



НК «РОСНЕФТЬ» - НТЦ»

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Особенности проектирования свайных фундаментов при обустройстве нефтяных и газовых месторождений

Дубров А.Д.

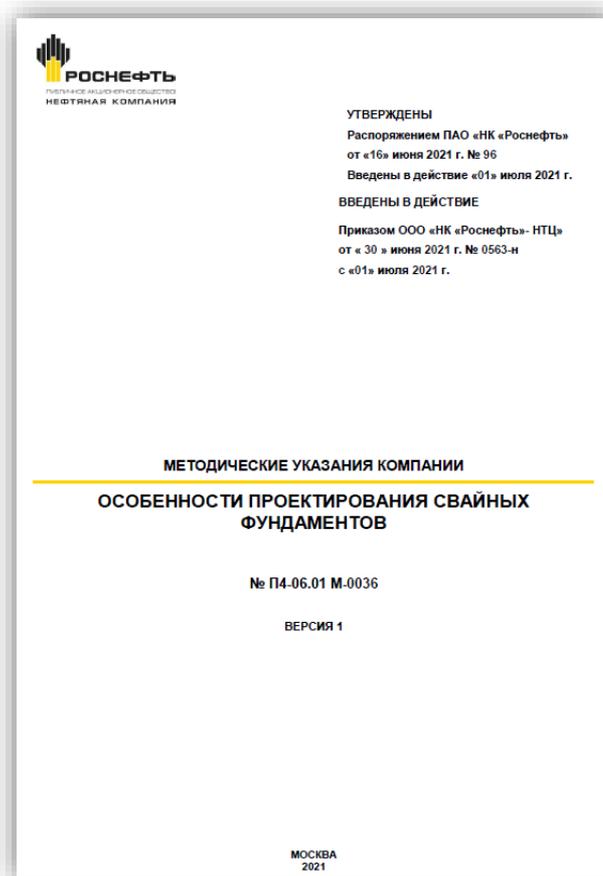
ООО «НК «Роснефть» - НТЦ»

**IX международная научно-практическая конференция
«Основания и фундаменты: современные технологии,
специальная техника, оборудование и материалы»**

Москва, 25 мая 2022 года

Нормативные документы по свайным фундаментам

- СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81.
- СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
- СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83.
- СП 24.13330.2021 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
- СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88.
- СП 26.13330.2012 Фундаменты машин с динамическими нагрузками. Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87.
- СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85.
- СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.
- СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов.
- СП 52-105-2009 Железобетонные конструкции в холодном климате и на вечномерзлых грунтах.
- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
- СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99.



Расчет свайных фундаментов

- расчет нагрузок на сваи от нагрузок на ростверк с учетом РСН;
- расчет несущей способности основания сваи на сжимающую нагрузку;
- расчет несущей способности основания сваи на выдергивающую нагрузку;
- расчет сваи на действие касательных сил морозного пучения;
- расчет по деформациям;
- расчет устойчивости и гибкости сваи при сжатии с изгибом;
- расчет отрицательной силы трения;
- расчет по сопротивлению материала сваи;
- расчет несущей способности основания свай по статическому зондированию;
- расчет устойчивости основания при горизонтальной нагрузке на сваю;
- технико-экономическое сравнение вариантов.

	Действующие	Допустимые	Запас, %
Вдавливание, кН	70	71.6 / 75.4	2.4
Выдергивание, кН	13	46.5 / 43.5	235
Пучение, кН	56	79.8 / 67.7	21
Деформации, мм	22	47	110
Деформации, рад	0.012	0.02	65.3
Прочность, МПа	77	320	315.5
Устойчивость сваи, кН	70	189.7	171
Гибкость сваи	132.3	150	13.4
Устойчивость грунта, кПа	7.7	36.2	373.6

Предельная гибкость свай

Таблица 32 СП 16.13330.2017:

Элементы конструкций	Предельная гибкость сжатых элементов λ_{ch}
1 Пояса, опорные раскосы и стойки, передающие опорные реакции: а) плоских ферм, структурных конструкций и пространственных конструкций из труб или парных уголков высотой до 50 м б) пространственных конструкций из одиночных уголков, а также пространственных конструкций из труб и парных уголков высотой св. 50 м	180 – 60 α 120
2 Элементы, кроме указанных в позициях 1 и 7 : а) плоских ферм, сварных пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков, пространственных и структурных конструкций из труб и парных уголков б) пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков с болтовыми соединениями	210 – 60 α 220 – 40 α
3 Верхние пояса ферм, не закрепленные в процессе монтажа (предельную гибкость после завершения монтажа следует принимать по позиции 1)	220
4 Основные колонны	180 – 60 α
5 Второстепенные колонны (стойки фахверка, фонарей и т.п.), элементы решетки колонн, элементы вертикальных связей между колоннами (ниже балок крановых путей), балки и прогоны, с учетом работы на сжатие	210 – 60 α
6 Элементы связей, кроме указанных в позиции 5 , а также стержни, служащие для уменьшения расчётной длины сжатых стержней, и другие ненагруженные элементы, кроме указанных в позиции 7	200
7 Сжатые и ненагруженные элементы пространственных конструкций таврового и крестового сечений, подверженные воздействию ветровых нагрузок, при проверке гибкости в вертикальной плоскости	150

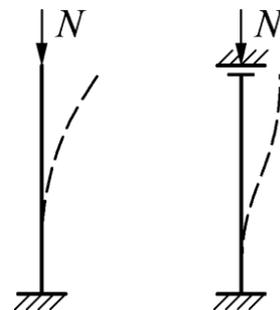
п. 10.2.2 СП 63.13330.2018:

10.2.2 Размеры сечений внецентренно сжатых элементов для обеспечения их жесткости следует принимать такими, чтобы их гибкость l_0/i в любом направлении не превышала:

200 - для железобетонных элементов;

120 - для колонн, являющихся элементами зданий;

90 - для бетонных элементов.



Технико-экономическое сравнение вариантов фундамента

По каждому сооружению выполняется перебор множества вариантов фундаментов:

- конструкция фундамента (количество и расположение свай, наличие и высота вертикальных связей, тип сопряжения с ростверком, высота ростверка);
- тип свай (стальные трубы, железобетонные или винтовые);
- способ погружения (буроопускной, забивной, винтовой);
- наличие ТСГ;
- поперечное сечение свай;
- длина свай.

Настройки технико-экономического сравнения вариантов

Варианты фундаментов
Путь: D:\Users\addubrov\Documents\Расчет

Варианты конструктивных характеристик применяемых свай
Путь: D:\Users\addubrov\Documents\Расчеты\Мои\Свая-САПР

4-стоечная
 Одностоечная

Применять ТСГ
Способы погружения
 буроопускной
 буроабивной

Стальные сваи-трубы
 Применять
Сечения
 0.159x0.006
 0.159x0.008
 0.219x0.008
 0.219x0.01
 0.273x0.008
 0.273x0.01
 0.325x0.008
 0.325x0.01
 0.377x0.008
 0.377x0.01
 0.426x0.008
 0.426x0.01
 0.426x0.012

Железобетонные сваи
 Применять
Сечения
 0.3x0.3
 0.35x0.35

Винтовые сваи
 Применять
Сечения
 0.159x0.008x500
 0.219x0.008x500
 0.219x0.008x550
 0.325x0.008x850

Выбрать все Снять все

Выбрать все Снять все

Выбрать все Снять все

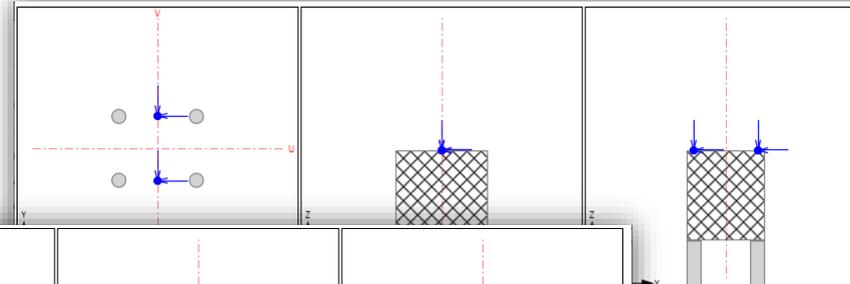
Выбрать все Снять все

Длина свай
Крат, м 1
Min, м 8
Max, м 14

Длина свай
Крат, м 2
Min, м 8
Max, м 12

Длина свай
Крат, м 0.5
Min, м 8
Max, м 10

Ok Отмена



Конструкция фундамента: Одностоечная

Возвышение над грунтом верха ростверка, мм: 2160
Возвышение над грунтом низа ростверка, мм: 1970

Высота ростверка, мм: 190
Вариантов нагрузок: 171

Жесткая заделка в ростверк: по U по V

Жесткая заделка в ростверк: по U по V

Параметры свай								
№	Координаты		Максимальные нагрузки расчетные / нормативные					
	X, мм	Y, мм	Ni, кН	Nt, кН	Qx, кН	Qy, кН	Mu, кНм	Mv, кНм
1	0	500	67.3/67.3 (1, 2, 3, 4, 5, 6)	0/0 0	23.6/23.6 (1, 2, 3, 4, 5, 6)	7.9/7.9 (1, 2, 3, 4, 5, 6)	-12.3/-12.3 (1, 2, 3, 4, 5, 6)	4.5/4.5 (1, 2, 3, 4, 5, 6)
Максимальные в фундаменте			67.27 / 67.27 (1, 2, 3, 4, 5, 6) Свая №1	0 / 0 0 Свая №1	23.55 / 23.55 (1, 2, 3, 4, 5, 6) Свая №1	7.87 / 7.87 (1, 2, 3, 4, 5, 6) Свая №1	-12.33 / -12.33 (1, 2, 3, 4, 5, 6) Свая №1	4.47 / 4.47 (1, 2, 3, 4, 5, 6) Свая №1

Нагрузки на фундамент												
№	Название	Координаты		Расчетные нагрузки			Группа взаимноисключения	Знакопеременность	Коэффициент надежности			
		X, мм	Y, мм	Qx, кН	Qy, кН	Qz, кН						
1	426	0	0	15.57	0	0	0	0	0	1	+/-	1

/ нормативные		
№	Mu, кНм	Mv, кНм
1	7.9/-1.5	-10.8/-10.8
9	-5.6/(1, -2, 3, -4, -5, 6)	(1, 2, 3, 4, 5, 6)
9	7.9/-1.5	-8.3/-8.3
9	-5.6/(1, -2, 3, -4, -5, 6)	(1, 2, 3, 4, 5, 6)
9	-7.9/1.5	-10.8/-10.8
9	(1, 2, 3, -4, -5, 6)	(1, 2, 3, 4, 5, 6)

Знакопеременность

Коэффициент надежности

Требования к фундаментам сооружений повышенного уровня ответственности

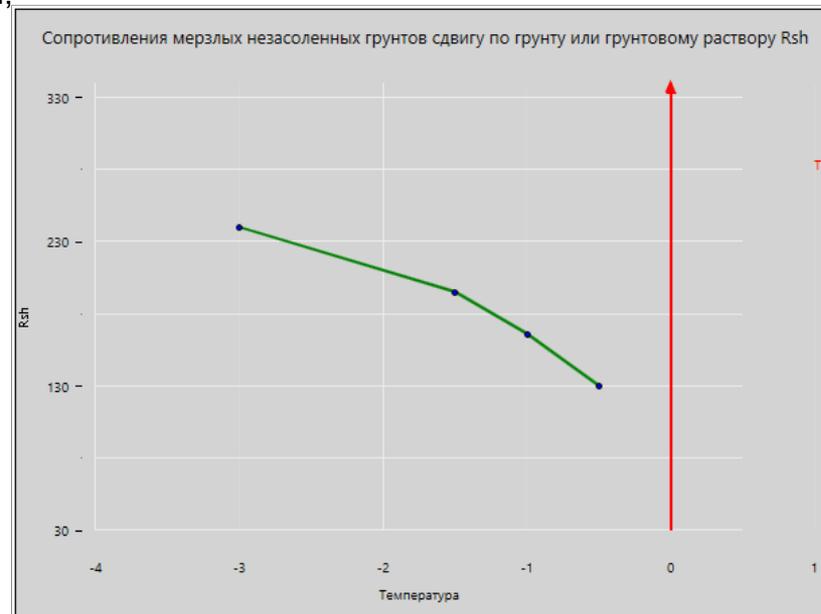
- Независимые сопоставительные расчеты с использованием различных программных средств;
(п.5.1.12 СП 22.13330.2016, п.7.7.6 СП 24.13330.2021)
- Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства;
(п.4.7 СП 20.13330.2016, п.4.17 СП 22.13330.2016, п.4.6 СП 25.13330.2020, п.4.15 СП 47.13330.2016)
- Опытные значения сопротивления, силы пучения и теплофизические характеристики мерзлых грунтов;
(п.5.9 СП 25.13330.2020, п.7.4.3 СП 25.13330.2020, п.Б.5 СП 25.13330.2020, п.Б.7 СП 25.13330.2020)
- Расчет на прогрессирующее обрушение.
(п.6 ст.16 ФЗ №384, п.5.2.6 ГОСТ 27751-2014, п.5.1 СП 296.1325800.2017)

Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства

- разработка рекомендаций к техническому заданию и программе инженерных изысканий;
- оценка и анализ материалов инженерных изысканий;
- разработка нестандартных методов расчета и анализа;
- оценка геологических рисков;
- прогноз состояния оснований и фундаментов проектируемого объекта с учетом всех возможных видов воздействий;
- геотехнический прогноз влияния строительства на окружающую застройку, геологическую среду и экологическую обстановку;
- разработка программы геотехнического и экологического мониторинга;
- выявление возможных сценариев аварийных ситуаций;
- разработка технологических регламентов на специальные виды работ;
- выполнение опытно-исследовательских работ;
- обобщение и анализ результатов всех видов геотехнического мониторинга, их сопоставление с результатами прогноза;
- оперативная разработка рекомендаций или корректировка проектных решений на основании данных геотехнического мониторинга при выявлении отклонений от результатов прогноза.

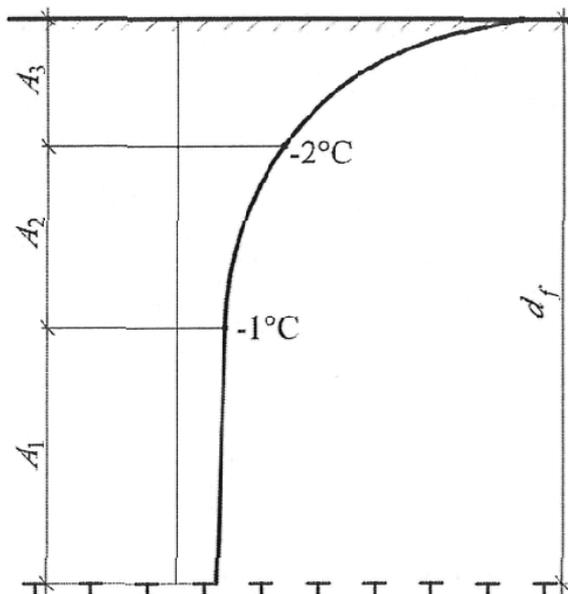
Опытные значения сопротивлений и теплофизических характеристик мерзлых грунтов

- При наличии результатов лабораторных испытаний по определению R_{af} и R_{sh} несущую способность следует определять по этим значениям, а не по табличные значения приложения В СП 25.13330.2020;
- Испытания следует проводить при температуре, соответствующей расчетному режиму грунтов. Рекомендуется проводить испытания при двух температурах, равным наибольшему и наименьшему значениям температуры грунтов в рабочей зоне свай;
- При определении R_{af} и R_{sh} для температур, отличающихся от температуры лабораторных испытаний как в большую, так и в меньшую стороны, следует пользоваться табличными значениями СП 25.13330.2020 при соответствующей температуре, умноженными на переходных коэффициент, определенный как отношение результата лабораторного испытания к табличному значению при температуре проведения лабораторного испытания;
- При наличии лабораторных данных при нескольких температурах для промежуточных значений температуры следует применять линейную интерполяцию;



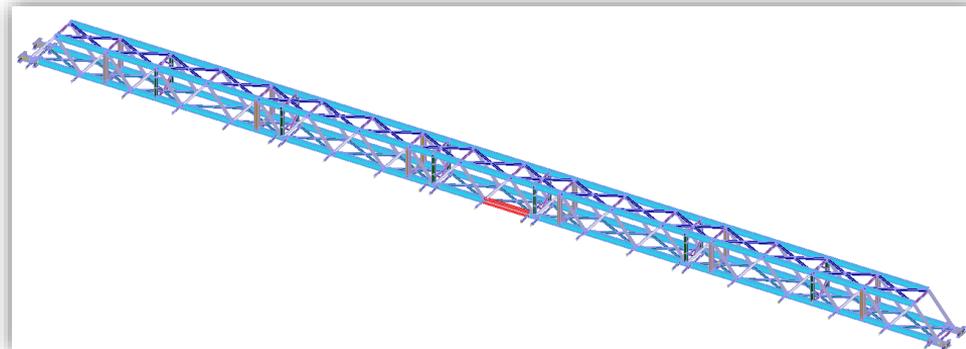
Опытные значения удельной касательной силы пучения

- Удельные касательные силы морозного пучения для грунтов в пределах глубины сезонного промерзания-оттаивания следует определять при температурах минус 1,0 °С, минус 2,0 °С, минус 6,0 °С (п. 7.4.3 СП 25.13330.2020, п.Г.3 СП 24.13330.2021);
- При температуре грунта до глубины сезонного промерзания в конце зимнего периода ниже минус 2,0 °С касательные силы морозного пучения должны определяться только при одной температуре, равной минус 6,0 °С.

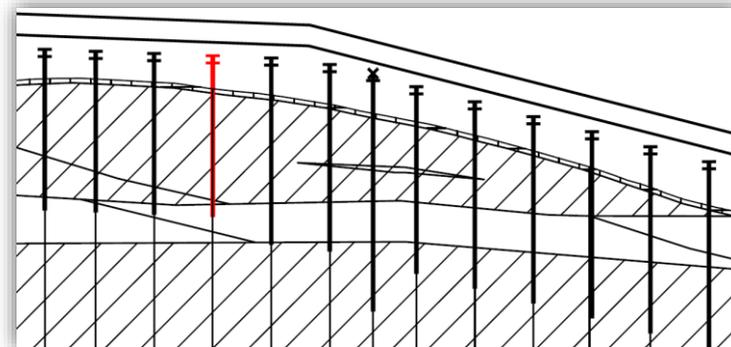


Расчет на прогрессирующее обрушение

- Отказ одного элемента надземной несущей строительной конструкции

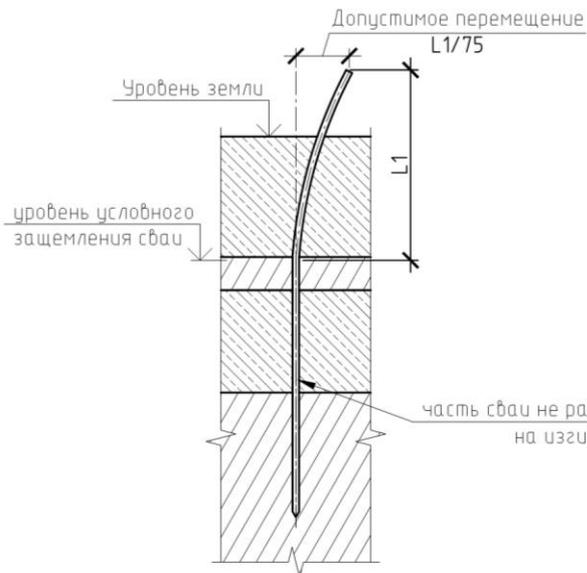


- Отказ одной из свай

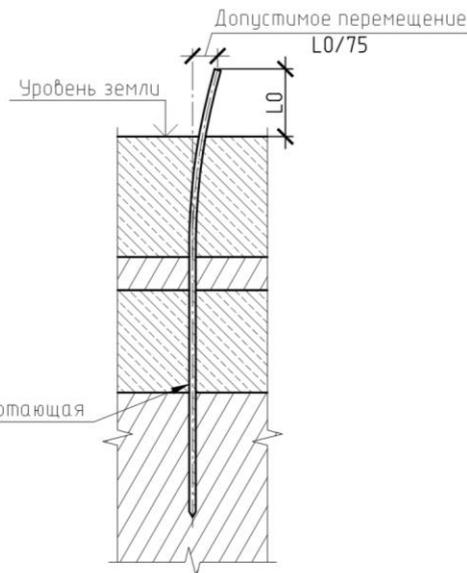


Допустимые горизонтальные перемещения строительных опор под технологические трубопроводы

Учёт допустимого перемещения верха опор $1/75$ от уровня условной заделки



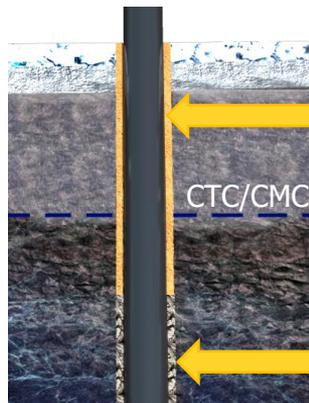
Учёт допустимого перемещения верха опор $1/75$ от уровня земли



- **СП 43.13330.2012:** предельная величина горизонтального перемещения верха опоры устанавливается заданием на проектирование, а при отсутствии специальных указаний принимается равной $1/75$ расстояния от верха опоры **до поверхности грунта**;
- **СП 24.13330.2021:** При расчете свай всех видов по прочности материала сваю допускается рассматривать как стержень, жестко защемленный в грунте в сечении, **расположенном от подошвы ростверка на расстоянии $L1$** ;
- **СП 20.13330.2016 (до изм.№3):** Для элементов конструкций зданий и сооружений, предельные прогибы и перемещения которых не оговорены настоящим и другими нормативными документами, вертикальные и горизонтальные прогибы и перемещения от постоянных, длительных и кратковременных нагрузок не должны превышать **$1/75$ вылета консоли**.

Обеспечение технологичности производства работ буропускных свай

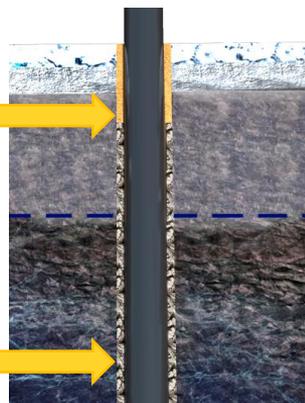
Несущая способность
свай не обеспечена



песок

раствор

Сила пучения
превышает допустимую

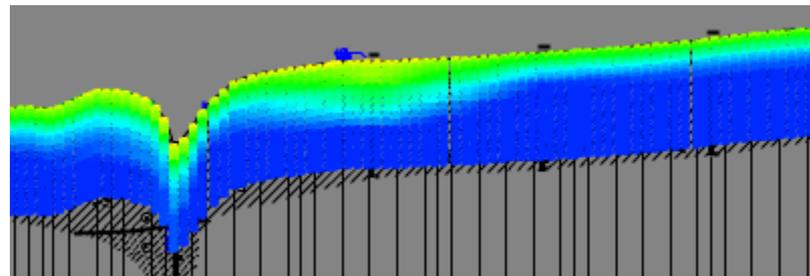


В случае заполнения пазух лидерных скважин буропускных свай раствором до уровня земли, площадь боковой поверхности смерзания фундамента в пределах расчетной глубины сезонного промерзания-оттаивания принимается по диаметру лидерной скважины, коэффициент смерзания γ_{sh} принимается по бетону.

- **СП 25.13330.2020:** Для буропускных свай пазухи в слое сезонного промерзания-оттаивания заполнять непучинистым материалом (сухой песок и др.);
- **СП 284.1325800.2016:** При погружении свай на проектную отметку раствор должен выжиматься на поверхность земли, что служит свидетельством полного заполнения раствором пространства между стенками скважины и поверхностью свай;
- **СП 45.13330.2017:** При буропускном способе погружения висячих свай должны быть приняты меры, обеспечивающие полное заполнение пазух между стенками скважины и свайей цементно-песчаным или другим специальным раствором (погружение свай методом вытеснения предварительно залитого раствора, дополнительное уплотнение раствора вибрацией и т.п.)

Применение теплотехнического прогноза

- шкала на замер;
- прогнозная шкала на 1 год эксплуатации;
- прогнозная шкала на последний год эксплуатации без ТСГ;
- прогнозная шкала на последний год эксплуатации с ТСГ;
- приращения температур при применении типизации по ИГУ.



Замер: Прогноз: 1
 Черная Красная Черная Красная

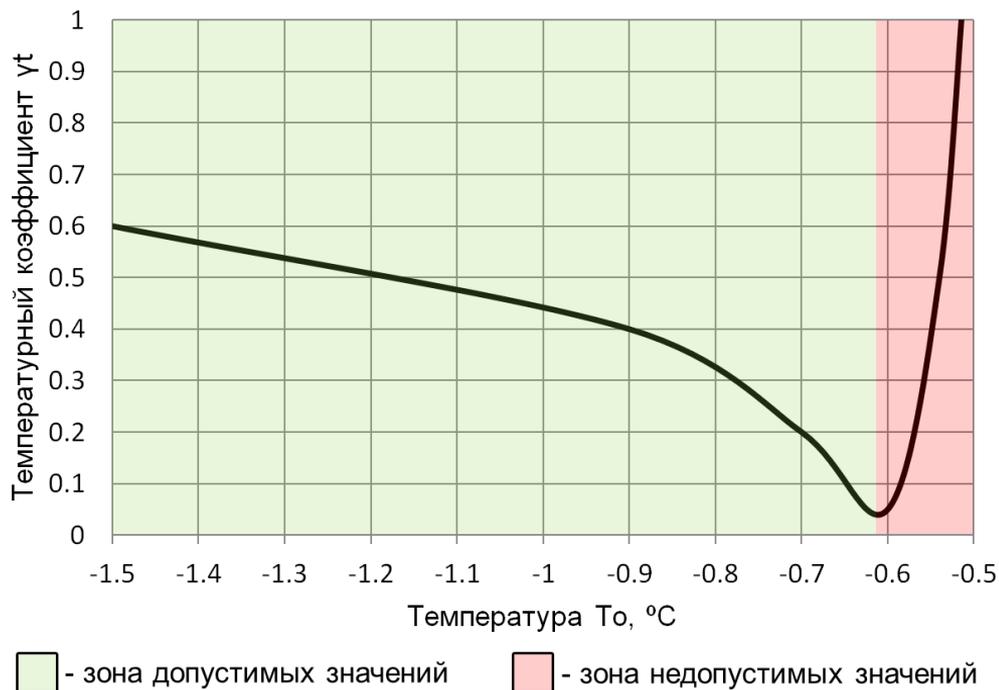
Н, м	Т	Н, м	Т нач.	Т кон.	Т кон,ТСГ
1	-1.1	1	-0.6	1.6	-0.1
2	-1.1	2	-1.5	-0.4	-0.6
3	-1.4	3	-1.6	-0.8	-1.2
4	-1.5	4	-1.6	-1.1	-1.8
5	-1.7	5	-1.6	-1.2	-2
6	-1.8	6	-1.7	-1.3	-2.1
7	-2	7	-2	-1.6	-2.3
8	-2.1	8	-2.1	-1.8	-2.4
9	-2.2	9	-2.2	-1.9	-2.5
10	-2.3	10	-2.2	-2	-2.5
11	-2.3	11	-2.2	-2	-2.6
12	-2.4	12	-2.3	-2.2	-2.4
13	-2.4	13	-2.3	-2.2	-2.3
14	-2.4	14	-2.3	-2.2	-2.3
15	-2.4	15	-2.3	-2.2	-2.3

ИГУ: 2
 Черная Красная

Н, м	ΔТ нач.	ΔТ кон.	ΔТ кон,ТСГ
1	0.86	1.33	0.15
2	-0.08	-0.17	-0.39
3	0.02	-0.3	-1.21
4	0.29	0.16	-1.35
5	0.28	0.3	-1.44
6	0.2	0.33	-1.49
7	0.17	0.37	-1.42
8	0.16	0.42	-1.37
9	0.07	0.37	-1.25
10	0.01	0.33	-0.87
11	0.05	0.39	-0.55
12	0.01	0.35	-0.33
13	0.08	0.42	-0.27
14	0.05	0.39	-0.23
15	0.04	0.36	-0.18

Допустимые значения температурного коэффициента γ_t

При понижении температуры T_0 – температурный коэффициент γ_t должен увеличиваться.
В случае, если при понижении температуры T_0 температурный коэффициент γ_t уменьшается – необходимо изменять исходные данные (увеличение длины свай, охлаждение грунтов или пр.).



Проектирование свайных фундаментов при обустройстве нефтяных и газовых месторождений:

- включает в себя сооружения нормального и повышенного уровня ответственности. Для повышенного необходимо учитывать дополнительные требования;
- выполняется как для мерзлых, так и для не мерзлых грунтов;
- требует находить оптимизацию проектных решений с сохранением надежности. Для этого проводится работа по изменению нормативных требований с разработчиками;
- ведется с получением разъяснений при коллизиях в нормативной документации.

Расчетные предпосылки и применяемые методики позволяют снизить риски на ГГЭ, выбрать наиболее оптимальное конструктивное решение с привязкой к стоимости, помогают проектировщикам при обосновании решений.



НК «РОСНЕФТЬ» - НТЦ»

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Спасибо за внимание!

Дубров Александр Дмитриевич

Главный специалист АСО №2

г. Краснодар, ул. Красная, 54

тел. +7 (861) 202-79-89

сот. +7 (988) 353-48-81

e-mail: addubrov@ntc.rosneft.ru