

## ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАБИВНЫХ СВАЙ

**А. Ж. ЖУСУПБЕКОВ, А. С. ЖАКУЛИН, А. А. ЖАКУЛИН,**

**А. А. ЖУСУПБЕКОВ** – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан.

**М. И. АКМАЛИЕВ** — ОАО «Мунайгазкурылыс», г. Тенгиз, Казахстан.

**Т. Х. БОТАБЕКОВ** — ТОО «KGS», г. Темиртау, Казахстан.

Рассматриваются проблемы оценки несущей способности забивных свай в песчаных и супесчаных основаниях на строительстве нового рабочего поселка на 8000 человек Тенгизского месторождения. Приведены результаты статических и динамических испытаний забивных свай квадратного сечения 0,3х0,3 м длиной 7 и 5 м, а также данные инженерно-геологических изысканий. По результатам статических и динамических испытаний забивных свай получены графики для определения их несущей способности по грунту и отказа. Анализ значений несущей способности свай, полученных по результатам испытаний, показал, что несущая способность, определенная по рекомендации СНиПа, оказалась заниженной.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время начата реализация проекта завода второго поколения и проекта сооружений для закачки сырого газа на крупнейшем в Казахстане Тенгизском нефтегазовом месторождении. Реализация названных проектов позволит повысить объем добываемой нефти с 13 млн тонн в год до 20...23 млн тонн в год, увеличить объем производства сухого газа (пропана, бутана) и товарной серы. Процесс освоения месторождения принесет доход, в котором нуждается национальная экономика. В 2006 г. предполагается завершение проекта, предусматривающего строительство заводов по переработке газа и нефти, выделению и обработке серы, включающих целый ряд крупных зданий и сооружений, а также строительство нового рабочего поселка на 8000 человек с надлежущей инфраструктурой.

При строительстве объектов следует учитывать, что грунты основания зданий и сооружений относятся к проблемным, а инже-

нерно-геологические условия – к сложным. Грунты основания – водонасыщенные, подвержены подтоплению с поднятием уровня Каспийского моря и техногенным воздействиям. Для устройства фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях применяются в основном сваи (А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков, 1994; Ф. К. Лапшин, 1989). Проектировщиками рекомендованы железобетонные сваи длиной 12 и 16 м, сечением 0,4х0,4 м для заводов нового поколения и длиной 7 и 5 м, сечением 0,3х0,3 м для нового рабочего поселка.

Анализ результатов инженерно-геологических условий площадки строительства и предварительные расчеты выбора типа фундаментов показывают, что применение забивных свай длиной 12 и 16 м для заводов второго поколения и закачки сырого газа недостаточно обосновано. С ростом объемов применения свайных фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях требуется разработка методов и методик правильной оценки их несущей способности.

Проектировщикам и строителям Казахстана необходимо разработать региональные нормы проектирования свайных фундаментов

с учетом особенностей инженерно-геологических условий, подтопления и техногенных воздействий на грунтовое основание.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА

Новый рабочий поселок занимает площадь 1,2 км<sup>2</sup> и состоит из 6 жилых модулей, административного корпуса, общественного центра, комплекса очистных и спортивных сооружений, 3 резервуаров воды. Модули в плане представляют круг диаметром 80 м и высотой 12 м, к ним присоединяются в виде лепестков от 13 до 15 жилых блоков длиной 48...52 м, высотой 6,6 м.

Фундаменты круглых модулей, резервуаров чистой воды и пожаротушения, а также очистных сооружений – из свай длиной 5 и 7 м. Железобетонные сваи квадратного сечения 0,3х0,3 м изготавливаются в Волгограде (Россия) со специальной пропиткой до 5 мм для защиты от воздействия агрессивных грунтовых вод.

Частично свайные фундаменты модулей попадают на участки прежних котлованов и выемок. Котлованы и выемки глубиной до 3,3 м проектировщики рекомендуют засыпать и уплотнять суглинистыми грунтами карьера, после чего производить устройство свайных фундаментов.

## 2. ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

По результатам инженерно-геологических изысканий на объекте новый рабочий поселок на 8000 человек [3] сделаны следующие выводы:

исследуемый участок расположен в пределах южной и юго-восточной окраины Прикаспийской низменности;

участок в целом характеризуется абсолютными отметками поверхности 23,33...26,49 м. Абсолютные отметки рельефа – ниже нуля по Балтийской системе высот. Рельеф площадки сохранил остаточные формы поверхности ксеротермической эпохи (замкнутые котловины выдувания, соры и бугры);

по ландшафтным, почвенно-растительным характеристикам, природному распре-

лению химических элементов в почвах, а также гидрогеологическим условиям экосистема рассматриваемой территории восприимчива к воздействию антропогенных и техногенных, физических и химических факторов, которые могут привести к изменениям природной среды;

в геологическом строении площадки строительства до изученной глубины (4,00...15,00 м) обнаружены отложения хвалынского и новокаспийского горизонтов четвертичной системы, перекрытые почвенно-растительным слоем верхненовокаспийского горизонта и насыпными грунтами современного техногенного образования. Отложения четвертичного современного нижненовокаспийского горизонта представлены, в основном, глинистыми грунтами (суглинками и глинами), реже – супесями. Мощность их изменяется от 0,80 до 4,20 м. Они практически везде перекрыты новокаспийскими отложениями и представлены супесями, переслаивающимися иловатыми глинистыми грунтами и песками. Мощность их изменяется от 2,0 до 6,80 м. Глинистые грунты иловатые и пески мелкие вскрыты в основном в пониженных участках рельефа и относятся к грунтам, приуроченным к сорovým отложениям. В районе сор они выходят на дневную поверхность. Отложения четвертичного возраста нижнехвалынского горизонта представлены глинистыми грунтами (глинами и суглинками);

на площадке строительства жилых домов (модули I...VI) вскрыт водоносный горизонт подземных вод, приуроченный к аллювиальным отложениям четвертичного возраста современного нижненовокаспийского горизонта и нижнехвалынского горизонта (на глубине 0,50...3,08 м, абсолютные отметки – 26,26...27,58 м). Грунтовые воды характеризуются как хлоридно-натриевые, очень жесткие, слабощелочные рассолы. Агрессивность грунтовых вод по отношению к свинцовой и алюминиевой оболочкам кабеля – высокая, по отношению к стальным конструкциям грунтовые воды корродирующие. По отношению к бетонам марки В на сульфатостойких цементах агрессивность грунтовых вод изменяется от слабой до сильной, по отношению к железобетонным конструкциям – сильная агрессивность;

при проектировании рекомендовано использовать значения характеристик физико-механических свойств грунтов для строительства площадки зданий, приведенные в таблице.

Характеристики грунтов

Наименование	Значения физико-механических характеристик			
	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$C$ , кПа	$\phi$ , град.	$E$ , МПа
Суглинки и глины ИГЭ 2, 3	1,84	30	19	9
Супеси – ИГЭ-4	1,85	25	28	13
Супеси – ИГЭ-5	1,85	5	20	5
Глины и суглинки ИГЭ 6, 7 иловатые	1,74	2	10	4
Пески – ИГЭ-8	2,0	2	28	18
Глины и суглинки ИГЭ 9, 10	1,92	47	19	11

Таким образом, водонасыщенные грунты основания и гидрогеологические условия площадки обуславливают ее восприимчивость к воздействию антропогенных, техногенных, физических и химических факторов. Физико-механические свойства грунтов основания, являющихся несущим слоем свайных фундаментов (ИГЭ-5) и подстилающим слоем (ИГЭ-6, 7), характеризуются низкими модулями деформации 4...5 МПа при степени водонасыщения более 0,8.

### 3. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ СВАЙ

Испытания грунтов статическими вдавливающими нагрузками на сваю проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 5686–94 и рекомендациями, разработанными ТОО «KGS». Статические и динамические испытания свай в водонасыщенных грунтовых основаниях производили через 6 сут после «отдыха». Нагружение свай производилось ступенями 50 кН в зависимости от величины осадки и скорости стабилизации деформаций гидравлическим домкратом ДГ-200 грузоподъемностью до 2000 кН, упирающимся в анкерно-упорный стенд (рис. 1).

Давление в домкрате создавалось при помощи ручной маслососной станции МНСП-400 мощностью до 800 кг/см<sup>2</sup>, перемещение свай фиксировалось прогибомерами марки 6-ПАО, расположенными с двух сторон на неподвижных опорах реперной системы.

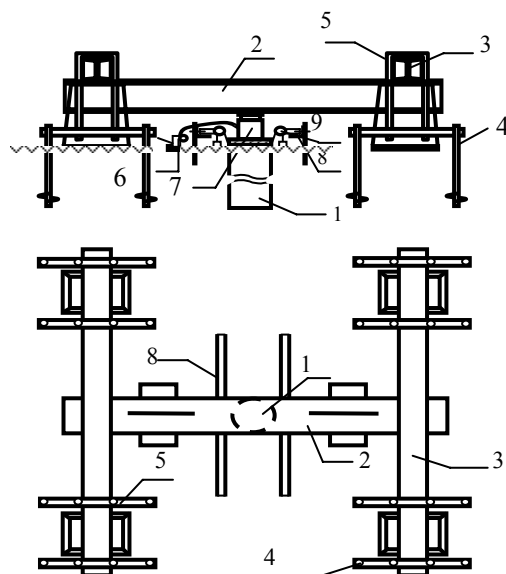


Рис. 1. Схема анкерно-упорного стенда:

- 1 – забивная свая; 2 – основная балка;
- 3 – вспомогательная балка; 4 – винтовые сваи; 5 – хомуты; 6 – насос с манометром;
- 7 – домкрат; 8 – реперная система;
- 9 – прогибомер

Первый отсчет – сразу после приложения нагрузки, затем, последовательно, 4 отсчета с интервалом 15 мин, 2 отсчета – с интервалом 30 мин и далее – через каждый час до условной стабилизации деформаций (затухания перемещений). За критерий условной стабилизации деформаций принималась скорость осадки свай на данной ступени нагружения, не превышающая 0,1 мм за последние 1...2 часа наблюдений. Максимальная нагрузка на опытные сваи составляла 1200 и 1400 кН (по рекомендации ТОО «KGS») до достижения осадки 8 см, а для рабочих свай – 300 и 600 кН. Реактивные усилия воспринимались винтовыми сваями. Разгрузка производилась ступенями 100 кН. При испытаниях динамической нагрузкой при забивке свай подсчитывались количество ударов молота на каждый метр погружения и общее количество ударов, а на последнем метре – на каждые 10 см погружения. Добивку свай производили последовательно залогом из 3 и 5 ударов после «отдыха», при этом высота падения ударной части молота была одинаковой. За расчетный принимали наибольший средний отказ.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ СВАЙ

По результатам испытания получены зависимости осадки от нагрузки для рабочих (рис. 2, 3) и опытных (рис. 4) свай длиной 5 и 7 м, а также зависимости количества ударов и средних отказов от глубины погружения (рис. 5, 6).

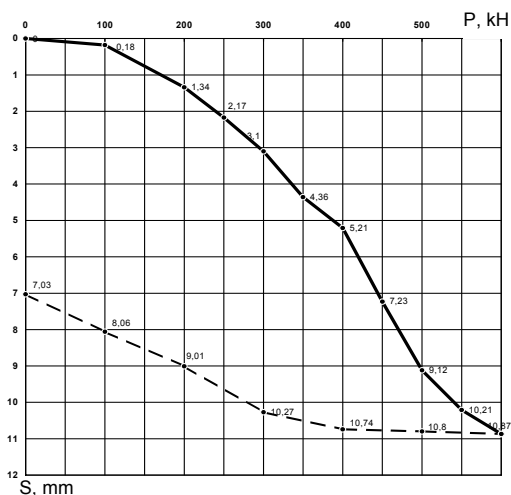


Рис. 2. График зависимости осадки от нагрузки для свай длиной 7 м

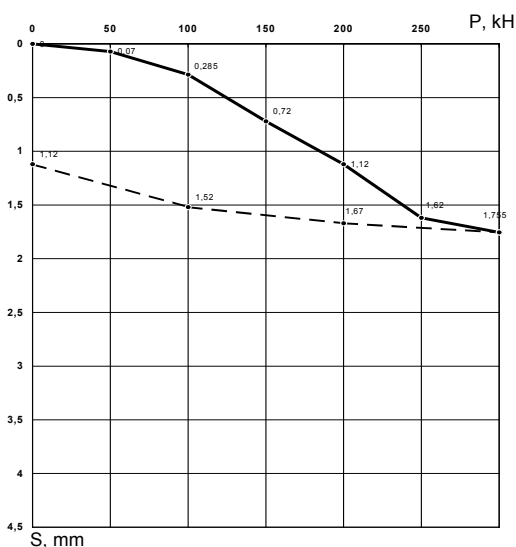


Рис. 3. График зависимости осадки от нагрузки при длине свай 5 м

Несущим слоем грунтов под сваями являются супеси ИГЭ-4, ИГЭ-5, физико-

механические характеристики которых приведены в таблице.

При испытании рабочих свай за предельную нагрузку приняли 300 кН (L=5 м) и 600 кН (L=7 м), превышающую в полтора раза нагрузку (согласно британскому стандарту), передаваемую от здания. Максимальная осадка по результатам испытаний рабочих свай составила 1,75 мм (L=5 м) и 10,87 мм (L=7 м), что меньше предельного значения осадок (16 мм), определенного по формуле (17) СНиП 2.02.03–85. Отметим, что осадки свай при данных нагрузках имеют минимальные значения, и однозначный вывод о деформациях грунтов основания является преждевременным. Данные осадки могут произойти из-за сжатия бетона или случайных ошибок эксперимента. По предварительным результатам испытаний рабочих свай за частное значение предельного сопротивления приняты максимальные экспериментальные нагрузки 300 кН (L=5 м) и 600 кН (L=7 м).

Для окончательной оценки несущей способности по грунту проведены испытания опытных свай длиной 5 и 7 м, при этом за основу принята нагрузка, вызывающая предельную осадку данного типа здания – 8 см

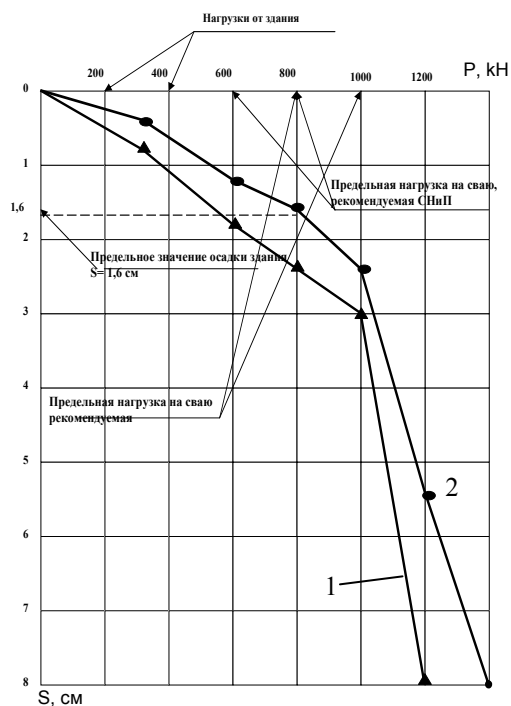


Рис. 4. График зависимости осадки от нагрузки опытных свай длиной 5 м (1) и 7 м (2)

(прил. 4 СНиП 2.02.01–83). Из графика (см. рис. 4) следует, что предельная осадка 8 см достигнута при нагрузках 1200 кН (L=5 м) и 1400 кН (L=7 м). По результатам статических испытаний за значение предельного сопротивления принята нагрузка 600 кН (L=5 м) и 800 кН (L=7 м), при которой свая получила осадку 16 мм. Результаты полученных зависимостей для опытных свай показывают, что предельное сопротивление при нагрузках 600 и 800 кН не достигнуто. На основе анализа результатов авторы рекомендуют принять за величину предельного сопротивления свай нагрузку 1000 кН (L=5 и 7 м). Данная нагрузка, во-первых, не превышает величину предельных осадок (40 мм), регламентированную положениями нормативных документов, а во-вторых, только после данного предельного сопротивления происходит резкое увеличение осадок свай.

Из графиков (см. рис. 5, 6) динамических испытаний свай длиной 5 м следует, что отказ начинается с глубины 4 м от поверхности земли и составляет 0,33...3,3 мм, а количество ударов молота – от 3 до 30 на каждые 10 см последнего метра погружения.

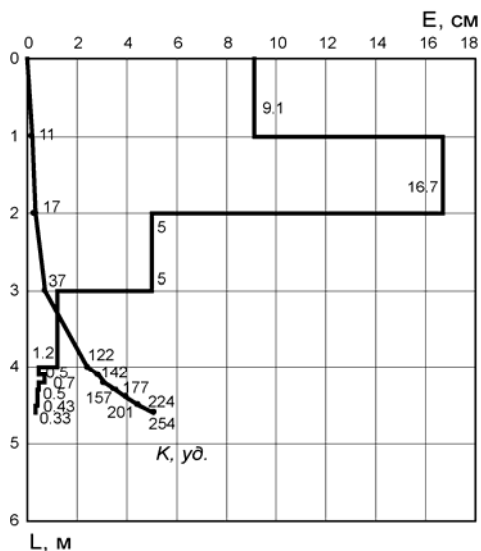


Рис. 5. График зависимости количества ударов и средних отказов от глубины погружения

Результаты также указывают на неоднородность сложения грунтов оснований по глубине. Несущая способность свай по грунту из расчета результатов динамических испыта-

ний для свай длиной 5 м составляет от 783 до 805 кН.

Данные статических и динамических испытаний подтверждают справедливость предложенной авторами оценки несущей способности свай по грунту в супесчаных основаниях.

Таким образом, испытания забивных железобетонных свай квадратного сечения статическими и динамическими нагрузками показали несовершенство методов определения несущей способности. Имеются разногласия между теоретическими и экспериментальными способами оценки несущей способности свай по грунту. По результатам экспериментальных испытаний на площадке строительства нового жилого поселка Тенгизского месторождения в качестве фундаментов приняты железобетонные сваи длиной 5 м взамен 7-метровых, первоначально предложенных проектной организацией. При этом получен существенный экономический эффект только на устройстве фундаментов.

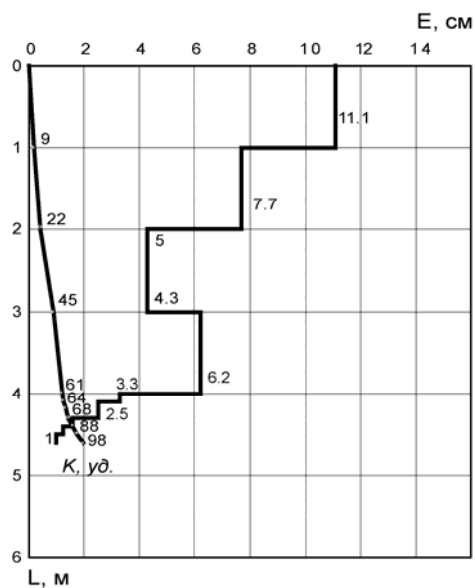


Рис. 6. График зависимости количества ударов и средних отказов от глубины погружения

## ВЫВОДЫ

1. Водонасыщенные грунты и гидрогеологические условия площадки строительства обуславливают ее восприимчивость к воздействию антропогенных, техногенных, физических и химических факторов.

2. Физико-механические свойства грунтов основания, являющихся несущим слоем свайных фундаментов (ИГЭ-5) и подстилающим слоем (ИГЭ-6, 7), характеризуются низкими модулями деформации (4...5 МПа) при степени водонасыщения более 0,8.

3. По результатам испытаний рабочих свай на проектные нагрузки, несущая способность составила 300 кН (L=5 м) и 600 кН (L=7 м) при осадках, соответственно, 1,75 и 10,87 мм.

4. Результаты испытаний опытных свай при осадке 16 мм показали, что предельное сопротивление соответствует нагрузкам 600 кН (L=5 м) и 800 кН (L=7 м).

5. Из анализа результатов испытания статическими и динамическими нагрузками следует, что значения предельного сопротивления свай соответствуют 800...1000 кН.

6. В результате использования предложенных свай получен существенный экономический эффект при устройстве фундаментов на площадке строительства нового рабочего поселка Тенгизского месторождения.

## Список литературы

1. Бартоломей А. А., Омельчак И. М., Юшков Б. С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994.
2. ГОСТ 5686–94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. М., 1994.
3. КарагандаГИИЗ и К. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Новый рабочий поселок на 8000 человек. Атырауская область, п. Тенгиз». Караганда, 2002. № 9634. Т. 1–4.
4. Лапшин Ф. К. Расчет свай по предельным состояниям. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1989.
5. СНиП 2.02.01–83. Основания зданий и сооружений. М., 1983.
6. СНиП 2.02.03–85. Свайные фундаменты. М., 1985.
7. СНиП 3.02.01–87. Земляные сооружения, основания и фундаменты. М., 1987.
8. Улицкий В. М., Шашкин А. Г., Парамонов В. Н. Определение несущей способности буронабивных свай // Геотехника: наука и практика: Сб. науч. тр. СПб., 2000.