

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы

Шаншабаева Нуржана Аскарбековича

на тему: «Разработка конструкций пирамидально-призматических свай и оценка их несущей способности для устройства отдельно стоящих фундаментов гидротехнических сооружений», на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки кадров 8D074 – Водное хозяйство: Образовательной программе 8D07411 – «Гидротехническое строительство и сооружения»

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 назначения. 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 свай, целесообразным является создание новой разновидности свай, часть ствола которой обладает призматической, а часть – пирамидальной формой. Причем, верхняя часть ствола свай должна быть пирамидальной, а

нижняя – призматической. Такое сочетание геометрических форм в пределах ствола свай 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 свай, 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. «Сваи забивные железобетонные пирамидально-призматические». Сваи цельные сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой»;

- Альбом 2 Рабочие чертежи. «Сваи забивные железобетонные пирамидально-призматические». Сваи 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 ABC.

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:

- 7 статей в научных журналах, включенных в перечень изданий, рекомендуемых КОКСНВО МНВО РК;

- 2 статьи – в республиканских научных журналах;

- 4 статьи – в сборниках материалов конференций;

- 3 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.

Основное содержание работы. Диссертационные исследования направлены на экспериментальное исследование погружаемости и энергоемкости забивки, а также сопротивляемости пирамидально-призматических свай при воздействии на них вертикальных, горизонтальных и

выдерживающих нагрузок для устройства фундаментов зданий и сооружений гидротехнического назначения.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность выбранной научной темы, отражающая её значимость для современного состояния и перспектив развития исследуемой области. Четко сформулированы цели и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, что позволяет задать научное направление и очертить границы проводимой работы. Отдельное внимание уделено научной новизне, заключающейся в получении новых теоретических положений, уточнении ранее известных закономерностей и разработке методических подходов, которые вносят вклад в развитие научного знания и практики. Выделены основные положения, выносимые на защиту, отражающие как теоретические результаты, так и прикладные аспекты.

В тексте введения представлено описание методологии и методов исследования, включающих аналитические, экспериментальные и расчетные подходы, а также обоснование их выбора с точки зрения достоверности и воспроизводимости результатов.

Подчеркнута практическая значимость работы, которая выражается в возможности применения полученных результатов при решении актуальных инженерных и производственных задач, а также в их использовании для совершенствования действующих технологий и нормативно-методической базы.

Дополнительно приведены сведения о публикациях автора, подтверждающие апробацию полученных результатов в научных изданиях и на конференциях различного уровня. Завершается введение описанием структуры и объема диссертации, где указано количество глав, разделов, иллюстративного материала и приложений, что дает полное представление о композиции и логике изложения работы.

В первой главе представлено всестороннее исследование современного состояния научных работ, посвящённых вопросам проектирования и применения свайных фундаментов в гидротехническом строительстве. Рассмотрены конструктивные решения фундаментных систем гидротехнических сооружений различных типов (плотины, шлюзы, водоприёмные и берегозащитные сооружения).

Особое внимание уделено обобщению и систематизации результатов отечественных и зарубежных исследований, связанных с работой свай и свайных полей под гидротехническими сооружениями. Проведён сравнительный анализ традиционных призматических свай с новыми конструктивными решениями, включая пирамидально-призматические сваи, которые обеспечивают повышенную несущую способность за счёт увеличенной площади подошвы и улучшенной работы боковой поверхности в условиях водонасыщенных грунтов.

На основе выявленных научных и практических тенденций обоснована актуальность применения пирамидально-призматических свай в составе свайных фундаментов гидротехнических сооружений. Сформулированы основные задачи исследования, направленные на уточнение механизмов работы

свай в сложных гидрогеологических условиях, разработку методов расчёта несущей способности и осадок, а также экспериментальную и теоретическую оценку эффективности новых типов свайных конструкций

Выводы по первой 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, предопределяющих 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.

Во **второй главе** диссертационной работы представлено описание применяемого испытательного оборудования, раскрыты его конструктивные особенности, принципы функционирования и условия эксплуатации при проведении исследований. Подробно рассмотрены параметры опытных моделей свай, включая их геометрические размеры, форму поперечного сечения, армирование и используемые материалы. Приведён процесс изготовления железобетонных свай в лабораторных условиях, начиная с подготовки арматурного каркаса и подбора состава бетонной смеси до укладки смеси в опалубку, режимов уплотнения и последующего твердения бетона.

Особое внимание уделено испытаниям бетона на прочность, которые выполнялись по стандартным методикам определения кубиковой прочности с целью верификации соответствия проектным характеристикам. Также в главе приведены физико-механические характеристики грунтов, полученные на основе лабораторных исследований и полевых испытаний: определение гранулометрического состава, влажности, плотности, угла внутреннего трения, сцепления и модуля деформации.

Кроме того, подробно изложена методика проведения как лабораторных экспериментов, так и полевых испытаний пирамидально-призматических свай. Рассмотрены условия постановки опытов, порядок монтажа и нагружения свай, методы фиксации деформаций и осадок, а также принципы обработки экспериментальных данных. Таким образом, вторая глава формирует основу для комплексного анализа работы исследуемых свай и служит базой для сопоставления лабораторных и натурных результатов.

В **третьей главе** представлены результаты комплексных экспериментальных исследований, посвящённых работе пирамидально-призматических свай в сопоставлении с традиционными призматическими и полностью пирамидальными сваями. Основное внимание уделено выявлению особенностей формирования и изменения деформированной зоны грунтового массива при различных стадиях взаимодействия свай с основанием — в процессе их погружения и последующего выдергивания. Дополнительно рассмотрены вопросы оценки влияния геометрической формы свай с уширениями на технологические параметры погружаемости, а также на энергоёмкость забивки, что имеет важное значение для оптимизации строительных процессов.

Особое место в исследованиях занимает определение несущей способности свай при действии вертикальных вдавливающих нагрузок, горизонтальных усилий и статических выдергивающих воздействий, что позволяет всесторонне оценить эксплуатационную надёжность конструкций в

реальных инженерно-геологических условиях. В работе также уделено внимание анализу влияния физико-механических характеристик грунтов (песчаных, глинистых, водонасыщенных и др.) на показатели работы свай. Проведено исследование зависимости погружаемости, энергоёмкости забивки и несущей способности от конструктивных параметров пирамидальной части пирамидально-призматических свай, включая угол её раскрытия, высоту и отношение размеров к общей длине свай.

Полученные результаты позволяют установить закономерности взаимодействия различных типов свай с грунтовым основанием, а также дать практические рекомендации по рациональному проектированию и применению пирамидально-призматических свай в строительстве ГТС.

Выводы по третьей главе:

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 сваи.

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 энергоёмкости 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 сваей 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 сваей 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 сваей с размерами сечения 20×20 см и меньше соответственно на 2,0-54,0% и 7,0-49,0%, чем сопротивляемость призматической сваи с размерами сечения 30×30 см и пирамидальной сваей. С увеличением длины пирамидального участка в 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 сваей с размерами сечения 20×20 см и меньше соответственно на 6,0-45,0% и 8,0-49,0%, чем несущая способность призматической сваи с размерами сечения 30×30 см и пирамидальной сваей. 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.

В четвертой главе диссертационной работы представлены разработанные автором методы расчета несущей способности пирамидально-призматических свай при действии различных видов статических нагрузок. Рассмотрены вертикальные вдавливающие усилия, при которых учитывается совместное сопротивление грунта как по боковой поверхности свай, так и по их

нижнему основанию, а также горизонтальные и выдергивающие нагрузки, оказывающие значительное влияние на работу свай в составе свайных фундаментов гидротехнических сооружений.

На основе проведенных исследований предложены практические рекомендации по применению пирамидально-призматических свай в фундаментных конструкциях гидротехнических объектов. В частности, даны обоснованные предложения по определению минимально необходимой энергии удара сваебойного молота для обеспечения надежного погружения свай в грунт до проектной отметки. Также разработаны схемы оптимального размещения свай в плане ростверков, что позволяет рационально распределить нагрузки и снизить неравномерность осадок.

Отдельное внимание уделено технологическим аспектам изготовления пирамидально-призматических свай. Представлена номенклатура и система маркировки свай различной длины и поперечного сечения, а также даны рекомендации по конструированию арматурных каркасов с учетом работы свай на изгиб, растяжение и сжатие. Приведены примеры рабочих чертежей свай с указанием основных параметров: массы изделий, расхода бетона и арматурной стали на их производство.

Завершающим элементом исследования является выполненная сравнительная экономическая оценка устройства фундаментов гидротехнических сооружений с использованием пирамидально-призматических свай по сравнению с традиционными типами свайных фундаментов. В анализе учтены стоимость изготовления свай, транспортные расходы, трудоемкость работ по их забивке и общий расход материалов. Полученные данные подтвердили экономическую целесообразность применения пирамидально-призматических свай в ряде инженерно-геологических условий, что открывает возможности для их более широкого внедрения в ГТС.

Выводы по четвертой главе:

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 эффективны 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.

В **приложении** описан алгоритм работы прикладной программы, позволяющей выполнять на персональном компьютере расчеты несущей способности пирамидально-призматических свай при действии вертикальной вдавливающей статической нагрузки.

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 30×30 см и пирамидальной сваей с размерами сечения поверху 30×30 см и понизу 20×20 см. Несущая способность пирамидально-призматических свай при действии вертикальной вдавливающей нагрузки выше, чем у 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. Удельная несущая способность пирамидально-призматических свай также выше, чем у 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. 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 20×20 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 станций. 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 AP13268763) 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 «Гимарат 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.

По теме диссертационного исследования имеются следующие публикации:

1. Пат. 4521 РК. Забивная железобетонная свая / И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев; опубл. 29.11.2019, Бюл. №5. - 2 с;
2. Пат. 4386 РК. Способ определения несущей способности висячей забивной пирамидально-призмаической сваи / И.И. Бекбасаров, Н.А. Шаншабаев; опубл. 23.10.2019, Бюл. №2019/0526.2. - 2 с;
3. 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;
4. 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;
5. 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;
6. 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;
7. 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;
8. 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>;
9. Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А. Сопротивляемость 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>;

10. 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;

11. Бекбасаров И.И., Никитенко М.И., Шаншабаев Н.А. Сопротивляемость 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;>

12. 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;

13. 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;>

14. 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;>

15. 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;>

16. Бекбасаров И.И., Шаншабаев Н.А.. Результаты лабораторных исследований работы моделей пирамидально-призматических свай на действие вертикальной выдерживающей 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;>

17. 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;>

18. 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>