҚАҒЫЛМАЛЫ ТЕМІРБЕТОНДЫ  
 ПИРАМИДАЛДЫ-ПРИЗМАЛЫҚ ҚАДАЛАР**  
 Алдын ала кернеуленген арматурасы бар біртұтас қадалар

Экспериментальные строительные конструкции, изделия и узлы  
**СВАИ ПИРАМИДАЛЬНО-ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ  
 ЗАБИВНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ**  
 Сваи цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой

РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ  
 Альбом 2

Тараз 2024

Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан

НАО "Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати"



Экспериментальные строительные конструкции, изделия и узлы

Сваи пирамидально-призматические  
 забивные железобетонные

Сваи цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой

РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ  
 Альбом 2

Разработаны НИИ инженерного профиля "Нанотехнологические методы исследований им. А.С. Ахметова"

Зав. лаб. *Б. Ахметов* И.И. Бекбасаров  
 Инженер *Жапар* Н.А. Шаншобаев  
 Инженер *Ахметов* Е.И. Атенов

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
 к рабочим чертежам (Альбом 2) "Сваи пирамидально-призматические  
 забивные железобетонные цельные сплошного сечения с напрягаемой арматурой"

№ п/п	Должность согласующего лица	Фамилия, инициалы согласующего лица	Отметка согласования	Дата согласования
1	Директор ЮФР АО "КазНИИСА" К.Т.Н.	Байтемиров М.Н.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
2	Директор ТОО "Тараз Арктик" К.Т.Н.	Мамбеков И.А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
3	Директор ТОО "Экспертная сейсмостойкого строительства"	Оспанов Н.А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
4	Заместитель заводской лабораторией ТОО "ТИМАРАТ-ТЕМІРБЕТОН"	Пожмаев В.Н.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
5	Директор ТОО "Бином"	Бакеев М.Н.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
6	Директор ТОО "Мекен-Жай Тараз"	Абдышев Б.Б.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
7	Директор ТОО "Elite Project Company BS"	Бакбаев Т.Б.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
8	Директор ТОО "Табис жоба"	Ахметова Г.А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
9	Директор ТОО "Эрдром"	Палацкая П.Г.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
10	Директор ТОО "Тараз-Технопроект"	Олжабеков М.Б.	<i>Согласовано</i>	20.01.24
11	Директор ТОО "АзияТурПроект"	Турмубаева Б.О.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
12	Директор ТОО "ТермекКом"	Канатбаева А.М.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
13	Директор ТОО "БетекЕвИЛ"	Жолдасбай А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
14	Директор ТОО "Архитектурное Проектное бюро-1"	Кадримбаев Г.О.	<i>Согласовано</i>	19.01.24
15	Директор ТОО "Тематиконс ЛТД"	Метелов Д.А.	<i>Согласовано</i>	19.01.24

Содержание

Лист	Наименование	Примеч.
1	Содержание	
2	Пояснительная записка	
3	Пояснительная записка	
4	Спецификация основных параметров свай (начало)	
5	Спецификация основных параметров свай (окончание)	
6	Схема армирования свай	
7	Сетка С-1 - С-3	
8	Спецификация элементов	
9	Спецификация элементов (начало)	
10	Спецификация элементов (продолжение)	
11	Спецификация элементов (продолжение)	
12	Спецификация элементов (продолжение)	
13	Спецификация элементов (продолжение)	
14	Спецификация элементов (продолжение)	
15	Спецификация элементов (продолжение)	
16	Спецификация элементов (продолжение)	
17	Спецификация элементов (окончание)	
18	Ведомость расхода стали (начало)	
19	Ведомость расхода стали (окончание)	
20	Показатели на омы свай (начало)	
21	Показатели на омы свай (окончание)	
22	Схема инвентарной опалубки для С50.30-А400-ПП-1	
23	Схема инвентарной опалубки для С50.30-А400-ПП-2	
24	Спецификация к элементам опалубки	
25	Схема инвентарной опалубки для С50.30-А400-ПП-3	
26	Схема инвентарной опалубки для С50.30-А400-ПП-4	
27	Спецификация к элементам опалубки	

Рабочие чертежи				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Н. контр.	1	Жапаровым М.	И.И.	19.01.24	Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидальными уширениями свая	Лист 1
Дир. ДИК	1	Кабдушев А.	И.И.	19.01.24		
Зав. лаб.	1	Бекбасаров И.	И.И.	19.01.24		
Инженер	1	Шаншобаев Н.	И.И.	19.01.24		
Инженер	1	Атенов Е.	И.И.	19.01.24		
				Содержание		Лист 27

ТарРУ  
 им. М.Х. Дулати

1. **Общая часть**

1.1 Настоящий документ содержит рабочие чертежи забивных железобетонных пирамидально-призматических свай с напрягаемой арматурой без поперечного армирования свода.

1.2 Свай обозначены марками в соответствии с ГОСТ 23009-78\*. Марка свай состоит из буквенно-цифровой группы, которая содержит наименование конструкции (СПП - свай пирамидально-призматической), размеров и типа армирования сваи.

Пример условного обозначения марки свай:



2. **Область применения и основные конструктивные решения**

2.1 Пирамидально-призматические сваи предназначены для устройства свайных фундаментов:

- малозащитных (1-3 этажей) промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий и сооружений;
- под опоры гидротехнических сооружений (защитных, трубопроводов, септиков, насосных станций и др.) и мелиоративных систем (каналов, водозаборов и др.).

Указанные сваи не рекомендуется применять для опор мостов и портовых гидротехнических сооружений, а также использовать в пучинистых грунтах и при необходимости погружения в грунт с помощью вибрации.

2.2 Пирамидально-призматические сваи рекомендуется применять на площадках, сложенных славушащими видами грунтов:

- глинистыми грунтами с показателем текучести 0,5 и более;
- песками пылеватыми (с коэффициентом пористости 0,65 и более), мелкими (с коэффициентом пористости 0,6 и более) и средней крупности (с коэффициентом пористости 0,55 и более);

При перечисленных грунтовых наплавках допускается прорезка прослоек (листв) следующих трудноразбиваемых грунтов:

- глинистых с показателем текучести 0,2 и менее, толщиной не более 1,0 м;
- лесок травянистых рыхлаго сложения, лесок крупно-средней пылости, толщиной не более 0,5 м.

Опирание нижних концов пирамидально-призматических свай допускается на все виды грунтов, за исключением скальных грунтов, неуплотненных насыпей, а также слабых грунтов типа илов, глинистых текучей и текуче-пластичной консистенции и других видов слабосжимаемых грунтов.

2.3 Сваи разработаны для применения в грунтах с неагрессивной степенью воздействия подземных вод и в несейсмических районах.

2.4 Пирамидально-призматические сваи могут применяться в виде:

- одиночных свай;
- венч под стены зданий и сооружений с расположением свай в один или два ряда;
- кустов под колонны, стойки и опоры.

2.5 Пирамидально-призматические сваи с напрягаемой арматурой без поперечного армирования воспринимают вертикальные сдавливающие и выдергивающие нагрузки, а также горизонтальные нагрузки.

2.6 При выборе пирамидально-призматических свай для применения в составе свайных фундаментов зданий и сооружений следует учитывать расчетную нагрузку, передаваемую на одну сваю, которая должна быть не более значения расчетной несущей способности сваи. В соответствии с положениями СП РК EN 1997-1:2004/2011 для обеспечения проектных нагрузок (воздействия) с достаточным запасом надежности применение пирамидально-призматических свай должно осуществляться с соблюдением требований для всех принятых предельных состояний, комбинаций нагрузок и расчетных ситуаций.

2.7 Пирамидально-призматические сваи принимаются стандартных размеров:

- размеры поперечного сечения призматической части свай составляют 200-200 мм;
- размеры поперечного сечения верхней части пирамидального участка приняты равным 300-300 мм, 400-400 мм и 500-500 мм;
- длина пирамидального участка 1-5 м (шаг 1,0 м);
- острие имеет пирамидальную форму высотой 150 мм;
- длина свай составляет 3, 4, 5 и 6 м.

2.8 Допускается изготовление свай с теоретическими углами противоположных сторон поперечного сечения, не превышающими 1:15 без изменения площади поперечного сечения.

2.9 Пирамидально-призматические сваи армируются одним centrally расположенным, предварительно напряженным арматурным стержнем периодического профиля без поперечной арматуры.

2.10 Главная часть свай усиливается (армируется) поперечными сетками. Допускается объединять сваи в пространственный каркас приваркой либо привязкой дополнительных стержней. Нижний конец свай армируется спиралью.

2.11 Поперечные петли должны быть завязаны за продольную арматуру сваи.

2.12 Сети, петли и спиральные проволоки должны быть привязаны к центральному стержню сваи взаимной проволокой. Количество мест и прочность привязки должны обеспечить геометрическую неизменяемость арматурных элементов и сохранность их проектного положения до окончания формирования бетонной смеси.

Рабочие чертежи					Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Свай забивные железобетонные с плоскими пирамидальными уширениями свода	Лист 2	Листов 27
Н. контр.	Дир. ДНК	Жануарышев М.	Кобалдиев А.	15.04			
Зав. лаб.	Инженер	Бекбасаров И.	Шаншайбаев Н.	15.04			
Инженер	Атенов Е.	15.04	15.04				

Рабочие чертежи					Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Свай забивные железобетонные с плоскими пирамидальными уширениями свода	Лист 3	Листов 27
Н. контр.	Дир. ДНК	Жануарышев М.	Кобалдиев А.	15.04			
Зав. лаб.	Инженер	Бекбасаров И.	Шаншайбаев Н.	15.04			
Инженер	Атенов Е.	15.04	15.04				

Спецификация основных параметров свай (начало)								
Эска	Марка свай	L, мм	L <sub>1</sub> , мм	L <sub>2</sub> , мм	L <sub>3</sub> , мм	в, мм	в <sub>1</sub> , мм	Масса, т
	СПП30.30-А400-1	3150	1000	2000	150	300	200	0,3633
	СПП30.40-А400-1	3150	1000	2000	150	400	200	0,4383
	СПП30.50-А400-1	3150	1000	2000	150	500	200	0,5300
	СПП30.30-А400-2	3150	2000	1000	150	300	200	0,4217
	СПП30.40-А400-2	3150	2000	1000	150	400	200	0,5717
	СПП30.50-А400-2	3150	2000	1000	150	500	200	0,7550
	СПП40.30-А400-1	4150	1000	3000	150	300	200	0,4633
	СПП40.40-А400-1	4150	1000	3000	150	400	200	0,5383
	СПП40.50-А400-1	4150	1000	3000	150	500	200	0,6300
	СПП40.30-А400-2	4150	2000	2000	150	300	200	0,5217
	СПП40.40-А400-2	4150	2000	2000	150	400	200	0,6717
	СПП40.50-А400-2	4150	2000	2000	150	500	200	0,8550
	СПП40.30-А400-3	4150	3000	1000	150	300	200	0,5800
	СПП40.40-А400-3	4150	3000	1000	150	400	200	0,8050
	СПП40.50-А400-3	4150	3000	1000	150	500	200	1,0800
	СПП50.30-А400-1	5150	1000	4000	150	300	200	0,5633
	СПП50.40-А400-1	5150	1000	4000	150	400	200	0,6383
	СПП50.50-А400-1	5150	1000	4000	150	500	200	0,7300
	СПП50.30-А400-2	5150	2000	3000	150	300	200	0,6217
	СПП50.40-А400-2	5150	2000	3000	150	400	200	0,7717
	СПП50.50-А400-2	5150	2000	3000	150	500	200	0,9550
	СПП50.30-А400-3	5150	3000	2000	150	300	200	0,6800
	СПП50.40-А400-3	5150	3000	2000	150	400	200	0,9050
	СПП50.50-А400-3	5150	3000	2000	150	500	200	1,1800

Спецификация основных параметров свай (окончание)								
Эска	Марка свай	L, мм	L <sub>1</sub> , мм	L <sub>2</sub> , мм	L <sub>3</sub> , мм	в, мм	в <sub>1</sub> , мм	Масса, т
	СПП50.30-А400-4	5150	1000	2000	150	300	200	0,7383
	СПП50.40-А400-4	5150	1000	2000	150	400	200	1,0383
	СПП50.50-А400-4	5150	1000	2000	150	500	200	1,4050
	СПП60.30-А400-1	6150	1000	5000	150	300	200	0,6633
	СПП60.40-А400-1	6150	1000	5000	150	400	200	0,7383
	СПП60.50-А400-1	6150	1000	5000	150	500	200	0,8300
	СПП60.30-А400-2	6150	2000	4000	150	300	200	0,7217
	СПП60.40-А400-2	6150	2000	4000	150	400	200	0,8717
	СПП60.50-А400-2	6150	2000	4000	150	500	200	1,0550
	СПП60.30-А400-3	6150	3000	3000	150	300	200	0,7800
	СПП60.40-А400-3	6150	3000	3000	150	400	200	1,0050
	СПП60.50-А400-3	6150	3000	3000	150	500	200	1,2800
	СПП60.30-А400-4	6150	4000	2000	150	300	200	0,8382
	СПП60.40-А400-4	6150	4000	2000	150	400	200	1,1383
	СПП60.50-А400-4	6150	4000	2000	150	500	200	1,5050
	СПП60.30-А400-5	6150	5000	1000	150	300	200	0,8967
	СПП60.40-А400-5	6150	5000	1000	150	400	200	1,2717
	СПП60.50-А400-5	6150	5000	1000	150	500	200	1,7300



Спецификация элементов (продолжение)					
Поз.	Марка свая	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СПП30.50-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=3350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,302
1	СПП40.30-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,185
1	СПП40.40-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,215
1	СПП40.50-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,252
1	СПП40.30-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,209

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 10
					Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Спецификация элементов (продолжение)					
Поз.	Марка свая	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СПП40.40-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,269
1	СПП40.50-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,342
1	СПП40.30-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,232
1	СПП40.40-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,322
1	СПП40.50-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=4350	1	0,888	3,86
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,432

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 11
					Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Спецификация элементов (продолжение)					
Поз.	Марка свая	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СПП50.30-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,225
1	СПП50.40-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,255
1	СПП50.50-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,292
1	СПП50.30-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,249
1	СПП50.40-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,309

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 12
					Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Спецификация элементов (продолжение)					
Поз.	Марка свая	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СПП50.50-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,382
1	СПП50.30-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,272
1	СПП50.40-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,362
1	СПП50.50-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,472
1	СПП50.30-А400-4	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Плетка П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,295

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 13
					Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Спецификация элементов (продолжение)					
Поз.	Марка стали	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СП150.40-А400-4	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,415
1	СП150.50-А400-4	Напрягаемый стержень 12-А400, I=5350	1	0,888	4,75
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,562
1	СП160.30-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,265
1	СП160.40-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,295
1	СП160.50-А400-1	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,332

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Полг.	Дата	Содержание
					Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 14 Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Спецификация элементов (продолжение)					
Поз.	Марка стали	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СП160.30-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,289
1	СП160.50-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,349
1	СП160.50-А400-2	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,422
1	СП160.30-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,312
1	СП160.40-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,402

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Полг.	Дата	Содержание
					Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 15 Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Спецификация элементов (продолжение)					
Поз.	Марка стали	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СП160.50-А400-3	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,512
1	СП160.30-А400-4	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,335
1	СП160.40-А400-4	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,455
1	СП160.50-А400-4	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,602
1	СП160.30-А400-5	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,359

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Полг.	Дата	Содержание
					Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 16 Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Спецификация элементов (окончание)					
Поз.	Марка стали	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
1	СП160.40-А400-5	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Спираль Сп-1	1	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,509
1	СП160.50-А400-5	Напрягаемый стержень 12-А400, I=6350	1	0,888	5,64
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Спираль Сп-1	2	0,296	0,296
4		Петля П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м³			0,692

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Полг.	Дата	Содержание
					Сваи забивные железобетонные с плоскими пирамидообразными уширениями ствола
					Лист 17 Листов 27
					ТарГУ им. М.Х. Дулати

Ведомость расхода стали (начало)										
Марка элемента	Изменя арматурные								Всего	
	Арматура класса									
	5 Вр-1		5 Вр-1		10-A240		12-A400			
	ГОСТ 23279-2012		ГОСТ 6727-80		ГОСТ 34028-2016		ГОСТ 34028-2016			
кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого			
СПП30.30-A400-1	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	2.97	2.97	8.30	
СПП30.40-A400-1	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	2.97	2.97	8.80	
СПП30.50-A400-1	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	2.97	2.97	9.04	
СПП30.30-A400-2	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	2.97	2.97	8.30	
СПП30.40-A400-2	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	2.97	2.97	8.80	
СПП30.50-A400-2	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	2.97	2.97	9.04	
СПП40.30-A400-1	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.19	
СПП40.40-A400-1	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.69	
СПП40.50-A400-1	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.93	
СПП40.30-A400-2	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.19	
СПП40.40-A400-2	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.69	
СПП40.50-A400-2	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.93	
СПП40.30-A400-3	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.19	
СПП40.40-A400-3	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.69	
СПП40.50-A400-3	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	3.86	3.86	9.93	
СПП50.30-A400-1	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.08	
СПП50.40-A400-1	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.58	
СПП50.50-A400-1	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.82	
СПП50.30-A400-2	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.08	
СПП50.40-A400-2	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.58	
СПП50.50-A400-2	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.82	

Рабочие чертежи										
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб			
И. контр.	Дир. ДНК	Жануарышева М. Кабулуева А.	<i>[Подпись]</i>	15.01				Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные		
Зав. лаб.	Инженер	Бекбасаров И. Шанжибаев Н. Атепов Е.	<i>[Подпись]</i>	15.01	Лист 18	Листов 27	Ведомость расхода стали (начало)			
							ТарРУ			
							ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			

Ведомость расхода стали (начало)										
Марка элемента	Изменя арматурные								Всего	
	Арматура класса									
	5 Вр-1		5 Вр-1		10-A240		12-A400			
	ГОСТ 23279-2012		ГОСТ 6727-80		ГОСТ 34028-2016		ГОСТ 34028-2016			
кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого	кол.	итого			
СПП50.30-A400-3	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.08	
СПП50.40-A400-3	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.58	
СПП50.50-A400-3	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.82	
СПП50.30-A400-4	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.08	
СПП50.40-A400-4	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.58	
СПП50.50-A400-4	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	4.75	4.75	10.82	
СПП60.30-A400-1	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	10.97	
СПП60.40-A400-1	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.47	
СПП60.50-A400-1	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.71	
СПП60.30-A400-2	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	10.97	
СПП60.40-A400-2	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.47	
СПП60.50-A400-2	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.71	
СПП60.30-A400-3	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	10.97	
СПП60.40-A400-3	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.47	
СПП60.50-A400-3	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.71	
СПП60.30-A400-4	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	10.97	
СПП60.40-A400-4	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.47	
СПП60.50-A400-4	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.71	
СПП60.30-A400-5	4.0	4.0	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	10.97	
СПП60.40-A400-5	4.5	4.5	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.47	
СПП60.50-A400-5	4.74	4.74	0.296	0.296	1.036	1.036	5.64	5.64	11.71	

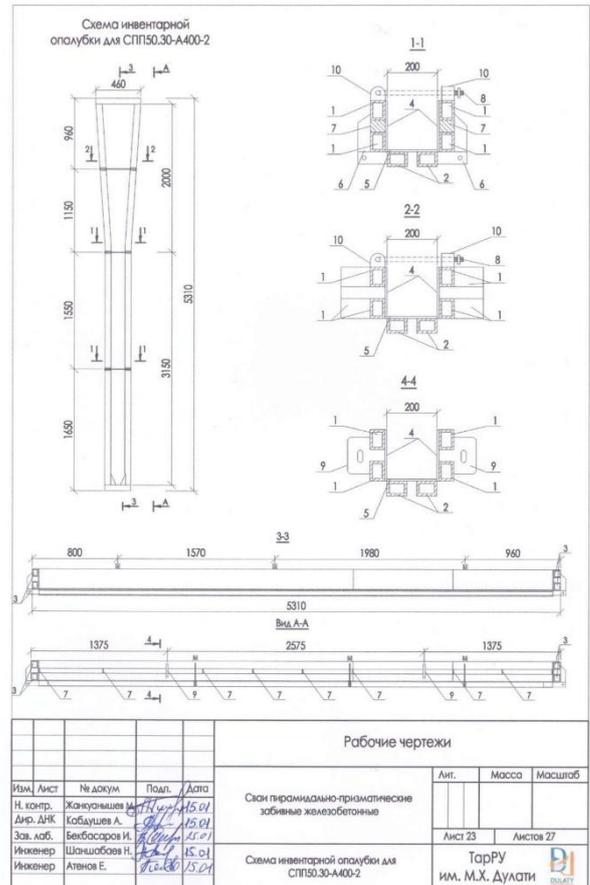
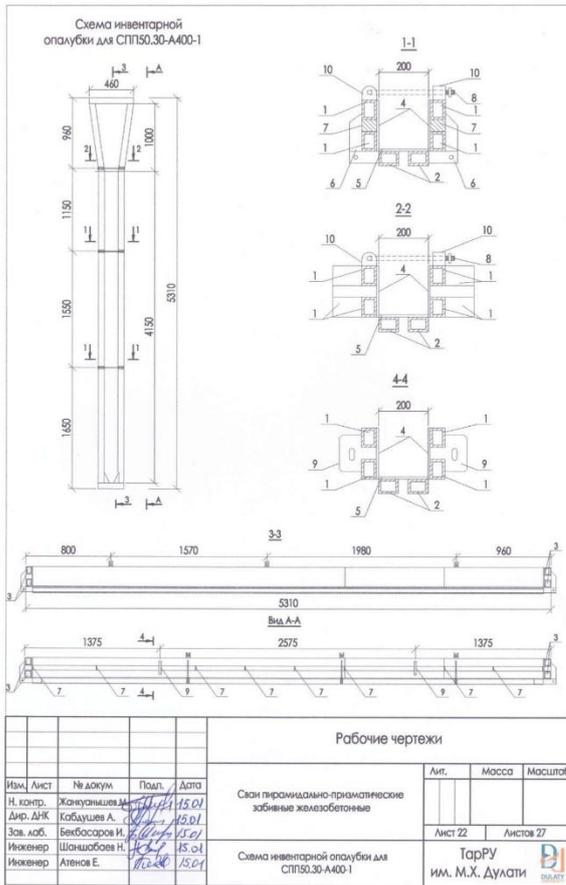
Рабочие чертежи										
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб			
И. контр.	Дир. ДНК	Жануарышева М. Кабулуева А.	<i>[Подпись]</i>	15.01				Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные		
Зав. лаб.	Инженер	Бекбасаров И. Шанжибаев Н. Атепов Е.	<i>[Подпись]</i>	15.01	Лист 19	Листов 27	Ведомость расхода стали (начало)			
							ТарРУ			
							ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			

Показатели на одну сваю (начало)										
Марка сваи	Размеры, мм			Длина пирамидально-ного участка, м	Объем бетона, м³	Удельный расход арматуры кг/м³	Масса свая, т	Класс бетона по прочности на сжатие		
	L	B	B <sub>1</sub>							
СПП30.30-A400-1	3150	300	200	1	0.145	57.24	0.3633	822.5		
СПП30.40-A400-1	3150	400	200	1	0.175	50.28	0.4383	822.5		
СПП30.50-A400-1	3150	500	200	1	0.212	42.64	0.5300	822.5		
СПП30.30-A400-2	3150	300	200	2	0.169	49.40	0.4217	822.5		
СПП30.40-A400-2	3150	400	200	2	0.229	38.59	0.5717	822.5		
СПП30.50-A400-2	3150	500	200	2	0.302	29.93	0.7550	822.5		
СПП40.30-A400-1	4150	300	200	1	0.185	49.67	0.4633	822.5		
СПП40.40-A400-1	4150	400	200	1	0.215	45.07	0.5383	822.5		
СПП40.50-A400-1	4150	500	200	1	0.252	39.40	0.6300	822.5		
СПП40.30-A400-2	4150	300	200	2	0.209	44.18	0.5217	822.5		
СПП40.40-A400-2	4150	400	200	2	0.269	34.15	0.6717	822.5		
СПП40.50-A400-2	4150	500	200	2	0.342	29.03	0.8550	822.5		
СПП40.30-A400-3	4150	300	200	3	0.232	39.61	0.5900	822.5		
СПП40.40-A400-3	4150	400	200	3	0.322	30.09	0.8050	822.5		
СПП40.50-A400-3	4150	500	200	3	0.432	22.98	1.0800	822.5		
СПП50.30-A400-1	5150	300	200	1	0.225	44.8	0.5633	822.5		
СПП50.40-A400-1	5150	400	200	1	0.255	41.49	0.6383	822.5		
СПП50.50-A400-1	5150	500	200	1	0.292	37.05	0.7300	822.5		
СПП50.30-A400-2	5150	300	200	2	0.249	40.64	0.6217	822.5		
СПП50.40-A400-2	5150	400	200	2	0.309	34.35	0.7717	822.5		
СПП50.50-A400-2	5150	500	200	2	0.382	28.32	0.9550	822.5		
СПП50.30-A400-3	5150	300	200	3	0.272	37.06	0.6800	822.5		
СПП50.40-A400-3	5150	400	200	3	0.362	29.22	0.9050	822.5		
СПП50.50-A400-3	5150	500	200	3	0.472	22.92	1.1800	822.5		

Рабочие чертежи										
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб			
И. контр.	Дир. ДНК	Жануарышева М. Кабулуева А.	<i>[Подпись]</i>	15.01				Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные		
Зав. лаб.	Инженер	Бекбасаров И. Шанжибаев Н. Атепов Е.	<i>[Подпись]</i>	15.01	Лист 20	Листов 27	Показатели на одну сваю (начало)			
							ТарРУ			
							ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			

Показатели на одну сваю (окончание)										
Марка сваи	Размеры, мм			Длина пирамидально-ного участка, м	Объем бетона, м³	Удельный расход арматуры кг/м³	Масса свая, т	Класс бетона по прочности на сжатие		
	L	B	B <sub>1</sub>							
СПП50.30-A400-4	5150	300	200	4	0.295	34.17	0.295	822.5		
СПП50.40-A400-4	5150	400	200	4	0.415	25.49	1.0383	822.5		
СПП50.50-A400-4	5150	500	200	4	0.562	19.25	1.4050	822.5		
СПП60.30-A400-1	6150	300	200	1	0.265	41.39	0.6633	822.5		
СПП60.40-A400-1	6150	400	200	1	0.295	38.88	0.7383	822.5		
СПП60.50-A400-1	6150	500	200	1	0.332	35.27	0.8300	822.5		
СПП60.30-A400-2	6150	300	200	2	0.289	38.09	0.7217	822.5		
СПП60.40-A400-2	6150	400	200	2	0.349	32.95	0.8717	822.5		
СПП60.50-A400-2	6150	500	200	2	0.422	27.74	1.0550	822.5		
СПП60.30-A400-3	6150	300	200	3	0.312	35.16	0.7800	822.5		
СПП60.40-A400-3	6150	400	200	3	0.402	28.53	1.0050	822.5		
СПП60.50-A400-3	6150	500	200	3	0.512	22.87	1.2800	822.5		
СПП60.30-A400-4	6150	300	200	4	0.335	32.74	0.8382	822.5		
СПП60.40-A400-4	6150	400	200	4	0.455	25.20	1.1383	822.5		
СПП60.50-A400-4	6150	500	200	4	0.602	19.45	1.5050	822.5		
СПП60.30-A400-5	6150	300	200	5	0.359	30.64	0.8947	822.5		
СПП60.40-A400-5	6150	400	200	5	0.509	22.57	1.2717	822.5		
СПП60.50-A400-5	6150	500	200	5	0.692	16.92	1.7300	822.5		

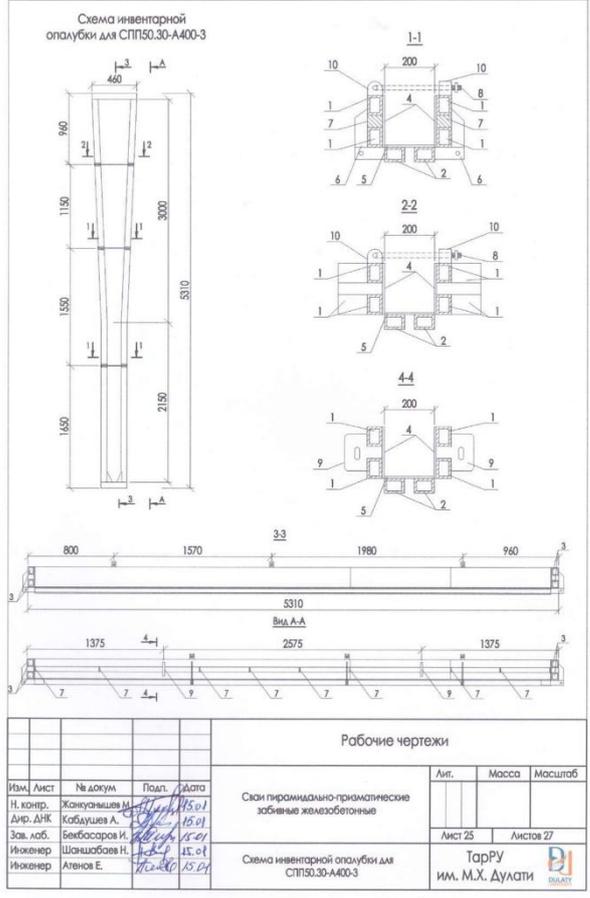
Рабочие чертежи										
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб			
И. контр.	Дир. ДНК	Жануарышева М. Кабулуева А.	<i>[Подпись]</i>	15.01				Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные		
Зав. лаб.	Инженер	Бекбасаров И. Шанжибаев Н. Атепов Е.	<i>[Подпись]</i>	15.01	Лист 21	Листов 27	Показатели на одну сваю (окончание)			
							ТарРУ			
							ИМ. М.Х. ДУЛАТИ			

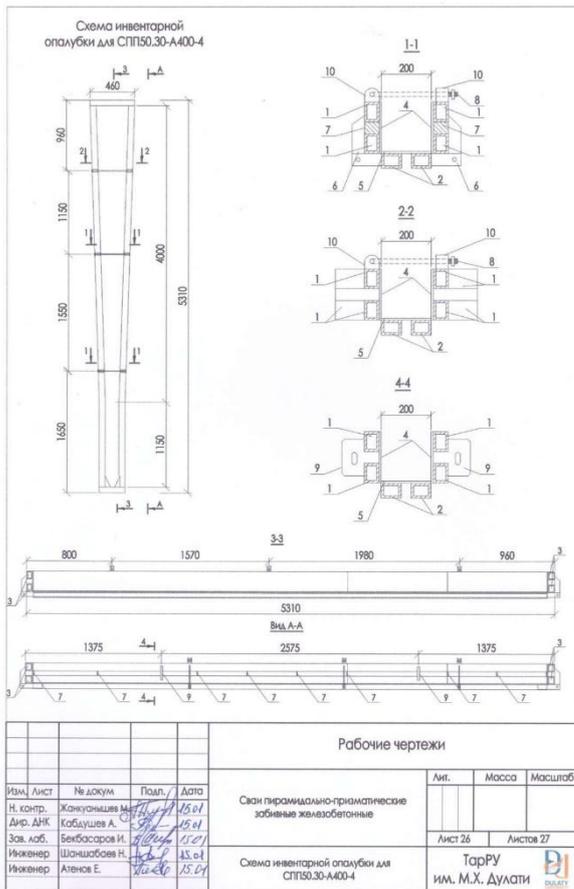


Спецификация к элементам опалубки

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса вв. кг	Примеч.
для СП150.30-А400-1					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5280	4	42,61	171,5
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-1085x200x8	1	136,36	136,36
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x208x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x80x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	3	1,58	3,74
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	12	0,19	2,28
для СП150.30-А400-2					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5415	4	43,69	174,8
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-10985x200x8	1	137,97	137,97
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x208x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x80x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	4	1,58	6,32
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	16	0,19	3,04

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Н. контр.	Дир. ДНК	Зав. лаб.	Инженер	Инженер	Сваи пирамидально-призматические забивные железобетонные		
Жануашиев М.	Кобдушев А.	Бекбосаров И.	Шаншобаев Н.	Атенов Е.	Лист 24	Листов 27	ТарРУ ИМ. М.Х. ДУЛАТИ
Жануашиев М.	Кобдушев А.	Бекбосаров И.	Шаншобаев Н.	Атенов Е.	Спецификация к элементам опалубки		

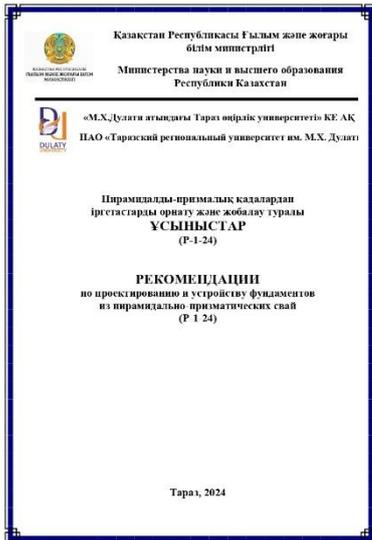




Спецификация к элементам опалубки

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примеч.
для СП150.30-А400-3					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5280	4	42,61	171,5
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-10857x200x8	1	136,36	136,36
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x200x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x60x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	3	1,58	3,74
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	12	0,19	2,28
для СП150.30-А400-4					
1	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5415	4	43,69	174,8
2	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=5150	2	41,56	83,12
3	ГОСТ 8645-68	80x60x4, l=360	4	0,31	1,24
4	ГОСТ 19903-2015	-10985x200x8	1	137,97	137,97
5	ГОСТ 19903-2015	-5150x200x8	1	141,82	141,82
6	ГОСТ 19903-2015	-360x50x8	6	1,13	6,78
7	ГОСТ 19903-2015	-50x60x8	20	0,25	5,0
8	ГОСТ 34028-2016	16-А400	4	1,58	6,32
9	ГОСТ 19903-2015	-150x150x25	4	4,42	17,9
10	ГОСТ 19903-2015	-60x50x8	16	0,19	3,04

Рабочие чертежи					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
				15.01	Сваи пирамидально-призматические зобчатые железобетонные
				15.01	
				15.01	
				15.01	
				15.01	
					Лист 27
					Листов 27
					Тарпу ИМ. М.Х. ДУЛАТИ



Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан  
**НАО «Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати»**



**РЕКОМЕНДАЦИИ**  
**по проектированию и устройству фундаментов**  
**из пирамидально-призматических свай**  
**(Р-1-24)**

Тараз, 2024

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ  
 К Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из пирамидально-призматических свай (Р-1-24)

№ п/п	Должность, наименование организации	Инициалы, фамилия, подпись	Дата
1	Директор АО «Тараз-Энерджи»	Калимуллин Н.В.	18.01.24
2	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Мамбетов И.И.	18.01.24
3	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Оспанов Н.А.	18.01.24
4	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Панкратов А.В.	18.01.24
5	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Валиев М.С.	19.01.24
6	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Абдышев Б.С.	18.01.24
7	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Калиев И.И.	18.01.24
8	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Аманжол А.А.	18.01.24
9	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Валиев Е.Г.	18.01.24
10	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Смаилов А.С.	18.01.24
11	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Трапицкая С.О.	18.01.24
12	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Калибеков А.М.	18.01.24
13	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Жаппаров А.А.	18.01.24
14	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Калибеков С.О.	18.01.24
15	Директор ООО «Тараз-Энерджи»	Мамбетов А.А.	18.01.24

УДК 624.155.2:39  
 ББК 38.582.5  
 Р 36

Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из пирамидально-призматических свай (Р-1-24). Разработчик: Бекбасаров И.И., Шапшабаев Н.А., Атепов Е.Н. – Тараз, Дулати университеті, 2024. – 56 с.

ISBN 978-601-7300-98-2

В настоящих Рекомендациях представлены основные положения по расчету, проектированию и устройству пирамидально-призматических свай и фундаментов из них.

Приведены область применения свай по грунтовым условиям, их геометрические и конструктивные особенности, методы определения несущей способности и деформаций при действии статических, сейсмических, вращательных и горизонтальных нагрузок, порядок размещения свай в плане фундаментов, а также требования по изготовлению свай, их забивке и технике безопасности при производстве работ. Изложены требования к бетону и арматуре, используемым для изготовления свай с ненапрягаемой и предварительно напряженной продольной арматурой.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников проектных, изыскательских и производственных организаций строительного и геотехнического профиля, а также студентов и аспирантов образовательных программ 6B07116 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений», 6B07303 «Строительство и сооружения», 6B08614 «Гидротехническое строительство и сооружения», 7M07312 «Инновационные технологии и исследования в строительстве», 7M07411 «Гидротехническое строительство и сооружения», 7M07402 «Гидротехническое строительство и сооружения».

ББК 38.582.5

ISBN 978-601-7300-98-2

Рекомендовано решением НТС Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати (протокол №13 от 17.06.2020 г.).

© Университет Дулати, 2024

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение	4
1 Общие положения	5
2 Указания по проектированию свайных фундаментов из ППС	15
3 Конструктивные рекомендации при проектировании ростверка	18
4 Расчет пил и фундаментов из них согласно требованиям СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты»	28
5 Проектирование ППС и фундаментов из них по требованиям СП РК EN 1997-1:2004/2011	38
6 Особенности производства работ по забивке ППС	38
7 Требования к бетону и арматуре ППС	40
8 Изготовление и приемка ППС	40
9 Техника безопасности при производстве свайных работ	42
10 Указания по испытанию пил вертикальной статической нагрузкой	43
11 Перечень нормативных документов, на которые даны ссылки в рекомендациях	45
Приложение А	46
Приложение Б	57

**ВВЕДЕНИЕ**

В основу настоящих Рекомендаций положены результаты экспериментальных исследований, выполненных в научно-исследовательской лаборатории инновационного профиля «Инновационные методы исследований им. А.С. Алмаева» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати и на экспериментальном полигоне Южно-Казахстанского филиала АО «КазНППСА», а также с учетом результатов внедрения этой конструкции на ряде объектов строительства.

Пирамидально-призматические сваи запатентованы в РК (инновационный патент РК №4521 «Забивная железобетонная свая»).

Исследования проведены в лабораторных и полевых условиях путем изучения особенностей процесса забивки свай, деформирования грунта при погружении свай и выдергивании их из него, а также путем оценки сопротивляемости свай при действии статических (вдавливающих, выдергивающих и горизонтальных) нагрузок. Экспериментальные работы проводились в сравнении с традиционными пирамидальными и призматическими сваями.

В настоящее время строительная отрасль, в том числе и фундаментостроение в РК характеризуется переходом отечественной нормативной базы на европейские стандарты. В связи с этим в настоящих Рекомендациях особенности расчета, проектирования и устройства пирамидально-призматических свай и фундаментов из них представлены как с учетом требований традиционных норм и стандартов РК, так и с учетом современных требований Еврокода 7. «Гидротехническое строительство».

Целью Рекомендации является распространение в практике проектирования и строительства применение фундаментов из пирамидально-призматических свай.

Рекомендации разработаны ведущим НИИ «Инновационные методы исследований им. А.С. Алмаева» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати, доктором технических наук, профессором, академиком национальной академии горных наук И.И. Бекбасаровым и инженерами (докторантами) Н.А. Шапшабаевым и Е.Н. Атеповым.

3

4

**1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1 Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование и производство работ по устройству забивных свайных пирамидально-призматических свай (далее ППС) и свайных фундаментов из них. Схемы свай представлены на рисунке 1.1.

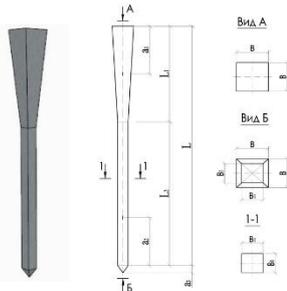


Рис. 1.1 Форма и размеры ППС

1.2 ППС изготавливаются железобетонными длиной 3, 4, 5 и 6 м. Размеры сечения верхней (плоской) части составляют 300×300 мм, 400×400 мм и 500×500 мм. Длина пирамидального участка свай составляет 1, 2, 3, 4 и 5 м. Форма острия свай пирамидальная,

высотой 150 мм. Сваи изготавливаются с ненапрягаемой и с предварительно напряженной продольной арматурой. Сортамент и основные параметры свай представлены в таблицах 1.1 и 1.2.

1.3 ППС имеют маркировку (табл. 1.1 и 1.2). Так, марка свай С50-А400-ППС-1 обозначает следующее: С – свая сплошного сечения; 50 – длина свай, дм; 20 – размер сечения пирамидальной части свай, см; А400 – класс продольной арматуры; ПП – пирамидально-призматическая; 4 – длина пирамидальной части, м. Марка свай С150-А400-ППС-1 обозначает следующее: С150 – свая сплошного сечения пирамидально-призматическая; 30 – длина свай, дм; 30 – размер сечения пирамидальной части свай, см; А400 – класс продольной арматуры; 1 – длина пирамидальной части, м.

1.4 ППС и фундаменты из них рекомендуются использовать для возведения малоэтажных (1-3 этажей) промышленных, гражданских, сельскохозяйственных зданий, а также при устройстве опор водопроводных гидротехнических (акведуков, трубопроводов, септепроводов и др.), мостовых сооружений (лотов, водоводов и др.) и под здания водопроводных насосных станций.

1.5 ППС рекомендуется использовать для возведения свайных фундаментов, устраиваемых в следующих грунтах:  
 а) легких средней крупности и мелких (средней плотности и рыхлых);  
 б) песках пылеватых (плотных, средней плотности и рыхлых);  
 в) глинистых грунтах при показателе текучести 0,3-0,7;  
 г) при различном слоистом напластовании указанных выше видов грунтов.

Примечание. Настоящие рекомендации не распространяются на проектирование свайных конструкций из ППС в векоммерзлых грунтах, заторфованных и набухающих грунтах, просадочных грунтах II типа, на подрабатываемых территориях, на площадках с оползновыми явлениями и карстами.

При необходимости применимость ППС в иных грунтовых условиях устанавливается путем их пробной забивки. Оширение (заглубление) нижних концов свай можно производить на любые некаменные грунты, за исключением торфов и других связных грунтов (илы, глинистые грунты текучей, текучеупругой консистенции и др.).

Таблица 1.1

Спецификация основных параметров ППС с ненапрягаемой продольной арматурой

Марка свай	Размер, мм										Объем свай, м³	Масса свай, т
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>		
С30-30-А400-ППС-1	3000	1000	2000	500	500	150	300	200	0,145	0,363		
С30-30-А400-ППС-1	3000	1000	2000	500	500	150	400	200	0,175	0,438		
С30-50-А400-ППС-1	3000	1000	2000	500	500	150	500	200	0,212	0,530		
С30-30-А400-ППС-2	3000	2000	1000	500	500	150	300	200	0,168	0,421		
С30-40-А400-ППС-2	3000	2000	1000	500	500	150	400	200	0,223	0,571		
С30-50-А400-ППС-2	3000	2000	1000	500	500	150	500	200	0,302	0,755		
С40-30-А400-ППС-1	4000	1000	3000	1000	500	150	300	200	0,185	0,463		
С40-40-А400-ППС-1	4000	1000	3000	1000	500	150	400	200	0,215	0,538		
С40-50-А400-ППС-1	4000	1000	3000	1000	500	150	500	200	0,252	0,630		
С40-30-А400-ППС-2	4000	2000	2000	1000	500	150	300	200	0,208	0,522		
С40-40-А400-ППС-2	4000	2000	2000	1000	500	150	400	200	0,268	0,672		
С40-50-А400-ППС-2	4000	2000	2000	1000	500	150	500	200	0,342	0,855		
С40-30-А400-ППС-3	4000	3000	1000	1000	500	150	300	200	0,231	0,580		
С40-40-А400-ППС-3	4000	3000	1000	1000	500	150	400	200	0,322	0,803		
С40-50-А400-ППС-3	4000	3000	1000	1000	500	150	500	200	0,412	1,08		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S50.30-A400-III-1	5000	1000	4000	1000	500	150	300	200	0,225	0,563	
S50.40-A400-III-1	5000	1000	4000	1000	500	150	400	200	0,255	0,638	
S50.50-A400-III-1	5000	1000	4000	1000	500	150	500	200	0,292	0,730	
S50.30-A400-III-2	5000	2000	3000	1000	500	150	300	200	0,248	0,622	
S50.40-A400-III-2	5000	2000	3000	1000	500	150	400	200	0,308	0,771	
S50.50-A400-III-2	5000	2000	3000	1000	500	150	500	200	0,382	0,955	
S50.30-A400-III-3	5000	3000	2000	1000	500	150	300	200	0,272	0,680	
S50.40-A400-III-3	5000	3000	2000	1000	500	150	400	200	0,362	0,905	
S50.50-A400-III-3	5000	3000	2000	1000	500	150	500	200	0,472	1,180	
S50.30-A400-III-4	5000	4000	1000	1000	500	150	300	200	0,295	0,738	
S50.40-A400-III-4	5000	4000	1000	1000	500	150	400	200	0,415	1,038	
S50.50-A400-III-4	5000	4000	1000	1000	500	150	500	200	0,562	1,405	
S60.30-A400-III-1	6000	1000	5000	1000	500	150	300	200	0,265	0,663	
S60.40-A400-III-1	6000	1000	5000	1000	500	150	400	200	0,295	0,738	
S60.50-A400-III-1	6000	1000	5000	1000	500	150	500	200	0,332	0,830	
S60.30-A400-III-2	6000	2000	4000	1000	500	150	300	200	0,288	0,721	
S60.40-A400-III-2	6000	2000	4000	1000	500	150	400	200	0,348	0,871	
S60.50-A400-III-2	6000	2000	4000	1000	500	150	500	200	0,422	1,05	
S60.30-A400-III-3	6000	3000	3000	1000	500	150	300	200	0,312	0,780	

8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S60.40-A400-III-3	6000	3000	3000	1000	500	150	400	200	0,402	1,0	
S60.50-A400-III-3	6000	3000	3000	1000	500	150	500	200	0,512	1,280	
S60.30-A400-III-4	6000	4000	2000	1000	500	150	300	200	0,335	0,838	
S60.40-A400-III-4	6000	4000	2000	1000	500	150	400	200	0,455	1,138	
S60.50-A400-III-4	6000	4000	2000	1000	500	150	500	200	0,602	1,505	
S60.30-A400-III-5	6000	5000	1000	1000	500	150	300	200	0,358	0,896	
S60.40-A400-III-5	6000	5000	1000	1000	500	150	400	200	0,508	1,271	
S60.50-A400-III-5	6000	5000	1000	1000	500	150	500	200	0,692	1,730	

9

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СПП30.30-A400-1	5000	1000	4000	1000	500	150	300	200	0,225	0,563	
СПП30.40-A400-1	5000	1000	4000	1000	500	150	400	200	0,255	0,638	
СПП30.50-A400-1	5000	1000	4000	1000	500	150	500	200	0,292	0,730	
СПП30.30-A400-2	5000	2000	3000	1000	500	150	300	200	0,248	0,622	
СПП30.40-A400-2	5000	2000	3000	1000	500	150	400	200	0,308	0,771	
СПП30.50-A400-2	5000	2000	3000	1000	500	150	500	200	0,382	0,955	
СПП30.30-A400-3	5000	3000	2000	1000	500	150	300	200	0,272	0,680	
СПП30.40-A400-3	5000	3000	2000	1000	500	150	400	200	0,362	0,905	
СПП30.50-A400-3	5000	3000	2000	1000	500	150	500	200	0,472	1,180	
СПП30.30-A400-4	5000	4000	1000	1000	500	150	300	200	0,295	0,738	
СПП30.40-A400-4	5000	4000	1000	1000	500	150	400	200	0,415	1,038	
СПП30.50-A400-4	5000	4000	1000	1000	500	150	500	200	0,562	1,405	
СПП30.30-A400-5	6000	1000	5000	1000	500	150	300	200	0,265	0,663	
СПП30.40-A400-5	6000	1000	5000	1000	500	150	400	200	0,295	0,738	
СПП30.50-A400-5	6000	1000	5000	1000	500	150	500	200	0,332	0,830	
СПП30.30-A400-6	6000	2000	4000	1000	500	150	300	200	0,288	0,721	
СПП30.40-A400-6	6000	2000	4000	1000	500	150	400	200	0,348	0,871	
СПП30.50-A400-6	6000	2000	4000	1000	500	150	500	200	0,422	1,05	
СПП30.30-A400-7	6000	3000	3000	1000	500	150	300	200	0,312	0,780	

11

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СПП40.30-A400-1	6000	3000	3000	1000	500	150	400	200	0,402	1,0	
СПП40.40-A400-1	6000	3000	3000	1000	500	150	500	200	0,512	1,280	
СПП40.30-A400-2	6000	4000	2000	1000	500	150	300	200	0,335	0,838	
СПП40.40-A400-2	6000	4000	2000	1000	500	150	400	200	0,455	1,138	
СПП40.50-A400-2	6000	4000	2000	1000	500	150	500	200	0,602	1,505	
СПП40.30-A400-3	6000	5000	1000	1000	500	150	300	200	0,358	0,896	
СПП40.40-A400-3	6000	5000	1000	1000	500	150	400	200	0,508	1,271	
СПП40.50-A400-3	6000	5000	1000	1000	500	150	500	200	0,692	1,730	

12

## 2. УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ ППС

2.1 Выбор ППС для возведения свайных фундаментов зданий и сооружений на конкретных строительных площадках должен производиться на основе технико-экономического сравнения вариантов фундаментов из различных видов свай с учетом условий производства работ и сроков строительства.

2.2 При проектировании и устройстве свайных фундаментов из ППС, кроме настоящих Рекомендаций, следует руководствоваться указаниями соответствующих разделов СП РК 5.01-102-2013\* «Основания зданий и сооружений», СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты», СП РК 5.01-104-2013 «Проектирование и производство работ по забивке железобетонных свай» и СП РК EN 1997-1:2004/2011 «Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила».

2.3 Проектирование свайных фундаментов из ППС следует выполнять на основе результатов инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий строительной площадки, а также опыта возведения свайных фундаментов в подобных грунтовых условиях.

2.11 При действии на фундамент моментных и горизонтальных нагрузок, а также внешними приложенными вертикальными нагрузкам, свай с большим сечением по верху пирамидального участка следует располагать в зоне действия эксцентриситета, а свай с меньшим сечением по верху пирамидального участка в противоположной зоне. При необходимости в зоне действия эксцентриситета допускается увеличивать количество свай или уменьшать расстояние между их осями.

Принимая проектные решения по рациональному размещению ППС в плане роствера необходимо поддерживать соответствующий растеканию.

2.12 Фундаменты из ППС устраиваются с ростверком, расположенным ниже поверхности, на поверхности и выше поверхности грунта. При устройстве монолитного ростверка оголовок арматуры верхней части свай не удаляется. Устройство монолитного ростверка рекомендуется выполнять в соответствии с приложением В настоящих рекомендаций.

## 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РОСТВЕРКА

При применении для армирования подовый ростверка арматуры из стали класса А-III необходимо производить проверку ширины нормальных трещин в соответствии с рекомендациями «Пособия по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений».

3.1 Размеры ростверка рекомендуется принимать:

- в плане подовый, ступеней - крытыми 300 мм, подколоники - крытыми 150 мм;
- по высоте плитной части, ступеней и подколоники - крытыми 150 мм;
- расстояние от края плиты ростверка до ближайшей грани свай - не менее 100 мм.

3.2 Проектный класс бетона по прочности на сжатие для ростверков свайных фундаментов рекомендуется назначать не ниже В20.

Таблица 1.2

Спецификация основных параметров ППС с предварительно напряженной продольной арматурой

Марка свай	Размеры, мм										Объем свай, м <sup>3</sup>	Масса свай, т
	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>		
СПП30.30-A400-1	3000	1000	2000	500	500	150	300	200	0,145	0,363		
СПП30.40-A400-1	3000	1000	2000	500	500	150	400	200	0,175	0,438		
СПП30.50-A400-1	3000	1000	2000	500	500	150	500	200	0,212	0,530		
СПП30.30-A400-2	3000	2000	1000	500	500	150	300	200	0,168	0,421		
СПП30.40-A400-2	3000	2000	1000	500	500	150	400	200	0,228	0,571		
СПП30.50-A400-2	3000	2000	1000	500	500	150	500	200	0,302	0,755		
СПП40.30-A400-1	4000	1000	3000	1000	500	150	300	200	0,185	0,463		
СПП40.40-A400-1	4000	1000	3000	1000	500	150	400	200	0,215	0,538		
СПП40.50-A400-1	4000	1000	3000	1000	500	150	500	200	0,252	0,630		
СПП40.30-A400-2	4000	2000	2000	1000	500	150	300	200	0,208	0,522		
СПП40.40-A400-2	4000	2000	2000	1000	500	150	400	200	0,268	0,672		
СПП40.50-A400-2	4000	2000	2000	1000	500	150	500	200	0,342	0,855		
СПП40.30-A400-3	4000	3000	1000	1000	500	150	300	200	0,232	0,580		
СПП40.40-A400-3	4000	3000	1000	1000	500	150	400	200	0,322	0,805		
СПП40.50-A400-3	4000	3000	1000	1000	500	150	500	200	0,432	1,08		

10

2.4 Объем и состав изыскательских работ для каждого объекта определяется программой, разработанной изыскательской организацией с учетом проектной организации в соответствии с требованиями СП РК 1.02-105-2014 «Изыскательские работы для строительства». Основные положения и других действующих нормативных документов, в том числе с учетом требований соответствующего раздела СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты».

2.5 ППС применяется как в несейсмических, так и в районах с сейсмичностью 7-9 баллов. В последнем случае при проектировании свайных фундаментов должны учитываться требования СП РК 2.03-10-2017\* «Строительство в сейсмических зонах» и других действующих нормативных документов по строительству зданий и сооружений в сейсмических районах. Для строительства в сейсмических районах применяются только свай с предварительно напряженным арматурным стержнем.

2.6 Проектные решения по ППС и фундаментам из них необходимо принимать на основе сравнительного проектирования. При этом в качестве сравнимых вариантов следует рассматривать традиционные примитивные и параллельные свай одинаковой длины с квадратным сечением свая с контрмерными размерами.

2.7 ППС рекомендуется применять как висячие свай в виде:

- одиночных свай под отдельно стоящие опоры (стойки);
- в составе ленточных фундаментов под стены зданий и сооружений с разноуровневыми сваями в один или два ряда;
- в составе кустовых фундаментов или группы свай под колонны, стойки, опоры, балки, мачты и др.

Использование ППС в качестве свай-стоек запрещается.

2.8 Фундамент из одиночной ППС рекомендуется применять при вертикальной статической нагрузке на сваю до 300,0 кН.

2.9 Количество ППС в фундаменте устанавливается исходя из их несущей способности и нагрузок, действующих на фундамент на уровне верха ростверка. Минимальные расстояния между осями свай в фундаменте принимаются равными:

- 3,5d при длине пирамидального участка 1 и 2 м;
- 4,0d тоже при длине - 3 и 4 м;

13

3.3 Для армирования ростверков применяется стержневая горячекатаная арматура периодического профиля класса А-III и круглая (гладкая) класса А-I.

3.4 При ставном сопряжении сборных железобетонных колонн с ростверками толщина дна ставка принимается по расчету ростверка на прогибание колонной, но не менее 250 мм. При конструктивном ставке части ростверка следует руководствоваться «Пособием по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений».

3.5 Бетон для замощивания колонн в ставке ростверка должен быть не ниже класса бетона ростверка и не ниже класса бетона колонны, уменьшенного на одну ступень.

3.6 Марка бетона ростверков по морозостойкости должна приниматься по СП 511-78 как для конструкций с возможным эпизодическим воздействием температур ниже 0°С в водонасыщенном состоянии.

3.7 Армирование подовых ростверков рекомендуется осуществлять сварными сетками по ГОСТ 23279-84.

Диаметры продольных и поперечных стержней сетки следует назначать из условия обеспечения требуемой по расчету площади сечения арматуры, а также жесткости сетки при монтаже и транспортировании.

Минимальный процент армирования плит ростверка не регламентируется.

Сварные сетки для армирования подовых ростверков рекомендуется изготавливать из арматурной стали класса А-III.

3.8 При заделке верхних концов свай в плиту ростверка на глубину 50 мм арматурные сетки плиты ростверка укладываются сверху на оголовки свай.

При явном свай в плиту ростверка на большую глубину стержни сеток, попадающие на свай, вырезаются, и сетки укладываются с защитным слоем 50 мм.

В случае необходимости по расчету явным вырезанным стержней по контуру свай укладываются дополнительные местные сетки или отдельные стержни, привязанные к основным сеткам.

3.9 Армирование стенок стакана ростверка под сборные железобетонные колонны производится продольной и поперечной арматурой.

2.10 При центральной нагрузке форму ростверков отдельных свайных фундаментов в плане рекомендуется принимать квадратной, если этому не препятствуют фундаментам соседних зданий, подземные сооружения, фундаменты под оборудование и т.п. При несимметричной нагрузке ростверки рекомендуется принимать прямоугольной формы в плане с соотношением сторон, определяемым на основе сравнений вариантов из условия размещения свай, их несущей способности, эксцентриситета нагрузок и т.п. Примеры расположения свай под ростверками показаны на рисунке 2.1.

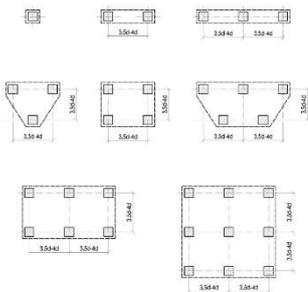


Рисунок 2.1 Схемы размещения свай в плане ростверка фундаментов зданий и сооружений

14

15

16

Повторное армирование стенок стакана следует выполнять в виде верхних плоских сеток с расположением стержней у наружных и внутренних поверхностей стенок стакана. Диаметр стержней сеток следует принимать по расчету, но не менее 8 мм и не менее 1/4 диаметра продольных стержней арматуры стенок стакана ростверка.

Расстояние между сетками следует принимать не более 1/4 глубины стакана и не более 200 мм.

В случаях, когда сечение арматуры сеток определяется расчетом, в верхней части стакана рекомендуется устанавливать 2-3 сетки с шагом 50 мм.

Минимальная площадь продольной арматуры  $A_n$  и  $A_{n1}$  в стенках стакана должна составлять не менее 0,05% расчетного сечения бетона стакана. При этом должны удовлетворяться требования по анкеровке продольной арматуры стенок стакана в нижней части ростверка.

Продольная арматура стенок стакана устанавливается по расчету и должна проходить внутри ячеек сеток поперечного армирования.

Диаметр продольных рабочих стержней стенок стакана должен быть не менее 12 мм.

3.10 Сетки косвенного поперечного армирования, необходимые по расчету на местные сжатие (сжатие) под торцами боковых железобетонных колонн, устанавливаются не менее двух, а под опорами плитками без стальных колонок - не менее четырех с расстоянием по высоте 50 - 100 мм.

3.11 Сопряжение монолитных железобетонных колонн, а также без стальных колонок с монолитными ростверками осуществляется так же, как и с монолитными фундаментами на естественном основании.

#### 4. РАСЧЕТ ПИПС И ФУНДАМЕНТОВ ИЗ НИХ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ СП РК 5.01-103-2013 «СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ»

##### Расчет ПИПС и фундаментов из них по несущей способности

4.1 ПИПС и фундаменты из них по несущей способности грунтов основания должны рассчитываться в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.4.4.1.11) с обеспечением следующего условия

$$N \leq F_u / \gamma_s, \quad (4.1)$$

где:  $N$  - расчетная нагрузка на сваю, определяемая в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.п. 4.4.1.12, 4.4.1.13);

$F_u$  - расчетная несущая способность грунта основания опойной ПИПС, именуемая «несущая способность сваи»;

$\gamma_s$  - коэффициент надежности, принимаемый в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.4.4.1.11).

4.2 Несущая способность ПИПС в условиях (4.1) в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» определяется следующим образом:

1) Расчетным способом при передаче на сваю сжимающей (давливающей) и выдергивающей вертикальных статических нагрузок;

2) Методом полевых статических испытаний при передаче на сваю сжимающей, выдергивающей и горизонтальной статических нагрузок;

3) Методом полевых динамических испытаний при передаче на сваю сжимающей статической вертикальной нагрузки.

Статические и динамические испытания ПИПС проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2012. «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» (разделы 7 и 8).

4.3 Допускается определять несущую способность ПИПС (при передаче статической вертикальной сжимающей нагрузки) путем

проведения контрольных испытаний свай методом, исползуемым принципу воиновой теории удара. Метод реализуется с соблюдением требований ГОСТ 5686-2012. «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» (п.8.4).

4.4 Несущая способность ПИПС по результатам полевых испытаний определяется в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (подраздел 4.5).

Значение частной предельной сопротивления ПИПС  $F_u$  по результатам их динамических испытаний определяется в соответствии с требованиями 4.4.5.7 СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты». При этом сопротивление  $F_u$  определяется как для эквивалентной сваи с площадью  $A$ , ограниченной наружным контуром ее сплошного поперечного сечения и устанавливаемой по формуле

$$A = V_s / L_s, \quad (4.2)$$

где:  $V_s$ ,  $L_s$  - соответственно объем, м<sup>3</sup>, и длина ПИПС, м.

##### Определение несущей способности ПИПС при действии вертикальной сжимающей нагрузки

4.5 Несущая способность ПИПС, при передаче на нее сжимающей статической вертикальной нагрузки, определяется на основе расчетных сопротивлений грунтов по боковой поверхности и под острым сваем и определяется по следующей формуле:

$$F_u = \gamma_s \cdot V_{s,R} \cdot R_A + \left( \sum \theta_{p,i} \cdot \mu_{p,i} \cdot f_{p,i} \right) + \left( \sum \theta_{b,i} \cdot \mu_{b,i} \cdot E_{p,i} \cdot K_{p,i} \cdot \zeta_i \right) + \left( \sum \theta_{d,i} \cdot \mu_{d,i} \cdot \sum (f_{p,i} \cdot \mu_{p,i}) \right), \quad (4.3)$$

где:  $\theta_{p,i}$  - толщина  $i$ -го слоя грунта в пределах глубины погружения пирамидальной части ствола сваи, принимаемая не более 1,0 м;

$\theta_{b,i}$  - расчетное сопротивление грунта каждого  $i$ -го острого свая на боковой поверхности пирамидальной части

17

ствола сваи, кПа, определяемое в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты»;

$\theta_{d,i}$  - диаметр поперечного сечения пирамидальной части ствола сваи в середине  $i$ -го острого свая;

$\mu_{p,i}$  - наклон боковых граней пирамидальной части ствола сваи (в долях единицы);

$E_{p,i}$  - модуль деформации грунта каждого  $i$ -го острого свая, значения вдоль боковой поверхности пирамидальной части ствола сваи, кПа, определяемой в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты»;

$K_{p,i}$  - коэффициент для каждого  $i$ -го острого свая грунта, залегающего вдоль боковой поверхности пирамидальной части ствола сваи, принимаемый в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты»;

$\zeta_i$  - коэффициент для каждого  $i$ -го острого свая грунта, залегающего вдоль боковой поверхности пирамидальной части ствола сваи, определяемое в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты»;

$\mu_{d,i}$  - толщина  $i$ -го слоя грунта в пределах высоты пирамидальной части ствола сваи (делится на однородные слои толщиной не более 1,0 м);

$\mu_{d,i}$  - диаметр поперечного сечения пирамидальной части ствола сваи, м;

$f_{p,i}$  - расчетное сопротивление грунта каждого  $i$ -го острого свая на боковой поверхности пирамидальной части ствола сваи, кПа, и определяемое в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты».

Наименования остальные параметры ( $\gamma_s$ ,  $\gamma_{sR}$ ,  $R$ ,  $A$ ,  $\zeta_i$ ,  $\gamma_{dR}$ , входящих в формулу (4.2) соответствуют своим значениям в СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.п. 4.4.2.2, 4.4.2.4) и их значения, принимаются в соответствии с этим документом.

4.6 Значения коэффициента  $\eta$  в формуле (4.5) следует принимать в зависимости от размеров длины и поперечного сечения верха пирамидальной участка ПИПС. Формула по определению коэффициента  $\eta$  представлена в следующем виде:

$$\eta = \frac{F_u \cdot (F_{u1} + F_{u2}) \cdot V_s}{(F_{u1} + F_{u2}) \cdot V_s} = \frac{F_u \cdot V_s \cdot R_A + (\sum \theta_{p,i} \cdot \mu_{p,i} \cdot f_{p,i}) + (\sum \theta_{b,i} \cdot \mu_{b,i} \cdot E_{p,i} \cdot K_{p,i} \cdot \zeta_i) + (\sum \theta_{d,i} \cdot \mu_{d,i} \cdot \sum (f_{p,i} \cdot \mu_{p,i})) \cdot V_s}{(F_{u1} + F_{u2}) \cdot V_s} \quad (4.5)$$

где:  $F_{u1}$  - несущая способность пирамидальной сваи с размерами сечения 20×20 см или пирамидальной сваи с размерами сечения 30×30 см, либо пирамидальной сваи с размерами сечения поперу 30×30 см и поперу 20×20 см, кН;

$F_{u2}$  - коэффициент относительной эффективности по горизонтальному перемещению сваи;

$x$  и  $y$  - параметры, принимаемые по таблице 4.9;

$F_u$  - длина пирамидального участка ПИПС.

При использовании формулы (4.8) длина пирамидальной и пирамидальной сваи принимается равной длине ПИПС. В формуле (4.8) несущая способность может быть установлена по опыту применения традиционных свай в аналогичных условиях или расчетным путем. В противном случае несущую способность ПИПС допускается устанавливать в соответствии с требованиями п.3.13.

4.13 Несущую способность свай  $F_{dR}$  в формуле (4.8) рекомендуется устанавливать по таблице 4.2.

4.14 Расчеты по условию (4.7) и по формуле (4.8) допускается выполнять и для ПИПС при горизонтальных перемещениях их головной части менее 10 мм.

При этом значения несущей способности свай  $F_{dR}$  по таблице 3.6 принимаются пропорционально уменьшению величины горизонтального перемещения их головной части.

18

$F_{u1}$  - расчетная несущая способность опытной сваи, кН, определяемая в виде  $F_{u1} = F_{u1}^* \cdot V_{s1}$ ;

$F_{u2}$  - удельная несущая способность опытной сваи, кН/м<sup>3</sup>, определяемая по результатам полевых испытаний;

$V_{s1}$  - объем погруженной части опытной сваи в грунт, м<sup>3</sup>;

$F_{u1}^*$  - расчетная несущая способность острой опытной сваи, кН;

$F_{u2}^*$  - расчетная несущая способность пирамидальной участка опытной сваи, формирующаяся за счет сил трения грунта, кН;

$F_{u2}^{*оп}$  - расчетная несущая способность широмиданого участка опытной сваи, формирующаяся за счет сил отпора грунта, кН;

Значение коэффициента  $\eta$  представляется в таблице 4.1

Таблица 4.1 Значения коэффициента  $\eta$

Показатель текучести глинистого грунта $I_L$	Значения коэффициента $\eta$ для ПИПС с длиной пирамидального участка			
	1	2	3	4
0,3	0,12	0,17	0,26	0,33
0,4	0,18	0,25	0,31	0,36
0,5	0,19	0,21	0,35	0,40
0,6	0,20	0,23	0,38	0,42
0,7	0,23	0,31	0,42	0,45

4.10 Расчеты с ПИПС и свайных кустов (группы свай) из них на действие горизонтальной нагрузки, а также расчеты свай на совместное действие вертикальной, горизонтальной и моментных

19

нагрузок выполняются в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (подраздел 4.8).

Расчеты ПИПС и свайных кустов (группы свай) из них на действие статической горизонтальной нагрузки выполняются как для эквивалентной сваи с размерами квадратного сечения  $d_s$ , устанавливаемой по формуле:

$$d_s = \sqrt{V_s / L_s}, \quad (4.6)$$

где:  $V_s$ ,  $L_s$  - то же, что и в формуле (4.2).

Расчет ПИПС на совместное действие вертикальной, горизонтальной и моментной нагрузок выполняется как для эквивалентной сваи со следующим размером квадратного поперечного сечения:

а)  $d = B$ , при действии горизонтальной и моментной нагрузок перпендикулярно наклонных граней сваи;

б)  $d = V_s / B L_s$ , при действии горизонтальной и моментной нагрузок перпендикулярно плоскости граней угретней сваи.

4.11 Расчет ПИПС на действие статической горизонтальной нагрузки при перемещении головной части сваи на 10 мм следует выполнять с обеспечением условия

$$F_{d1} \leq F_{dR}, \quad (4.7)$$

где:  $F_{d1}$  - расчетная горизонтальная нагрузка на сваю, кН;

$F_{dR}$  - несущая способность сваи при перемещении ее головной части на 10 мм под действием горизонтальной нагрузки, кН, определяемая в соответствии с рекомендациями п.3.12.

4.12 Несущая способность ПИПС  $F_{dR}$  при действии горизонтальной статической нагрузки определяется по формуле (3.9)

$$F_{dR} = F_{dR} \cdot J_d, \quad (4.8)$$

$$J_d = x + y, \quad (4.9)$$

где:  $F_{dR}$  - несущая способность ПИПС  $F_{dR}$  при действии вертикальной выдергивающей статической нагрузки определяется по формуле (4.10)

$$F_{dR} = F_{dR} \cdot J_d, \quad (4.10)$$

где:  $F_{dR}$  - несущая способность пирамидальной сваи с размерами сечения 20×20 см или пирамидальной сваи с размерами сечения 30×30 см, либо пирамидальной сваи с размерами сечения поперу 30×30 см и поперу 20×20 см, кН, устанавливаемые в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.4.4.2.5);

$J_d$  - коэффициент относительной эффективности по выдергиванию, установленный по результатам полевых испытаний свай (таблица 3.23);

$f_{dR}$  - параметры, принимаемые по таблице 3.10;

$l$  - то же, что в формуле 3.8.

Таблица 4.4 Параметры  $f_{dR}$  и  $g$  в формуле (4.11)

Вид контрольной сваи	Значения параметров	
	$f_{dR}$	$g$
Пирамидальная сваи с размерами сечения 20×20 см	0,348	0,78
Пирамидальная сваи с размерами сечения 30×30 см	0,13	0,415
Пирамидальная сваи с размерами сечения поперу 30×30 см и поперу 20×20 см	0,12	0,385

При использовании формулы (4.10) длина пирамидальной и пирамидальной сваи принимается равной длине ПИПС.

20

Таблица 4.3 Несущая способность свай  $F_{dR}$  при горизонтальном перемещении их головной части равном 10 мм

Вид грунтов, мелкозернистые и глинистые в пределах глубины залегания сваи	Глубина залегания сваи	Несущая способность, кН			
		пирамидальной сваи с размерами сечения 20 × 20 см	пирамидальной сваи с размерами сечения 30 × 30 см	пирамидальной сваи с размерами сечения поперу 30×30 см и поперу 20×20 см	
Пески средней плотности, супеси глинистые ( $I_L = 0-1,0$ ); Суглинки и глины тугоупругие ( $I_L = 0,25-0,50$ )	при залегании ниже уровня подземных вод	60	130	121	
	при залегании выше уровня подземных вод	Пески средней плотности, супеси глинистые ( $I_L = 0-1,0$ ); Суглинки и глины тугоупругие ( $I_L = 0,25-0,50$ ); Пески пылеватые, рыхлые, супеси пылеватые ( $I_L = 0-1,0$ ); Суглинки и глины мелкопластичные ( $I_L = 0,50-0,75$ ); Суглинки и глины тугоупругие ( $I_L = 0,75-1,0$ ); Примечание: $d$ - размер поперечного сечения сваи, м	6d	27,5	60
		6d	11,5	25	23
Пески средней плотности, супеси глинистые ( $I_L = 0-1,0$ ); Суглинки и глины тугоупругие ( $I_L = 0,25-0,50$ )	при залегании ниже уровня подземных вод	8d	4,5	10	
	при залегании выше уровня подземных вод	8d	4,5	9,5	

Пески средней плотности, супеси глинистые ( $I_L = 0-1,0$ ); Суглинки и глины тугоупругие ( $I_L = 0,25-0,50$ ); Пески пылеватые, рыхлые, супеси пылеватые ( $I_L = 0-1,0$ ); Суглинки и глины мелкопластичные ( $I_L = 0,50-0,75$ ); Суглинки и глины тугоупругие ( $I_L = 0,75-1,0$ ); Примечание:  $d$  - размер поперечного сечения сваи, м

при залегании ниже уровня подземных вод

при залегании выше уровня подземных вод

при залегании ниже уровня подземных вод

при залегании выше уровня подземных вод

при залегании ниже уровня подземных вод

при залегании выше уровня подземных вод

Таблица 4.4 Параметры  $f_{dR}$  и  $g$  в формуле (4.11)

Вид контрольной сваи	Значения параметров	
	$f_{dR}$	$g$
Пирамидальная сваи с размерами сечения 20×20 см	0,348	0,78
Пирамидальная сваи с размерами сечения 30×30 см	0,13	0,415
Пирамидальная сваи с размерами сечения поперу 30×30 см и поперу 20×20 см	0,12	0,385

При использовании формулы (4.10) длина пирамидальной и пирамидальной сваи принимается равной длине ПИПС.

23

24

25

Расчет ППС и фундаментов из них по деформациям

4.16 Расчет фундамента из ППС и его основания по деформации производится в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.4.4.1, 16).

4.17 Осадка фундамента из ППС как для условного фундамента на естественном основании производится в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.4.6.2, 4.6.3). При этом размеры условного фундамента назначаются следующим образом. Внешние границы фундамента ограничиваются (рис. 3.1 и 3.2):

- сверху – плоскостью, проходящей через нижние концы свай;
- с противоположных боков (рис.3.1, б) – плоскостями АВВ'А' и ГГГ'Г, отстоящими от вертикальных линий, проходящих через крайние точки упреждений крайних свай на расстоянии h\_н/тgα\_н (где α\_н – угол между наклонной линией и вертикалью, проходящей от вертикальной оси крайней свай на расстоянии B\_н/2);
- с противоположных боков (рис.3.1, в) – плоскостями АВГВ' и А'В'Г'В', отстоящими от боковых плоскостей крайних свай на расстоянии h\_н/тgα\_н (где α\_н – угол между наклонной линией и вертикалью, проходящей по плоской боковой поверхности крайней свай);
- снизу – планировочной поверхностью грунта.

3.18 Осадка фундамента из ППС с учетом выноса впадины свай в куле (в группе свай) определяется в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (п.4.6.4-4.6.9). При этом расчеты квадратного сечения свода d, устанавливаемого по формуле (3.7).

3.19 Осадка летящего свайного фундамента из ППС определяется в соответствии с требованиями СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (приложение В).

26

Для обеспечения достаточного запаса надежности расчеты производятся на основе требований СП РК EN 1997-1:2004/2011 (п.7.6.2.1) с соблюдением условия

F\_{c,d} \le R\_{c,d} (4.1)

где:

F\_{c,d} - проектная осевая вдавливающая нагрузка на сваю или группу свай, кН;

R\_{c,d} - проектная величина сопротивления грунта R, скапливо в предельном состоянии по несущей способности (исчисляемая как проектная несущая способность или проектное сопротивление).

5.4 В условии (4.1) проектная осевая вдавливающая нагрузка F\_{c,d} должна устанавливаться с учетом:

- применительно к одиночной свае: веса самой свай и ростверка (при наличии), а также общего веса грунта между упреждениями свай и веса грунта на горизонтальных участках его верхнего упреждения;
- применительно к группе свай (свайному фундаменту): веса всех свай, ростверка и грунта между сваями, а также веса грунта между упреждениями крайних свай и веса грунта на горизонтальных участках верхних упреждений крайних свай.

Проектная несущая способность R\_{c,d} в условии (4.1) должна устанавливаться с учетом нагрузки на основание от верхней части грунтовой тощи.

Представленные требования к проектной осевой вдавливающей нагрузке F\_{c,d} и проектной несущей способности R\_{c,d} можно не учитывать, если значения указанных параметров близки к нулю. Обязательный учет этих параметров необходим в следующих случаях:

- на сваю действует существенное негативное трение грунта;
- свая погружена в слабые грунты;
- головная часть свай, находится выше дневной поверхности почвы.

29

перераспределять нагрузку от «слабых» (свай с меньшей несущей способностью) к «прочным» сваям (сваям с большей несущей способностью) фундамента.

Для сооружения (здания), жесткость и прочность конструкций которого достаточны для передачи нагрузки от «слабых» к «прочным» сваям фундамента, значения поправочных коэффициентов \xi\_1 и \xi\_2 следует считать равными 1,1, если \xi\_1 не менее 1,0.

5.10 Частный коэффициент для полного сопротивления вдавливаемых свай \gamma\_s в формуле (4.2) принимается равным 1,0-1,3 в зависимости от группы сопротивления R (табл. А.6 СП РК EN 1997-1:2004/2011). Грунта сопротивления R выбирается в зависимости от принципа проектирования (п. 2.4.7.3.4 СП РК EN 1997-1:2004/2011).

При осевой адаптивной нагрузке следует использовать первый принцип проектирования, и проверку по предельному состоянию (при разрушении или чрезмерной деформации свай) проводить для сочетания 2: A2 \alpha\_1 \ge M1 \alpha\_1 \ge R\_4.

Группа А включает в себя частные коэффициенты, применяемые для воздействий и результатов воздействий, группа М – для параметров грунта, а группа R – для сопротивлений (грунта сопротивлений).

При группе сопротивлений R4 для забойной свай частный коэффициент для полного сопротивления свай \gamma\_s следует принимать 1,3.

Определение проектной несущей способности ППС по результатам динамических (ударных) испытаний

5.11. При проведении динамических испытаний энергетические параметры ударов (масса молота и высота ее сбрасывания) должны быть достаточными для придания свае боковых перемещений (отскоков) в грунт.

5.12 Динамические испытания свай, проводятся в соответствии с требованиями СП РК EN 1997-1:2004/2011 (п. 7.5.3) и ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваев» (п.8.4).

а – план фундамента; б – вид фундамента со стороны боковой плоскости АВГВ' (А'В'Г'В').

Рис. 3.2 Схема определения боковых границ условного фундамента вдоль выносовых границ ППС

5

27

5.5 Для группы свай с плоскими пирамидальными упреждениями при выполнении расчетов на основе условия (4.1) необходимо учитывать следующие два механизма их возможного разрушения:

- а) первый – разрушение от вдавливания отдельных свай в составе группы;
б) второй – разрушение от вдавливания свай и вдавливания грунта между сваями, работающих как единый блок, т.е. как единое тело.

При наличии первого механизма разрушения свайного фундамента расчеты по условию (4.1) выполняются применительно к одиночной свае фундамента, а при наличии второго механизма разрушения – применительно к одной свае большого поперечного размера (диаметра), включающего в себя все свай фундамента и грунт между ними.

5.6 Проектная несущая способность R\_{c,d} в условии (4.1) принимается наименьшей из двух значений, установленных из условий проявления двух механизмов разрушения, указанных в п. 4.5.

5.7 Механизмы разрушения свайных фундаментов, указанные в п.4.5 могут проявляться в зависимости от прочности и жесткости конструкций, объединяющих свай в группу, а также от типа сооружения или здания по жесткости.

Первый механизм разрушения может иметь место, если на группу свай с плоскими пирамидальными упреждениями опирается гибкое сооружение (здание). В этом случае предельное состояние свайного фундамента определяется сопротивлением вдавливанию самой слабой одиночной свай в фундаменте.

Второй механизм разрушения может иметь место, если на группу свай с плоскими пирамидальными упреждениями опирается жесткое сооружение (здание), обеспечивающее распределение нагрузки между сваями. В этом случае предельное состояние свайного фундамента наступает, когда одновременно разрушается большое количество свай, т.е. одновременно истощается несущая способность большинства свай в фундаменте.

Проектная несущая способность R\_{c,d} определяется по формуле 4.2. При этом характеристическая величина сопротивления грунта (аварийное характерное сопротивление грунта вдавливаемо свай) R\_{c,s} определяется как минимальное из двух значений, установленных по следующим формулам

R\_{c,s} = [(R\_{c,m})\_{min} / \xi\_1], (4.5)

R\_{c,s} = [(R\_{c,m})\_{min} / \xi\_2], (4.6)

где: \xi\_1, \xi\_2 - поправочные коэффициенты, равные 1,25-1,60 и принимаемые в зависимости от количества свай, испытанных динамической нагрузкой (таблица А.11 СП РК EN 1997-1:2004/2011).

Определение проектной несущей способности ППС с помощью динамической формулы забивки свай

5.13 Для определения несущей способности свай в качестве динамических формул рекомендуется использовать формулы, представленные в СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты» (формулы 20 и 21).

5.14 При использовании динамических формул, указанных в п.4.13, испытания свай забивкой выполняются в соответствии с требованиями СП РК EN 1997-1:2004/2011 (п.7.6.2.5) и ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваев» (раздел 7).

При этом частные значения предельного сопротивления свай, получаемые по формулам, следует принимать в качестве значений сопротивлений свай R\_{c,m}. Расчеты по формулам следует выполнять с учетом требований п. 3.4.

5.15 Проектная несущая способность свай R\_{c,d} устанавливается по формуле (4.2), а характеристическая величина сопротивления грунта (аварийное характерное сопротивление грунта вдавливаемо свай) R\_{c,s} - по формулам (4.5) и (4.6). При выполнении расчетов значения коэффициентов \xi\_1 и \xi\_2 в формулах

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ППС И ФУНДАМЕНТОВ ИЗ НИХ ПО ТРЕБОВАНИЯМ СП РК EN 1997-1:2004/2011

5.1 Проектирование ППС и фундаментов из них выполняется в соответствии с требованиями СП РК EN 1997-1:2004/2011 (раздел 7). Процесс проектирования свай и свайных фундаментов (группы свай) должен основываться на применении одного из следующих методов проектирования (п.7.4.1):

- 1) Метода использования результатов испытаний статической нагрузкой, достоверность которых подтверждена приемлемыми способами (в том числе и расчетными способами) и эти результаты сопоставимы с известными опытными данными;
2) Метода использования эмпирических и аналитических решений (расчетных формул, программ расчета), достоверность которых подтверждена результатами испытаний статической нагрузкой в аналогичных или схожих условиях;
3) Метода использования результатов испытаний динамической нагрузкой, достоверность которых подтверждена результатами испытаний статической нагрузкой в аналогичных или схожих условиях;
4) Метода использования результатов наблюдений за поведением аналогичной свай и (или) свайного фундамента, которые подтверждаются результатами инженерно-геологических изысканий и испытаний грунтов основания.

5.2 При проектировании ППС и фундаментов из них на основе метода использования эмпирических и аналитических решений, указанного в п.4.1, допускается для оценки несущей способности ППС применять расчетные способы, представленные в п.3.6, 3.8, 3.12 и 3.15.

Проектирование ППС и фундаментов из них при действии статической вдавливающей нагрузки

5.3 Расчет свай и группы ППС на вдавливание (действие вертикальной вдавливающей нагрузки) производится на основе требований СП РК EN 1997-1:2004/2011 (подраздел 7.6.2).

28

Определение проектной несущей способности ППС по результатам статических испытаний

5.8 Проектная несущая способность R\_{c,d} в условии (4.1) определяется по формуле (п.7.6.2.2 СП РК EN 1997-1:2004/2011)

R\_{c,d} = R\_{c,s} / \gamma\_s, (4.2)

где:

R\_{c,s} - характеристическая величина сопротивления грунта R, скапливо в предельном состоянии по несущей способности, кН, устанавливаемая в соответствии с требованиями п. 4.9;

\gamma\_s - частный коэффициент для полного сопротивления вдавливаемых свай, устанавливаемый в соответствии с требованиями п.4.10.

5.9 Характеристическая величина сопротивления грунта (аварийное характерное сопротивление грунта вдавливаемо свай) R\_{c,s} в формуле (4.2) определяется как минимальное из двух значений, установленных по следующим формулам

R\_{c,s} = [(R\_{c,m})\_{min} / \xi\_1], (4.3)

R\_{c,s} = [(R\_{c,m})\_{min} / \xi\_2], (4.4)

где:

(R\_{c,m})\_{min} - минимальное значение сопротивления R\_{c,m} (по результатам испытаний свай), кН;

(R\_{c,m})\_{min} - среднее значение сопротивления R\_{c,m} (по результатам испытаний свай), кН;

\xi\_1, \xi\_2 - поправочные коэффициенты, равные 1,0-1,4 и принимаемые в зависимости от количества свай, испытанных статической нагрузкой (таблица А.9 СП РК EN 1997-1:2004/2011).

Значения коэффициентов \xi\_1 и \xi\_2, указанные в таблице А.9 СП РК EN 1997-1:2004/2011 принимаются для сооружения (здания), жесткость и прочность конструкций которого не позволяет

31

(4.5) и (4.6) следует умножать на модельные коэффициенты 1,10 и 1,20 соответственно при использовании формул 21 и 20 СП РК 5.01-103-2013 «Свайные фундаменты».

Проектирование ППС и фундаментов из них при действии выдергивающей нагрузки

5.16 Расчет свай с плоскими пирамидальными упреждениями и фундаментов из них (группы свай) на выдергивание (действие вертикальной выдергивающей статической нагрузки) производится на основе требований СП РК EN 1997-1:2004/2011 (подраздел 7.6.3).

Для обеспечения восприятия проектной выдергивающей нагрузки сваями и фундаментами из них с необходимым запасом прочности расчеты производятся на основе требований СП РК EN 1997-1:2004/2011 (п.7.6.3.1) с соблюдением условия

F\_{c,d} \le R\_{c,d}, (4.7)

где:

F\_{c,d} - проектная осевая выдергивающая нагрузка на сваю или группу свай, кН;

R\_{c,d} - проектная величина сопротивления выдергиванию свай или группы свай (исчисляемое как проектное сопротивление выдергиванию), кН.

5.17 Для свай, воспринимающих выдергивающую нагрузку применяются два механизма их возможного разрушения:

- первый механизм – выдергивание свай из грунта;
- второй механизм – подъем грунтового блока, в составе которого размещены свай (подъем свайного фундамента и грунта, залегающего между сваями и поверху ростверка).

5.18 Сопротивление выдергиванию свайного фундамента как грунтового блока происходит в случаях, когда выполняется условие

l\_s \le \sqrt{B \cdot h\_s}, (4.8)

32

33

34

где:  $l_s$  - расстояние между сваями в фундаменте, м;  $R_s$  - размер поперечного сечения сваи, м;  $R_{s, \text{уст}}$  - устанавливаемой по формуле (3.7), м;  $h_s$  - глубина залегания нижней части сваи в основной несущий слой (в слой грунта под острым свай).

Проверка условий разрушения при выдавливании (подъеме) грунтового блока (со сваями) выполняется в соответствии с требованиями СП РК EN 1997-1:2004/2011 (п.2.4.7.4) как для подвиги грунта.

5.19 Проектное сопротивление  $R_{s,d}$  свай выдерживанию по результатам испытаний устанавливается по формуле

$$R_{s,d} = R_{s,k} / \gamma_{s,r} \quad (4.9)$$

где:

$R_{s,k}$  - характеристическая величина сопротивления  $R_s$  выдерживанию свай или группы свай, кН, устанавливаемая в соответствии с требованиями п.4.20;

$\gamma_{s,r}$  - частный коэффициент для сопротивления по боковой поверхности выдерживаемых свай, устанавливаемый в соответствии с требованиями п.4.21.

5.20 Характеристическая величина сопротивления выдерживанию  $R_{s,k}$  определяется как минимальное из двух значений, установленных по формулам

$$R_{s,k} = [(R_{s, \text{ном}}) / \xi_s] \quad (4.10)$$

$$R_{s,k} = [(R_{s, \text{ном}}) / \xi_s'] \quad (4.11)$$

где:  $\xi_s, \xi_s'$  - поправочные коэффициенты, равные 1,0-1,4 и принимаемые в зависимости от количества свай, испытанных статической выдерживающей нагрузкой (таблица А9 СП РК EN 1997-1:2004/2011)

5.21 Частный коэффициент для сопротивления по боковой поверхности выдерживаемых свай  $\gamma_{s,r}$  в формуле (4.9) принимается равным 1,25-1,60 (таблица А.6 СП РК EN 1997-1:2004/2011) в

зависимости от группы сопротивления  $R_s$ . Группы сопротивления  $R_s$  выбираются в зависимости от принципа проектирования (п. 2.4.7.3.4 СП РК EN 1997-1:2004/2011).

При осевой выдерживающей нагрузке следует использовать первый принцип проектирования, и проверку по предельному состоянию (при разрушении или чрезмерной деформации свай) проводить для сочетания частных коэффициентов А2 «1» М1 «>» R4.

При группе сопротивления R4 для забивной сваи частный коэффициент для полного сопротивления выдерживаемых свай  $\gamma_{s,r}$  следует принимать 1,6.

#### Проверка ППС и фундаментов из них по функциональным (эксплуатационным) требованиям

5.22 Проверка свай и фундаментов по предельным состояниям функциональности производится в соответствии с требованиями СП РК EN 1997-1:2004/2011 (п.7.6.4).

Вертикальные перемещения свай и свайных фундаментов должны соответствовать условию (4.12) и ограничениям, установленным для этих перемещений (п.2.4.8 и 2.4.9 СП РК EN 1997-1:2004/2011).

Проверка вертикальных перемещений свай и свайных фундаментов по предельным состояниям функциональности производится по условию

$$E_d \leq C_d \quad (4.12)$$

где:  $E_d$  - проектная величина результата воздействия (осадка, неравномерная осадка свай и свайных фундаментов, прогиб, относительный прогиб сооружения или здания), устанавливаемая в соответствии с требованиями п.4.23;  $C_d$  - предельная проектная величина для результата воздействия (предельное допустимое значение осадки и неравномерной осадки свай и свайных фундаментов, прогиб и относительный прогиб сооружения или здания), устанавливаемая в соответствии с требованиями п.4.24.

5.23 Проектную величину  $E_d$  в условии (4.12) следует устанавливать как отношение ее характеристической величины к частному коэффициенту  $\xi$ , принимаемому равным 1,0. Характеристические величины вертикальных перемещений свай и свайных фундаментов устанавливаются на основе испытаний, применения эмпирических методов или расчетных способов.

Характеристические величины осадок свай с плоскими пирамидальными уширениями и фундаментов из них рекомендуется определять на основе требований п.3.17-3.19.

5.24 Ограничения по вертикальным перемещениям свай и свайных фундаментов устанавливаются с учетом требований, указанных в п.2.4.9 СП РК EN 1997-1:2004/2011.

Предельную проектную величину для результата воздействия  $C_d$  в условии (4.12) в выше предельно допустимого значения вертикального перемещения сооружения (здания) на свае или свайных фундаментах допускается принимать в соответствии с требованиями СП РК EN 1997-1:2004/2011 (приложение Н), а также в соответствии с требованиями СП РК 5.01-102-2013\* «Основания зданий и сооружений» (подраздел 4.9).

#### Проектирование ППС и фундаментов из них при действии горизонтальной нагрузки

5.25 Расчет ППС и фундаментов из них (группы свай) на действие горизонтальной статической нагрузки производится на основе требований СП РК EN 1997-1:2004/2011 (подраздел 7.7).

Для обеспечения выполнения проектной горизонтальной нагрузки сваи и фундаментами из них с необходимым запасом прочности расчеты проводятся на основе требований СП РК EN 1997-1:2004/2011 (п.7.7.1) с соблюдением условия

$$F_{s,d} \leq R_{s,d} \quad (4.13)$$

где:  $F_{s,d}$  - проектная величина поперечной нагрузки на сваю или на свайный фундамент, кН;  $R_{s,d}$  - проектное сопротивление сваи или

свайного фундамента поперечной нагрузке, кН, устанавливаемое в соответствии с требованиями п.4.27.

5.26 Для свай, воспринимающих горизонтальную нагрузку, принимаются два механизма их возможного разрушения:

- первый механизм (для коротких свай) - поворот или поступательное перемещение сваи как жесткого тела;
- второй механизм (для длинных гибких свай) - разрушение сваи при изгибе с образованием локальных шарниров и перемещением грунта в верхней части сваи.

5.27 Проектное сопротивление сваи и свайного фундамента поперечной нагрузке  $R_{s,d}$  определяется на основе результатов испытаний и расчетным способом.

Сопротивление сваи поперечной нагрузке по данным испытаний и расчетным способом, определяется с учетом требований соответственно п.7.7.2 и 7.7.3 СП РК EN 1997-1:2004/2011.

#### 6. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ЗАБИВКЕ ППС

6.1 Работы по устройству свайных фундаментов из забивных ППС должны выполняться в соответствии с требованиями СП РК 5.01-102-2013\* «Основания зданий и сооружений», СП РК 5.01-104-2013 «Проектирование и производство работ по забивке железобетонных свай» и СП РК 5.01-101-2013 «Земляные сооружения, основания и фундаменты», а также с учетом требований настоящего раздела Рекомендаций.

6.2 Получение в грунт ППС производится любыми типами специальных агрегатов, пригодных для забивки обычных железобетонных свай.

6.3 Выбор молота для забивки свай следует производить в соответствии с требованиями СП РК 5.01-101-2013 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» (приложение Д). При этом подбор молота рекомендуется выполнять как для призматической сваи с размерами сечения равными размерам сечения призматической части ППС.

6.4 Забивка ППС должна осуществляться более мощными молотами, чем при забивке призматических свай той же длины (при равенстве размеров их призматических частей). При этом энергия удара молота, установленная в соответствии с требованиями п.5.3 должна быть увеличена:

- в 1,35 раза для ППС с длиной призматического участка 1 м;
- в 1,50 раза для ППС с длиной призматического участка 2 м;
- в 1,60 раза для ППС с длиной призматического участка 3 м;
- в 1,70 раза для ППС с длиной призматического участка 4 м.

6.5 Забивка свай включает в себя выполнение следующих операций: подвигание сваи, подъем сваи на копер, установку сваи в проектное положение, забивку сваи.

6.6 Погрузка и разгрузка свай при транспортировке должна производиться за две петли. При подъеме сваи на копер должны соблюдаться следующие требования:

- подкашивание свай к копру волоком допускается на расстоянии не более 6 м;
- стропка свай длиной 5 и 6 метров при подкашивании и подъеме на копер осуществляется в верхнее уширение;
- подкашивание и подъем сваи на копер через петлю запрещается.

6.7 Забивка свай производится до ирригированных отметок с обеспечением заглубления верхнего уширения в грунт. Допускается производить забивку свай до проектного отказа, при условии, что верхнее уширение свай будет заглублено в грунт или же ее горизонтальная плоскость будет находиться на уровне поверхности грунта цоколя.

6.8 В зимних условиях забивку свай с плоскими пирамидальными уширениями ствола следует производить с предварительным оттаиванием мерзлого грунта на всю глубину промерзания. Разрешается слой мерзлого грунта предварительно пропускать методом бурения. Диаметр скважины при этом должен быть на 100 мм меньше ширины боковой грани уширения сваи.

6.9 Строительная площадка, расположенная вблизи гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений, должна быть спланирована и ограждена забором высотой не ниже 2 м.

6.10 Освещение площадки (рабочих мест для ведения свайных работ) должно быть равномерным, и обеспечивать достаточную видимость для рабочего персонала.

6.11 При движении копра по строительной площадке ударная часть молота должна находиться в нижнем положении. Перемещение копра с соединительной свай запрещается.

6.12 Смазка и ремонт копра или молота во время их работы запрещаются.

6.13 Запрещается выдергивать и извлекать с помощью копра поврежденные или отклонившиеся от проектного положения сваи. Рабочему персоналу запрещается работать без каски и спецодежды.

6.14 Перед подъемом на копер сваю захватывают канатной петлей. Установленную к мате сваю вытаскивают в вертикальную плоскость с помощью ключа с рукояткой длиной не менее 1,5 м.

6.15 Работы по устройству свайных фундаментов из ППС должны производиться в соответствии с требованиями СП РК 1.03-106-2012\* «Охрана труда и техника безопасности в строительстве».

6.16 Перед началом свайных работ лицом ответственным за производство работ изучаются акты приема работ по строительной площадке, а также визуально проверяется соответствие строительной площадки (подъездных путей, котлована, электроснабжения, расположения подземных коммуникаций, линий электропередач и др.) проекту производства работ.

6.17 Строительная площадка, расположенная вблизи гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений, должна быть спланирована и ограждена забором высотой не ниже 2 м.

6.18 Освещение площадки (рабочих мест для ведения свайных работ) должно быть равномерным, и обеспечивать достаточную видимость для рабочего персонала.

6.19 При движении копра по строительной площадке ударная часть молота должна находиться в нижнем положении. Перемещение копра с соединительной свай запрещается.

6.20 Смазка и ремонт копра или молота во время их работы запрещаются.

6.21 Запрещается выдергивать и извлекать с помощью копра поврежденные или отклонившиеся от проектного положения сваи. Рабочему персоналу запрещается работать без каски и спецодежды.

6.22 Перед подъемом на копер сваю захватывают канатной петлей. Установленную к мате сваю вытаскивают в вертикальную плоскость с помощью ключа с рукояткой длиной не менее 1,5 м.

#### 7. ТРЕБОВАНИЯ К БЕТОНУ И АРМИРОВАНИЮ ППС

7.1 ППС изготовляется из полнотелых железобетонными с обычной или предварительно напряженной арматурой с применением щебня класса В15:

- по прочности на сжатие не ниже класса В15 при обычном продольном армировании свай и не ниже класса В25 при предварительно напряженном продольном армировании;
- по морозостойкости не ниже класса F100 для бетона класса В15 и не ниже класса F200 - для бетона класса В25.

7.2 ППС с обычной и напряженной арматурой армируются 4 продольными стержнями, связанными в каркас с помощью хомутов с шагом 100 мм. Прямизначескую часть свай допускается армировать с шагом 200 мм. Головная часть свай должна быть армирована поперечными стержнями. Продольные арматурные стержни в нижней части свай связываются спирально.

7.3 Спецификация арматуры на сваи с обычной и напряженной арматурой приведены в таблицах А1, А2, А1 и Б2 Приложений А и Б настоящих Рекомендаций. Выбор арматурной стали на ППС приведен в таблицах А3 и Б3 Приложений А и Б настоящих Рекомендаций. Показатели расхода материалов на одну ППС приведены в таблицах А4 и Б4 Приложений А и Б настоящих Рекомендаций.

#### 8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРИЕМКА ППС

8.1 Изготовление ППС должно осуществляться на предприятиях (заводах, цехах, участках) железобетонных изделий в металлической инвентарной опалубке, предусмотренной рабочими чертежами.

8.2 Изготовление свай осуществляется с применением требований ГОСТ 13015-2012 «Пескиа бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приема, маркировки, транспортирования и хранения».

8.3 Материалы, применяемые для изготовления бетона свай, должны обеспечивать получение бетона класса, указанного в п.6.1 и предусмотренных рабочими чертежами свай. Крупный заполнитель

9.9 При обнаружении признаков повреждения или разрушения забиваемой сваи, следует немедленно останавливать работу свайной установки.

9.10 На выполнение опасных работ (забивка свай, срубки голов свай и т.п.) рабочей бригаде выдается специальный наряд-допуск.

9.11 Одновременная срубка голов соседних свай запрещается. При срубке забивных в грунт свай необходимо предусмотреть меры, исключающие внезапное падение их срубамой части.

#### 10. УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЮ ППС ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

10.1 Испытание ППС вертикальной статической нагрузкой следует проводить на стадии инвентаризации. Количество испытаний должно составлять 1% от общего числа свай для здания или сооружений, но не менее двух.

10.2 Испытаниями свайных фундаментов из ППС статической нагрузкой определяется несущая способность свай соответствующая нормативной нагрузке на сваю.

10.3 Опытный фундамент устраивается одноосновным;

10.4 Испытание опытного фундамента вдавливающей статической нагрузкой можно производить с использованием измерительных приборов, либо с помощью гидравлического домкрата, передающего реактивные усилия на анкеры сваи или анкеры установки к грунту;

10.5 Порядок загрузки, требования к измерительным приборам, устройству реверсивной системы, время выдержки нагрузок, условия загрузки осадки, установка приборов, построение графиков испытаний и определение нагрузки, по которой должны быть доведены испытания, принимаются в соответствии с указаниями ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний свай;

10.6 При испытаниях ППС вдавливающей статической нагрузкой следует проводить измерения перемещений сваи, а также величин нагрузки, передаваемых на сваю.

Примечание:

бетона сваи должен быть размером не более 40 мм. Применение гравия в качестве заполнителя бетона свай запрещается.

8.4 Качество бетона (калеса) должно контролироваться специальной аккредитованной строительной лабораторией путем отбора контрольных образцов (кубиков) с последующими испытаниями их в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 «Бетон». Методы определения прочности по контрольным образцам и ГОСТ 10060-2012 «Бетон». Методы определения морозостойкости». Фактический класс бетона должен указываться в паспорте на каждую сваю (на партию свай). Фактическая прочность бетона в момент отгрузки свай с предприятия-изготовителя должна быть не ниже величины, указанной в рабочих чертежах.

8.5 Армирование ППС должно выполняться в соответствии с рабочими чертежами. Предварительные напряжения в напрягаемой арматуре должно приниматься:

- при механическом способе натяжения  $\sigma_{pr} = 0,95R_{s, \text{пр}}$  (где:  $R_{s, \text{пр}}$  - расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельных состояний второй группы, МПа);
- при электромеханическом способе натяжения  $\sigma_{pr} = R_{s, \text{пр}} - 30 + 360 / l$  (где:  $l$  - длина натягиваемого стержня, м).

Отпуск натяжения арматуры должен производиться равномерно, с постепенным повышением силы обжатия бетона после достижения им прочности, составляющей 70% от проектной прочности бетона на сжатие. После отпуска натяжения копы напрягаемой арматуры следует создать заодно с бетоном на верхнем и в нижнем торцах свай.

8.6 Количество и качество арматуры в свае должно быть подтверждено актом на скрытые работы с указанием в них результатов испытаний арматуры.

8.7 Готовые сваи должны быть приняты службой технического контроля предприятия-изготовителя, которая обязана гарантировать качество изготовленных свай.

8.8 Для проверки качества свай при их приеме из каждой партии следует отбирать 5% свай, но не менее 2 штуки. По отобранным сваям определяется соответствие фактических размеров, толщине защитного слоя и других параметров свай,

требованиям, установленным в их рабочих чертежах. При несоответствии хотя бы одного параметра свай, предъявляемым требованиям, производится повторная проверка данного параметра на удвоенном количестве свай. Если же при повторной проверке выявляются недопустимые отклонения, то проверка производится все сваи данной партии поштучно.

#### 9. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАЙНЫХ РАБОТ

9.1 Работы по устройству свайных фундаментов из ППС должны производиться в соответствии с требованиями СП РК 1.03-106-2012\* «Охрана труда и техника безопасности в строительстве».

9.2 Перед началом свайных работ лицом ответственным за производство работ изучаются акты приема работ по строительной площадке, а также визуально проверяется соответствие строительной площадки (подъездных путей, котлована, электроснабжения, расположения подземных коммуникаций, линий электропередач и др.) проекту производства работ.

9.3 Строительная площадка, расположенная вблизи гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений, должна быть спланирована и ограждена забором высотой не ниже 2 м.

9.4 Освещение площадки (рабочих мест для ведения свайных работ) должно быть равномерным, и обеспечивать достаточную видимость для рабочего персонала.

9.5 При движении копра по строительной площадке ударная часть молота должна находиться в нижнем положении. Перемещение копра с соединительной свай запрещается.

9.6 Смазка и ремонт копра или молота во время их работы запрещаются.

9.7 Запрещается выдергивать и извлекать с помощью копра поврежденные или отклонившиеся от проектного положения сваи. Рабочему персоналу запрещается работать без каски и спецодежды.

9.8 Перед подъемом на копер сваю захватывают канатной петлей. Установленную к мате сваю вытаскивают в вертикальную плоскость с помощью ключа с рукояткой длиной не менее 1,5 м.

1. При измерении перемещений свай необходимо обеспечить изоляцию элементов соединяющих свай с измерительными приборами.
  2. Измерение нагрузки передаваемой на сваю может производиться с помощью датчиков-динамометров, устанавливаемых на оголовок свай или монтированных в них. Конструкция датчиков их размещение и схема измерений должны быть предусмотрены проектом испытания.
  3. Если при испытании нет возможности произвести измерения величины нагрузки передаваемой на сваю необходимо выводить испытывающего оголовка сваи, которая или входит в состав опытного фундамента или забита в непосредственной близости от него. Свая входящая в опытный фундамент должна быть испытана не ранее чем через 6 суток после испытания опытного фундамента.
- 10.7 На основании полученных результатов испытания опытных фундаментов адекватной нагрузкой строится график зависимости осадки свай от нагрузки передаваемой на сваю.

### 11. ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, НА КОТОРЫЕ ДАНЫ ССЫЛКИ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ

ГОСТ 5686-2012	Грунты. Методы полевых испытаний сваев.
ГОСТ 10060-2012	Бетоны. Метод определения морозостойкости.
ГОСТ 10180-2012	Бетоны. Метод определения прочности по контрольным образцам.
ГОСТ 13015-2012	Пленица бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
ГОСТ 7348-81*	Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций.
ГОСТ 23279-2012	Сетка арматурная сварная для железобетонных конструкций и изделий. Общие технические условия.
ГОСТ 34028-2016	Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия.
СП РК 1.02-105-2014	Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
СП РК 1.03-106-2012*	Охрана труда и техника безопасности в строительстве.
СП РК 2.03-30-2017*	Строительство в сейсмических зонах.
СП РК 5.01-101-2013	Земляные сооружения, основания и фундаменты.
СП РК 5.01-102-2013*	Основания зданий и сооружений.
СП РК 5.01-103-2013	Свайные фундаменты.
СП РК 5.01-104-2013	Проектирование и производство работ по забивке железобетонных свай.
СП РК EN 1997-1:2004/2011	Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила.

Приложение А

### Конструкция, узлы, таблицы спецификации, выборка арматурной стали и показатели расхода материалов на ППС с ненапрягаемой арматурой

44

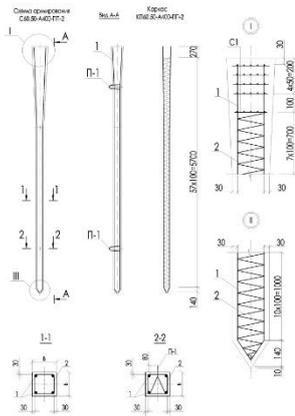


Рис. А1. Конструкция и узлы ППС с ненапрягаемой арматурой

47

1	2	3	4	5	6
<b>КП160.40 А400 ПП-3</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5100	4	3,15	12,60
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=60500	1	9,32	9,32
<b>КП160.50 А400 ПП-3</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5100	4	3,15	12,60
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=61000	1	9,39	9,39
<b>КП160.30 А400 ПП-4</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5150	4	3,17	12,71
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=60500	1	9,32	9,32
<b>КП160.40 А400 ПП-4</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5150	4	3,17	12,71
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=61000	1	9,39	9,39
<b>КП160.50 А400 ПП-4</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5150	4	3,17	12,71
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=61500	1	9,47	9,47
<b>КП160.30 А400 ПП-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6000	4	3,70	14,81
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=69800	1	10,75	10,75
<b>КП160.40 А400 ПП-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6000	4	3,70	14,81
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=70300	1	10,83	10,83
<b>КП160.50 А400 ПП-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6000	4	3,70	14,81
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=70800	1	10,90	10,90
<b>КП160.30 А400 ПП-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6050	4	3,73	14,92
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=70300	1	10,83	10,83
<b>КП160.40 А400 ПП-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6050	4	3,73	14,92
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=71300	1	10,98	10,98
<b>КП160.30 А400 ПП-3</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6100	4	3,76	15,04
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=70800	1	10,90	10,90

50

45

Таблица А1

### Спецификация к элементам каркаса ППС с ненапрягаемой арматурой

№п/п	Обозначение	Наименование	Кол-во	Масса ед. ед.	Примеч.
1	2	3	4	5	6
<b>КП160.30 А400 ПП-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=3000	4	1,851	7,404
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=34000	1	5,236	5,236
<b>КП160.40 А400 ПП-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=3000	4	1,851	7,404
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=34500	1	5,313	5,313
<b>КП160.50 А400 ПП-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=3000	4	1,851	7,404
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=35000	1	5,39	5,39
<b>КП160.30 А400 ПП-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=3050	4	1,88	7,53
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=35500	1	5,50	5,50
<b>КП160.40 А400 ПП-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=3050	4	1,88	7,53
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=36250	1	5,62	5,62
<b>КП160.50 А400 ПП-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=3050	4	1,88	7,53
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=36750	1	5,67	5,67
<b>КП160.30 А400 ПП-3</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4000	4	2,47	9,87
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=48300	1	7,44	7,44
<b>КП160.40 А400 ПП-3</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4000	4	2,47	9,87
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=48900	1	7,53	7,53
<b>КП160.50 А400 ПП-3</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4000	4	2,47	9,87
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=49500	1	7,62	7,62
<b>КП160.30 А400 ПП-4</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4050	4	2,50	10,0
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=48900	1	7,515	7,515

48

46

1	2	3	4	5	6
<b>КП160.40 А400 ПП-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4050	4	2,50	10,0
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=49400	1	7,61	7,61
<b>КП160.50 А400 ПП-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4050	4	2,50	10,0
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=50000	1	7,70	7,70
<b>КП160.30 А400 ПП-5</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4100	4	2,53	10,12
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=49500	1	7,59	7,59
<b>КП160.40 А400 ПП-5</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4100	4	2,53	10,12
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=50000	1	7,68	7,68
<b>КП160.50 А400 ПП-5</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=4100	4	2,53	10,12
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=50500	1	7,77	7,77
<b>КП160.30 А400 ПП-6</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5000	4	3,085	12,34
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=59000	1	9,086	9,086
<b>КП160.40 А400 ПП-6</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5000	4	3,085	12,34
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=59500	1	9,163	9,163
<b>КП160.50 А400 ПП-6</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5000	4	3,085	12,34
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=60000	1	9,24	9,24
<b>КП160.30 А400 ПП-7</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5000	4	3,085	12,34
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=60500	1	9,32	9,32
<b>КП160.40 А400 ПП-7</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5000	4	3,11	12,44
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=61000	1	9,163	9,163
<b>КП160.50 А400 ПП-7</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=5000	4	3,11	12,44
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=61500	1	9,24	9,24
<b>КП160.30 А400 ПП-8</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6000	4	3,11	12,44
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=69500	1	9,32	9,32
<b>КП160.40 А400 ПП-8</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	10-A400, l=6000	4	3,15	12,60
2	ГОСТ 6727-80*	5Вр-1, l=69000	1	9,24	9,24

49

Таблица А3

### Ведомость расхода стали ППС

Марка элемента (свай)	Арматура элемента										Итого, кг
	5Вр-1		ГОСТ 34028-2016		10-A400		ГОСТ 34028-2016		ГОСТ 34028-2016		
	кол.	длина	кол.	длина	кол.	длина	кол.	длина	кол.	длина	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>С30.30 А400-ПП-1</b>	5,41	5,41	5,2	5,2	0,52	0,52	7,4	7,4	18,56		
<b>С30.40 А400-ПП-1</b>	5,41	5,41	5,3	5,3	0,52	0,52	7,4	7,4	18,64		
<b>С30.50 А400-ПП-1</b>	5,41	5,41	5,6	5,6	0,52	0,52	7,4	7,4	18,72		
<b>С30.30 А400-ПП-2</b>	5,41	5,41	5,5	5,5	0,52	0,52	7,4	7,4	18,83		
<b>С30.40 А400-ПП-2</b>	5,41	5,41	5,6	5,6	0,52	0,52	7,4	7,4	18,95		
<b>С30.50 А400-ПП-2</b>	5,41	5,41	5,6	5,6	0,52	0,52	7,4	7,4	19,0		
<b>С40.30 А400-ПП-1</b>	5,41	5,41	7,4	7,4	0,52	0,52	9,9	9,9	23,24		
<b>С40.40 А400-ПП-1</b>	5,41	5,41	7,5	7,5	0,52	0,52	9,9	9,9	23,35		
<b>С40.50 А400-ПП-1</b>	5,41	5,41	7,6	7,6	0,52	0,52	9,9	9,9	23,42		
<b>С40.30 А400-ПП-2</b>	5,41	5,41	7,5	7,5	0,52	0,52	10	10	23,44		
<b>С40.40 А400-ПП-2</b>	5,41	5,41	7,6	7,6	0,52	0,52	10	10	23,54		
<b>С40.50 А400-ПП-2</b>	5,41	5,41	7,7	7,7	0,52	0,52	10	10	23,63		
<b>С40.30 А400-ПП-3</b>	5,41	5,41	7,6	7,6	0,52	0,52	10,1	10,1	23,64		
<b>С40.40 А400-ПП-3</b>	5,41	5,41	7,7	7,7	0,52	0,52	10,1	10,1	23,73		
<b>С40.50 А400-ПП-3</b>	5,41	5,41	7,7	7,7	0,52	0,52	10,1	10,1	23,82		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C50.30.A400-III-1	5,41	5,41	9,1	9,1	0,52	0,52	12,3	12,3	27,35
C50.40.A400-III-1	5,41	5,41	9,1	9,1	0,52	0,52	12,3	12,3	27,45
C50.50.A400-III-1	5,41	5,41	9,2	9,2	0,52	0,52	12,3	12,3	27,51
C50.30.A400-III-2	5,41	5,41	9,1	9,1	0,52	0,52	12,4	12,4	27,53
C50.40.A400-III-2	5,41	5,41	9,2	9,2	0,52	0,52	12,4	12,4	27,61
C50.50.A400-III-2	5,41	5,41	9,3	9,3	0,52	0,52	12,4	12,4	27,69
C50.30.A400-III-3	5,41	5,41	9,2	9,2	0,52	0,52	12,6	12,6	27,77
C50.40.A400-III-3	5,41	5,41	9,3	9,3	0,52	0,52	12,6	12,6	27,85
C50.50.A400-III-3	5,41	5,41	9,3	9,3	0,52	0,52	12,6	12,6	27,92
C50.40.A400-III-4	5,41	5,41	9,3	9,3	0,52	0,52	12,7	12,7	28,03
C50.50.A400-III-4	5,41	5,41	9,4	9,4	0,52	0,52	12,7	12,7	28,11
C60.30.A400-III-1	5,41	5,41	10,7	10,7	0,52	0,52	14,8	14,8	31,48
C60.40.A400-III-1	5,41	5,41	10,8	10,8	0,52	0,52	14,8	14,8	31,56
C60.50.A400-III-1	5,41	5,41	10,9	10,9	0,52	0,52	14,8	14,8	31,63
C60.40.A400-III-2	5,41	5,41	10,8	10,8	0,52	0,52	14,9	14,9	31,68
C60.50.A400-III-2	5,41	5,41	10,9	10,9	0,52	0,52	14,9	14,9	31,75
C60.30.A400-III-3	5,41	5,41	11	11	0,52	0,52	15,0	15,0	31,87

53

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C60.40.A400-III-3	5,41	5,41	11	11	0,52	0,52	15,0	15,0	31,93
C60.50.A400-III-3	5,41	5,41	11	11	0,52	0,52	15,0	15,0	32,02
C60.30.A400-III-4	5,41	5,41	11	11	0,52	0,52	15,1	15,1	32,07
C60.40.A400-III-4	5,41	5,41	11	11	0,52	0,52	15,1	15,1	32,14
C60.50.A400-III-4	5,41	5,41	11	11	0,52	0,52	15,1	15,1	32,22
C60.30.A400-III-5	5,41	5,41	11	11	0,52	0,52	15,3	15,3	32,26
C60.40.A400-III-5	5,41	5,41	11,1	11,1	0,52	0,52	15,3	15,3	32,34
C60.50.A400-III-5	5,41	5,41	11,2	11,2	0,52	0,52	15,3	15,3	32,42

Таблица А4

Марка элемента (тип)	Показатели на одну ППС									
	Размеры, мм					Объем бетона, м <sup>3</sup>	Удельный расход арматуры, кг/м <sup>3</sup>	Масса ст. 1	Класс бетона по прочности на сжатие	
	l	B	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	h					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
C30.30.A400-III-1	3000	300	200	200	0,145	128,0	0,363	B15		
C30.40.A400-III-1	3000	400	200	200	0,175	106,5	0,438	B15		
C30.50.A400-III-1	3000	500	200	200	0,212	88,30	0,530	B15		
C30.30.A400-III-2	3000	300	200	169	0,169	111,4	0,421	B15		
C30.40.A400-III-2	3000	400	200	229	0,229	82,75	0,571	B15		
C30.50.A400-III-2	3000	500	200	302	0,302	62,91	0,753	B15		
C40.30.A400-III-1	4000	300	200	200	0,183	125,62	0,463	B15		
C40.40.A400-III-1	4000	400	200	200	0,215	108,51	0,538	B15		

54

1	2	3	4	5	6	7	8
C40.50.A400-III-1	4000	500	200	0,252	92,94	0,630	B15
C40.30.A400-III-2	4000	300	200	0,209	112,15	0,521	B15
C40.40.A400-III-2	4000	400	200	0,269	87,51	0,671	B15
C40.50.A400-III-2	4000	500	200	0,342	69,10	0,855	B15
C40.30.A400-III-3	4000	300	200	0,232	101,90	0,580	B15
C40.40.A400-III-3	4000	400	200	0,322	73,69	0,805	B15
C40.50.A400-III-3	4000	500	200	0,432	55,14	1,080	B15
C50.30.A400-III-1	5000	300	200	0,225	121,5	0,563	B15
C50.40.A400-III-1	5000	400	200	0,255	107,56	0,638	B15
C50.50.A400-III-1	5000	500	200	0,292	94,21	0,730	B15
C50.30.A400-III-2	5000	300	200	0,249	110,5	0,622	B15
C50.40.A400-III-2	5000	400	200	0,309	89,35	0,772	B15
C50.50.A400-III-2	5000	500	200	0,382	72,49	0,955	B15
C60.30.A400-III-3	5000	300	200	0,272	102,1	0,680	B15
C60.40.A400-III-3	5000	400	200	0,362	76,93	0,805	B15
C60.50.A400-III-3	5000	500	200	0,472	59,15	1,180	B15
C60.30.A400-III-4	5000	300	200	0,295	94,78	0,795	B15
C60.40.A400-III-4	5000	400	200	0,415	67,54	1,038	B15
C60.50.A400-III-4	5000	500	200	0,562	50,02	1,405	B15
C60.30.A400-III-5	6000	300	200	0,265	118,8	0,663	B15
C60.40.A400-III-5	6000	400	200	0,295	106,8	0,738	B15
C60.50.A400-III-5	6000	500	200	0,332	95,27	0,830	B15

55

1	2	3	4	5	6	7	8
C60.30.A400-III-2	6000	300	200	0,289	109,6	0,722	B15
C60.40.A400-III-2	6000	400	200	0,349	90,97	0,872	B15
C60.50.A400-III-2	6000	500	200	0,422	75,42	1,055	B15
C60.30.A400-III-3	6000	300	200	0,312	102,1	0,780	B15
C60.40.A400-III-3	6000	400	200	0,402	79,48	1,005	B15
C60.50.A400-III-3	6000	500	200	0,512	62,54	1,280	B15
C60.30.A400-III-4	6000	300	200	0,335	95,73	0,838	B15
C60.40.A400-III-4	6000	400	200	0,455	70,64	1,138	B15
C60.50.A400-III-4	6000	500	200	0,602	53,52	1,595	B15
C60.30.A400-III-5	6000	300	200	0,359	89,86	0,897	B15
C60.40.A400-III-5	6000	400	200	0,509	63,54	1,272	B15
C60.50.A400-III-5	6000	500	200	0,692	46,85	1,730	B15

56

Приложение Б

Конструкция, узлы, таблицы спецификаций, выбор арматурной стали и показатели расхода материалов на ППС с предварительно напряженной арматурой

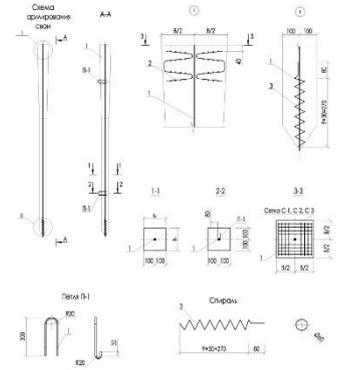


Рис. Б1. Конструкция и узлы ППС с предварительно напряженной арматурой

58

Таблица Б1

Спецификация к элементам ППС с напряженной арматурой						
Пол.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ст., кг	Примеч.	
1	2	3	4	5	6	
<b>СПН30.30.A400-1</b>						
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=3350	1	0,888	2,97	
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0	
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296	
4		Пята П-1	2	0,518	1,036	
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,143	
<b>СПН30.40.A400-1</b>						
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=4350	1	0,888	2,97	
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5	
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296	
4		Пята П-1	2	0,518	1,036	
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,175	
<b>СПН30.50.A400-1</b>						
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=5350	1	0,888	2,97	
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74	
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296	
4		Пята П-1	2	0,518	1,036	
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,212	
<b>СПН30.30.A400-2</b>						
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=3350	1	0,888	2,97	
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0	
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296	
4		Пята П-1	2	0,518	1,036	
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,143	
<b>СПН30.40.A400-2</b>						
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=4350	1	0,888	2,97	
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5	
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296	
4		Пята П-1	2	0,518	1,036	
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,175	
<b>СПН30.50.A400-2</b>						
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=5350	1	0,888	2,97	
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74	
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296	
4		Пята П-1	2	0,518	1,036	
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,212	

59

1	2	3	4	5	6
1	ГОСТ 34028-2016	СПН40.40.A400-2	1	0,888	2,97
2		Напряженный стержень 12-A400, l=3350	1	0,888	2,97
3		Сетка С-1	2	2,25	4,5
4		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296
5		Пята П-2	2	0,518	1,036
6		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,229
<b>СПН40.50.A400-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=4350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-2	2	2,37	4,74
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296
4		Пята П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,302
<b>СПН40.30.A400-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=3350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296
4		Пята П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,183
<b>СПН40.40.A400-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=4350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296
4		Пята П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,215
<b>СПН40.50.A400-1</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=5350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296

60

1	2	3	4	5	6
4		Пята П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,215
<b>СПН40.30.A400-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=3350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-1	2	2,0	4,0
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296
4		Пята П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,289
<b>СПН40.40.A400-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=4350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-2	2	2,25	4,5
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	0,296
4		Пята П-1	2	0,518	1,036
5		Бетон класса В22,5, м <sup>3</sup>			0,302
<b>СПН40.50.A400-2</b>					
1	ГОСТ 34028-2016	Напряженный стержень 12-A400, l=5350	1	0,888	2,97
2		Сетка С-3	2	2,37	4,74
3		Стяжка Ст-1	1	0,296	



Таблица А4

Марка элемента (свая)	Показатели на одну ППС						
	Размеры, мм			Объем бетона, м <sup>3</sup>	Удельный расход арматуры, кг/м <sup>3</sup>	Масса свая, т	Класс бетона по прочности на сжатие
	L	II	III				
1	2	3	4	5	6	7	8
СПН30.30-А400.1	3150	300	200	0,145	57,24	0,363	B22,5
СПН30.40-А400.1	3150	400	200	0,175	50,28	0,438	B22,5
СПН30.50-А400.1	3150	500	200	0,212	42,64	0,530	B22,5
СПН30.30-А400.2	3150	300	200	0,169	49,40	0,421	B22,5
СПН30.40-А400.2	3150	400	200	0,229	38,59	0,571	B22,5
СПН30.50-А400.2	3150	500	200	0,302	29,93	0,755	B22,5
СПН40.30-А400.1	4150	300	200	0,185	49,67	0,463	B22,5
СПН40.40-А400.1	4150	400	200	0,215	45,07	0,538	B22,5
СПН40.50-А400.1	4150	500	200	0,252	39,40	0,630	B22,5
СПН40.30-А400.2	4150	300	200	0,209	44,18	0,521	B22,5
СПН40.40-А400.2	4150	400	200	0,269	36,15	0,671	B22,5
СПН40.50-А400.2	4150	500	200	0,342	29,03	0,855	B22,5
СПН40.30-А400.3	4150	300	200	0,232	39,61	0,580	B22,5
СПН40.40-А400.3	4150	400	200	0,322	30,09	0,805	B22,5
СПН40.50-А400.3	4150	500	200	0,432	22,98	1,080	B22,5
СПН50.30-А400.1	5150	300	200	0,225	44,80	0,563	B22,5

71

Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из предварительно-пробитых свай (Р-1-24)

Бекбасаров И.И., Шаншобаев Н.А., Атепов Е.И.

Технический редактор С.М. Косбол  
 Редактор Г.М. Адылбаева  
 Компьютерная верстка Г.Н. Дуурбекова

Подписано в печать 15.09.2020 г.  
 Формат 60\*80 1/16. Ул.-лзд. 1. 43. Усл. п. л. 3,5.  
 Тираж 50. Заказ 729.

Издательство «Фудати университет»  
 080000, г. Тараз, ул. Сулейманова, 7

74

1	2	3	4	5	6	7	8
СПН50.40-А400.1	5150	400	200	0,255	41,49	0,658	B22,5
СПН50.50-А400.1	5150	500	200	0,292	37,05	0,730	B22,5
СПН50.30-А400.2	5150	300	200	0,249	40,64	0,622	B22,5
СПН50.40-А400.2	5150	400	200	0,309	34,35	0,772	B22,5
СПН50.50-А400.2	5150	500	200	0,382	28,32	0,955	B22,5
СПН50.30-А400.3	5150	300	200	0,272	37,06	0,680	B22,5
СПН50.40-А400.3	5150	400	200	0,362	29,22	0,905	B22,5
СПН50.50-А400.3	5150	500	200	0,472	22,92	1,180	B22,5
СПН50.30-А400.4	5150	300	200	0,295	34,17	0,295	B22,5
СПН50.40-А400.4	5150	400	200	0,415	25,49	1,038	B22,5
СПН50.50-А400.4	5150	500	200	0,562	19,25	1,405	B22,5
СПН60.30-А400.1	6150	300	200	0,265	41,39	0,663	B22,5
СПН60.40-А400.1	6150	400	200	0,295	38,88	0,758	B22,5
СПН60.50-А400.1	6150	500	200	0,332	35,27	0,830	B22,5
СПН60.30-А400.2	6150	300	200	0,289	38,09	0,722	B22,5
СПН60.40-А400.2	6150	400	200	0,349	32,95	0,872	B22,5
СПН60.50-А400.2	6150	500	200	0,422	27,74	1,055	B22,5
СПН60.30-А400.3	6150	300	200	0,312	35,16	0,780	B22,5
СПН60.40-А400.3	6150	400	200	0,402	28,53	1,005	B22,5

72

1	2	3	4	5	6	7	8
СПН60.50-А400.3	6150	500	200	0,512	22,87	1,280	B22,5
СПН60.30-А400.4	6150	300	200	0,335	32,74	0,838	B22,5
СПН60.40-А400.4	6150	400	200	0,455	25,20	1,138	B22,5
СПН60.50-А400.4	6150	500	200	0,602	19,45	1,505	B22,5
СПН60.30-А400.5	6150	300	200	0,359	30,64	0,897	B22,5
СПН60.40-А400.5	6150	400	200	0,509	22,57	1,272	B22,5
СПН60.50-А400.5	6150	500	200	0,692	16,92	1,730	B22,5

73

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
**Патенты на полезные модели**

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ**      **РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН**

**REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**ПАТЕНТ**  
**PATENT**

№ 4521

**ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL**

      (21) 2018/0881.2

(22) 05.12.2018

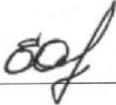
Қазақстан Республикасы Пайдалы модельдер мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan: 29.11.2019

(54) Қағылмалы темірбетон қада  
Забивная железобетонная свая  
Reinforced driven pile

(73) Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің "М.Х.Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны (KZ)  
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Таразский государственный университет имени М.Х.Дулати" Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)  
"M.Kh. Dulaty Taraz State University" Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Бекбасаров Исабай Исакович (KZ)      Bekbasarov Isabai Isakovich (KZ)  
Шаншабаев Нуржан Аскарбекович (KZ)      Shanshabayev Nurzhan Askarbekovich (KZ)



  
Е. Оспанов  
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

# ПАТЕНТ PATENT

№ 4386

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2019/0526.2

(22) 10.06.2019

Қазақстан Республикасы Пайдалы модельдер мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan: 23.10.2019

(54) Пирамидалы-призмалық аспалы қағылмалы қаданың жүк көтеру қабілетін анықтау тәсілі  
Способ определения несущей способности висячей забивной пирамидально-призматической сваи  
Method for determining a bearing capacity of a hanging driven pyramidal-prismatic pile

(73) Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің "М.Х.Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны (KZ)  
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Таразский государственный университет имени М.Х.Дулати" Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)  
"M.Kh. Dulaty Taraz State University" Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Бекбасаров Исабай Исакович (KZ)  
Шаншабаев Нуржан Аскарбекович (KZ)

Bekbassarov Isabay Isakovich (KZ)  
Shanshabayev Nurzhan Askarbekovich (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed by EDS

Е. Оспанов  
Y. Osranov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE