

УДК 69.051:624.13

ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ ПРИТОЧНО-ОХЛАЖДАЕМЫХ СВАЙ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

¹Окороков Н.С., ²Коркишко А.Н.¹ООО НПО «ФундаментСтройАркас», Тюмень, e-mail: ok-bk@mail.ru;²ФГБОУ «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: alexandr.korkishko@mail.ru

В данной статье представлен прогнозный расчет приточно-охлаждаемых свай в программном комплексе FROST 3D UNIVERSAL. В строительстве существует большой класс задач, когда необходимо рассчитать температурный режим вечномерзлых грунтов оснований для сооружений и зданий, расположенных в области влияния многих зон с различными теплофизическими и грунтовыми условиями. Прогнозный расчет температур грунтов выполнен для прожекторной мачты с инженерно-геологическими условиями Тагульско-го месторождения. В данной статье описаны типы грунтов, исходные характеристики грунтовых условий, температуры грунтов, как задается расчетная область, принимаемые граничные условия, обозначены ключевые понятия, такие как «термоопоры» и «охлаждаемые сваи». Произведен анализ полученных данных после решения теплофизической задачи программным комплексом. Анализ результатов расчета показал, что несущая способность свай на сжимающие и выдергивающие нагрузки с учетом температурного коэффициента обеспечивается, а мерзлое состояние грунтов сохраняется. В последующие расчетные периоды температура грунта продолжает понижаться, обеспечивая мерзлое состояние грунтов и несущую способность свай на весь период эксплуатации прожекторной мачты. В статье приведены графические рисунки, в которых показано изменение температур с помощью изолиний.

Ключевые слова: вечная мерзлота, криолитозона, методы термостабилизации грунтов, охлаждаемая свая, приточно-охлаждаемые сваи, прогнозные расчеты, теплотехнический расчет

FORECAST CALCULATION OF SUPPLY-COOLED PILES ON THE EARTH FROZEN SOILS

¹Okorokov N.S., ²Korkishko A.N.¹FundamentStroyArcos, Tyumen, e-mail: ok-bk@mail.ru;²Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: alexandr.korkishko@mail.ru

This article presents a forecast calculation of air-cooled piles in the FROST 3D UNIVERSAL software. In construction, there is a large class of problems when it is necessary to calculate the temperature regime of the permafrost soils of bases for structures and buildings located in the area of influence of many zones with different thermal and soil conditions. The predicted calculation of soil temperatures was performed for the projector mast with the engineering and geological conditions of the Tagul'skoye field. This article describes the types of soils, the initial characteristics of ground conditions, soil temperatures, how the design area is defined, and the boundary conditions that are adopted, as well as key concepts such as «thermo supports» and «cooled piles». The analysis of the received data after the decision of a thermophysical problem by the program complex is made. Analysis of calculation results showed that the load-bearing capacity of piles for compressive and pulling loads, taking into account the temperature coefficient is ensured, and the frozen state of soils is preserved. In subsequent calculation periods, the temperature of the ground continues to decrease, providing a frozen ground condition and the bearing capacity of the piles for the entire period of operation of the projector mast. The article presents graphical drawings showing the temperature changes with isolines.

Keywords: permafrost, cryolithozone, methods of soil thermal stabilization, cooled pile, intake-cooled piles, forecast calculations, heat engineering calculation

Охлаждаемые сваи – это вид термоопор, который является одним из вариантов стабилизации температурного режима грунтов оснований, которая происходит из-за переноса температуры наружного воздуха в грунт. Термоопоры – это вид фундаментов (самоохлаждающихся воздушных опорных систем), позволяющий самостоятельно, без дополнительных охлаждающих мероприятий поддерживать температурный режим окружающих вечномерзлых грунтов, применяемый как способ глубинного охлаждения и погружаемый в мерзлый грунт на 15 м и более. Неоспоримым преимуществом является

их долговечность и устойчивость к суровым условиям, а также то, что она может являться термоскважиной для измерения температуры грунтов [1].

Предварительное охлаждение мерзлых оснований рекомендуется в районах со среднегодовой температурой наружного воздуха ниже -4°C . Предварительное охлаждение оснований позволяет сократить время вмерзания свай и сроки передачи проектных нагрузок. За счёт перевода пластично-мёрзлых грунтов в твёрдо-мёрзлое состояние и понижения температур грунтов может быть достигнуто сокращение общего числа свай и их длины [2, 3].

Цель исследования: посредством прогнозных расчетов грунтов и оснований самоохлаждаемых термоопор в программном комплексе FROST 3D UNIVERSAL показать эффективность термосвай, а также возможные варианты оптимизации систем термостабилизации грунтов и оснований в условиях вечной мерзлоты.

Материалы и методы исследования

Методы исследования:

1. Моделирование условий для прогнозного расчёта с учётом имеющихся температур и конструкции свай.

2. Анализ полученных данных о температурах с учетом временного промежутка.

3. Теоретический анализ и обобщение научной литературы по данной теме.

Прогноз был выполнен в расчетном комплексе FROST 3D Universal. Условием прогнозного расчета является то, что в летний период теплообмен между средой и грунтом прекращается и задан нулевым. Данные свай были помещены в условия мерзлых грунтов [4, 5].

Инженерно-геологические условия, принятые для прогнозного расчета, получены в ходе инженерно-геологических изысканий, температуры грунта получены с помощью применения термоизмерительной гирлянды или термокосы [6]. В разрезе по скважине 77УКПГ выделены следующие инженерно-геологические элементы (табл. 1).

Температура грунта принята по скважине 77УКПГ на 5 марта 2015 г. (табл. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Расчетная область

Прогноз температурного режима грунтов основания выполнен для прожекторной мачты с молниеотводом на площадке УКПГ при условии установки термосвай. Для выполнения прогнозного расчета выбрана расчетная область размерами 30,0×30,0×30,0 м (по осям x, y, z соответственно).

На верхней границе расчетной области задавались граничные условия третьего рода с учетом снежного покрова (в зоне расположения мачты учтено повышенное снегонакопление). На нижней границе расчетной области принята постоянная температура грунта, равная минус 1,3 °С, согласно термометрии по скважине 77УКПГ. На боковых границах расчетной области – граничные условия второго рода, тепловой поток равен нулю.

В расчете принята укладка насыпи после промерзания сезонно оттаявшего слоя грунта на 0,2 м [7, п. 6.5.4].

Величина насыпного грунта, принятая в расчете, равна 5,9 м.

Для понижения температур грунтов основания и обеспечения несущей способности свай на весь период эксплуатации прожекторной мачты предусматривается установка охлаждаемых свай.

Таблица 1

Характеристика грунтов

Наименование показателя	Индекс	Ед. измер.	ИГЭ-6г Суглинок	ИГЭ-6м Суглинок	ИГЭ-10д Песок пылеватый
Суммарная влажность	W_{tot}	д.ед.	0,642	0,632	0,262
Влажность между ледяных включений	W_m	д.ед.	0,213	0,227	0,256
Плотность грунта в сухом состоянии	ρ_d	г/см ³	0,967	1,015	1,47
Степень засоленности	D_{sal}	%	0,030	0,030	0,020
Концентрация порового раствора	C_{ps}	д.ед.	0,0014	0,0013	0,0008
Температура начала замерзания	T_{bf}	°С	-0,27	-0,27	-0,19
Льдистость за счет ледяных включений, т.е. линз и прослоек	i_i	д.ед.	0,477	0,467	0,03
Суммарная льдистость	i_{tot}	д.ед.	0,552	0,550	0,430

Примечание. ИГЭ-6г – Суглинок льдистый, $i_i = 0,477$; ИГЭ-6м – Суглинок льдистый, $i_i = 0,467$; ИГЭ-10д – Песок пылеватый, льдистый, $i_{tot} = 0,430$.

Таблица 2

Температура грунта по скважине 77УКПГ

Глубина замера температуры, м	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Температура грунта на 05.03.2015, °С	-18,7	-4,4	-1,4	-0,7	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6
Температура грунта на 05.03.2015, °С	-0,8	-1,1	-1,2	-1	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3

В прогнозном расчете учтено локальное тепловое влияние от свай при погружении.

Результаты расчёта

Результаты прогнозного расчета представлены в графической форме – на конец зимнего и летних периодов (рис. 1–3) и в табличной форме (табл. 3).

На весь период эксплуатации несущая способность свай на сжатие, с учетом температурного коэффициента γ_r , и на действие выдергивающих нагрузок совместно с касательными силами морозного пучения не обеспечивается, вследствие чего в прогнозе учтена работа термосвай.

Согласно результатам прогнозного расчета, после первого зимнего периода работы термосвай температура грунтов основания в зоне расположения мачты понижается (рис. 1) и сохраняется к кон-

цу второго лета (рис. 2). В последующие расчетные периоды наблюдается дальнейшее понижение эквивалентных температур грунта по длине смерзания свай, что свидетельствует о сохранении мерзлого состояния грунтов на весь период эксплуатации мачты.

Выводы

Несущая способность свай прожекторной мачты с молниеотводом на сжатие, с учетом температурного коэффициента γ_r , и на действие выдергивающих нагрузок совместно с касательными силами морозного пучения не обеспечивается на весь период эксплуатации. Для понижения температур грунтов основания прожекторной мачты и обеспечения несущей способности свай на весь период эксплуатации в прогнозе учтена работа охлаждаемых свай.

Таблица 3

Результаты расчетов

Глубина замера температуры грунтов от отметки поверхности земли (42,50 м)	Температура грунта на начало расчета (15 октября), °C	Температура грунта по свае № 1 на конец летних периодов (1 октября), °C		
		Первый год	Второй год	Третий год
1,00	0,95	2,33	2,13	2,05
2,00	0,89	0,72	0,40	0,28
3,00	-0,84	-0,23	-0,39	-0,49
4,00	0,78	-0,31	-0,55	-0,74
5,00	0,73	-0,46	-0,82	-1,05
6,00	-0,03	-0,85	-1,31	-1,56
7,00	-0,42	-1,35	-1,78	-2,01
8,00	-1,21	-1,60	-1,90	-2,07
9,00	-0,73	-1,51	-1,72	-1,85
10,00	-0,74	-1,43	-1,60	-1,70
11,00	-0,85	-1,38	-1,53	-1,61
12,00	-0,70	-1,35	-1,50	-1,56
13,00	-0,62	-1,33	-1,47	-1,53
14,00	-0,85	-1,31	-1,44	-1,49
15,00	-1,09	-1,28	-1,41	-1,46
16,00	-1,16	-1,26	-1,38	-1,42
17,00	-1,05	-1,24	-1,34	-1,39
18,00	-1,18	-1,22	-1,31	-1,35
19,00	-1,20	-1,21	-1,28	-1,32
20,00	-1,20	-1,20	-1,26	-1,29
Температура грунта под концом свай, (T_z), °C	-1,14	-1,26	-1,37	-1,42
Эквивалентная температура по длине смерзания свай, (T_c), °C	-0,82	-1,35	-1,56	-1,67
Длина смерзания свай (без учета насыпного грунта), м	9,80	10,30		

Примечание. Расчетный период – три года.

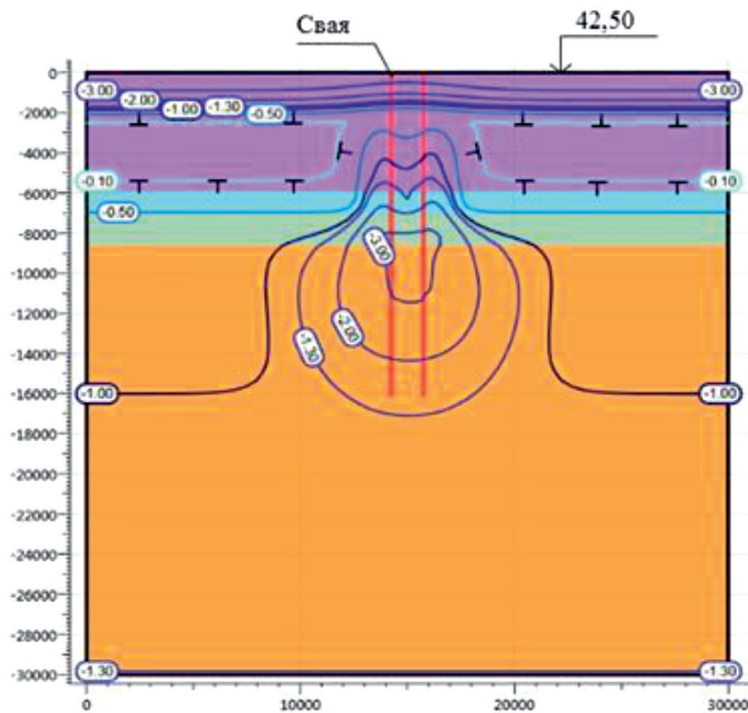


Рис. 1. Температура грунта на конец первой зимы

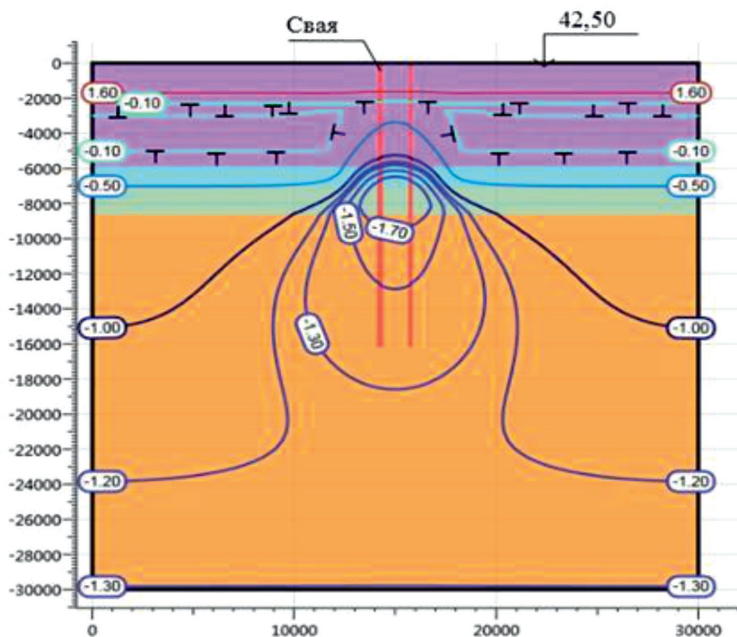


Рис. 2. Температура грунта на конец второго лета

Согласно результатам прогнозного расчета после первого цикла работы термосвай, температуры грунтов основания понижаются, мерзлое состояние грунтов сохраняется

на конец первого летнего периода. Несущая способность свай на сжатие и на выдергивающую нагрузку совместно с касательными силами морозного пучения обеспечивается.

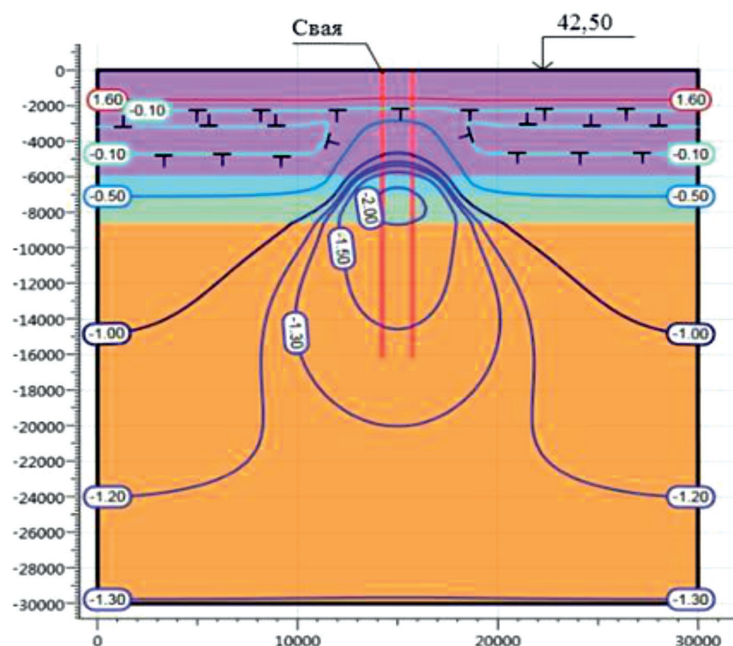


Рис. 3. Температура грунта на конец третьего лета

В последующие расчетные периоды температура грунта продолжает понижаться, обеспечивая мерзлое состояние грунтов и несущую способность свай на весь период эксплуатации прожекторной мачты.

Список литературы

1. Пассек В.В., Петров В.И. Термоопоры – эффективный и перспективный вид конструкций на вечной мерзлоте: монография. М.: ЦНИИС, 2009. 104 с.
2. Справочник по строительству на вечномёрзлых грунтах. Ленинград: Стройиздат Ленинградское отделение, 1977. 551 с.
3. Набоков А.В., Огороднова Ю.В., Крижановская Т.В., Коркишко О.А., Применение различных видов систем температурной стабилизации на объектах нефтегазовой отрасли // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2017 № 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_116_Nikishin_N.pdf_e95a7d7f58.pdf (дата обращения: 15.08.2018).
4. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах / НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсера Гострострой СССР. М.: Стройиздат, 1980. 303 с.
5. Емельянова Т.Я. Практикум по мёрзлотоведению. Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. 120 с.
6. Крылов Д.А., Мельникова Ю.С. Математическое моделирование распределения температурных полей в криолитозоне. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. С. 94–97.
7. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах // Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2012. 102 с.