

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ЛОКАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ НА МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Я.Б. Горелик, В.Н. Феклистов, А.Н. Нестеров

Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230, Россия

В соответствии с установленными нами причинами деформации свайных фундаментов (недостаточная глубина погружения и пластично-мерзлое состояние пучинистого грунта) предложен комплекс мероприятий по термостабилизации грунтов оснований этих фундаментов. Комплекс мероприятий включает в первоочередном порядке использование средств по понижению температуры грунта до твердомерзлого состояния (с помощью термосифонов) и последующее за этим применение пенного покрытия по поверхности грунта в пределах контура фундаментов для усиления эффекта остаточного охлаждения.

Выполненные расчеты и последующие наблюдения показали, что предлагаемая схема термостабилизации обеспечивает требуемое значение остаточного охлаждения в пределах $-0,5$ °С, что с учетом начальной температуры грунта достаточно для перевода их в твердомерзлое состояние.

Проведенные в 1996 г. наблюдения сразу после зимнего периода охлаждения термосифонами и устройства теплоизоляции в начале летнего сезона показали, что в основании всех свайных кустов накоплены существенные запасы холода и глубина сезонного оттаивания грунта в пределах свайных фундаментов концу лета уменьшилась на 1,5—2 м по сравнению с предыдущим годом. Это позволило снизить активный слой действия сил пучения на фундаменты и на соответствующую величину увеличить длину анкерной части свай.

Наблюдения за поведением термостабилизированных таким образом оснований фундаментов продолжаются.

Мерзлый грунт, свая, термостабилизация, термосифон, пена, теплоизоляционное покрытие

STABILIZATION OF THE PILE BASIS OF THE LOCAL STRUCTURE ON THE FROZEN GROUND

Ya.B. Gorelic, V.N. Feclistov, A.N. Nesterov

Earths Cryosphere Institute SB RAS, 625000, Tyumen, 1230, Russia

According to the reasons, of deformation instablished by us, of the pile bases (insufficient depth of imbedding and plastic-frozen state of the frost heave ground) a complex of measures on thermostabilization of the ground of these bases is offered. The complex of measures includes in the prime order use of tools on lowering temperature of the ground up to hard-frozen state (with the help of thermosyphon) and consequent application of foam cover on the surface of the ground within the limits of outline of the bases for enhancing the effect of residual cooling.

Our calculations and consequent observations have shown that the offered scheme thermostabilization provides the required value of residual cooling within -0.5 °C, which in view of initial temperature of the ground is sufficient for changing them into hard-frozen state.

The observations, carried out in 1996, immediatly after winter period of cooling by thermosyphon and thermoinsulation devices at the beginning of summer season have shown that in the base of all pile of bushes essential stores of cold are accumulated and the depth of seasonal thawing of the ground within the pile bases to the end of summer decreased by 1,5—2 m in comparison with the previous year. This allowed us to decrease the active layer of operation of frost heave forces on the bases and to increase the anchor length of a part of piles by corresponding value.

The observations of the behavior of thermostabilized ground bases are in progress.

Ground freezing, pile, thermal stabilization, thermosyphon, foam, thermalinsulation, cover

ВВЕДЕНИЕ

В ряде случаев при эксплуатации свайных фундаментов локальных сооружений станций радиорелейных линий отмечаются существенные ежегодные деформации. Ликвидация последствий этих деформаций приводит к удорожанию эксплуатации станции и ухудшению качества их работы.

Как правило, такие станции расположены в районах залегания высокотемпературных грунтов, находящихся в пластично-мерзлом состоянии. Сложные инженерно-геологические условия в сочетании с отклонениями от проектных требований при возведении свайных фундамен-

тов привели к практически аварийному их состоянию на данный момент.

Проведенные в период 1995—1996 годов обследование состояния свайных фундаментов на одной из таких станций в 120 км севернее г. Новый Уренгой показало срочную необходимость проведения специальных мероприятий по термостабилизации грунтов оснований с целью предотвращения дальнейшей их деформации. Предварительные результаты по термостабилизации таких фундаментов излагаются в данной работе.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛОЩАДКИ

Станция расположена в 120 км севернее г. Новый Уренгой на водораздельном участке долины р. Пур.

Территория, прилегающая к площадке, бугристая, растительный покров представлен кустарником карликовой березы, ягодником, мхом. Поверхность характеризуется близким расположением грунтовых вод, встречаются термокарстовые образования. Поверхность имеет уклон в северном направлении, превышение верхней точки над нижней в пределах площадки составляет примерно 1,2 м. Район расположения площадки относится к зоне несплошного распространения многолетнемерзлых пород [Баулин, 1995]. В пределах площадки моховой покров значительно нарушен, местами покрыт выбуренными породами, строительным мусором. Вблизи кустов свай растительный покров отсутствует, покрыт слоем выбуренных пород. Вблизи свай имеются конусообразные понижения, заполненные водой, дренаж отсутствует.

Лабораторное исследование кернов, отобранных в пределах контура площадки с различных глубин, показало, что грунты основания находятся в пластично-мерзлом состоянии. Их температура на глубине заделки нижнего торца свай не превышает $-0,6^{\circ}\text{C}$ (табл. 1).

Таблица 1. Физические характеристики грунтов

Глубина отбора проб, м	Классификация	Объемный вес скелета, кг/м ³	Суммарная влажность, доли ед.	Температура начала замерзания, °C
0,75—1,5	Супесь пылеватая	1200	0,35	-0,04
3,5—5	Суглинок	1400	0,31	-0,06

Согласно [СНиП II-18-76, 1997], температура перехода данного типа грунтов в твердомерзлое состояние составляет -1°C .

ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНДАМЕНТОВ СООРУЖЕНИЯ

Фундаменты станции представляют собой пять кустов свай, удаленных друг от друга на

расстояние 40—50 м. Один из кустов является центральной опорой мачты, остальные — анкерные фундаменты оттяжек. Куст центральной опоры имеет 6 полых металлических свай, погруженных на глубину от 4 до 6 м. Кусты фундаментов оттяжек имеют по 8 аналогичных свай с фактической глубиной погружения от 3 до 6 м. В пределах каждого куста сваи обвязаны ростверком. Важной особенностью свайных кустов является их относительно малая протяженность в плане 3×3,5 м. Согласно проектной документации предлагалось осуществлять охлаждение грунтов основания путем принудительной циркуляции воздуха через полость свай в зимнее время года в течение всего срока эксплуатации станции, что в действительности не было осуществлено. В результате на протяжении десяти лет эксплуатации станции наблюдались деформации пучения свай фундаментов оттяжек мачты с интенсивностью примерно 30—50 мм/г. Эти деформации носили неравномерный характер, что вызывало заметные изгибы ростверков. Деформации фундаментов центральной опоры визуально не фиксируются, но заметны при инструментальном наблюдении и являются осадками с малой интенсивностью (<1 мм/г).

Причины, вызывающие развитие деформаций фундаментов, заключаются в несоблюдении температурного режима грунтов основания и недопущения части свай до проектной отметки.

КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

В соответствии с установленными причинами деформации, разработанный комплекс мероприятий по устранению негативных процессов включал в первоочередном порядке использование средств по понижению температуры грунтов до твердомерзлого состояния и ее стабилизацию на заданном уровне. Принципы такой термостабилизации изложены в монографии [Ершов и др., 1991]. Основным средством для понижения температуры грунтов выбран термосифон сезонного действия, эффективность действия которого в аналогичных ситуациях многократно проверена [Вялов и др., 1979; Таргулян, 1976; Макаров, 1985]. Однако сложность данного конкретного случая заключается в малой протяженности свайных кустов в плане. Как показано [Горелик и др., 1984; Gorellik, 1996], остаточное охлаждение в конце летнего периода в основании площадки с размерами в плане менее чем 12×12 м может оказаться недостаточным для перевода грунтов в твердо-мерзлое состояние. Для усиления эффекта остаточного охлаждения путем предотвращения разогрева грунта с его поверхности в летнее время года использовано пенное покрытие по его поверх-

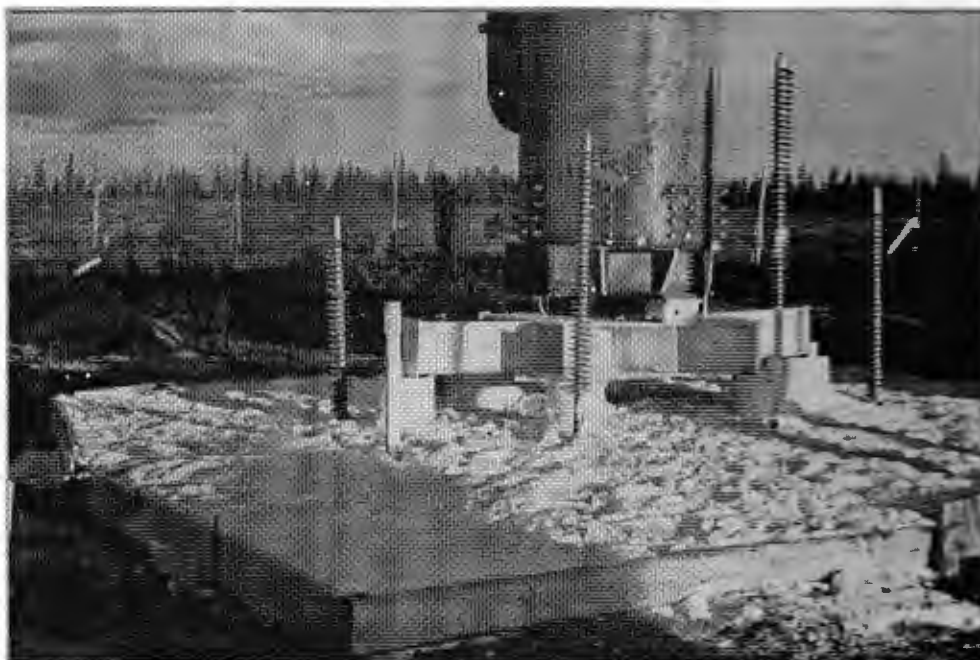


Рис. 1. Общий вид фундамента центральной опоры.

ности в пределах контура фундаментов. Пенное покрытие наносится по грунту в виде жидкой пульпы, которая превращается в твердую пенную массу в течение часа. Эффективность пенной теплоизоляции и ее устойчивость к внешним воздействиям проверена в условиях полигона на полуострове Гыдан [Феклистов и др., 1989; Feclistov et al., 1996].

Пенный экран представляет собой слой полимерной пены на основе карбамидоформальдегидной смолы марки КФ-МТ. Установка экранов на каждом из свайных оснований осуществляется с помощью передвижной пеногенерирующей установки. Общая площадь установленных пенных экранов составила 250 м² (по 50 м² на куст).

ПАРАМЕТРЫ СВЕЖЕПОЛУЧЕННОЙ ПЕНЫ

Кратность	10—14
Толщина слоя	20 см
Дисперсность пены	0,1—0,25 мм
Плотность пены	70—100 кг/м ³
Начальная влажность	до 400 вес. %
Плотность пены в воздушно-сухом состоянии	14—20 кг/м ³
Прочность в воздушно-сухом состоянии	до 0,1 мПа
Коэффициент теплопроводности в воздушно-сухом состоянии	0,03 Вт/м·град

Выполненные расчеты температурного режима грунтов показали, что предлагаемая схема термостабилизации должна обеспечить требуемое значение остаточного охлаждения в преде-

лах $-0,5$ °С, что с учетом начальной температуры грунтов достаточно для перевода их в твердомерзлое состояние. Конструктивное исполнение системы термостабилизации включает парожидкостные термосифоны диаметром 57 мм в количестве 1 термосифон на каждую несущую сваю и пенный термоизолирующий экран по поверхности грунта с выходом за пределы контура фундамента 1,5 м и толщиной 0,2 м. Термосифоны установлены в сентябре 1995 г., а пенный экран — в начале июня 1996 г. Общий вид исполнения конструктивных мероприятий показан на фотографиях (рис. 1, 2).

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ДЕФОРМАЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Инструментальные наблюдения на фундаментах станции проводились 4 раза: в начале и

Таблица 2. Результаты измерений деформации свай

Дата измерения	Изменение положения меток Δh (мм) для свай в кусте по отношению к предыдущему положению								
	Δh_1^1	Δh_1^2	Δh_2^1	Δh_2^2	Δh_3^1	Δh_3^2	Δh_4^1	Δh_4^2	Δh_5^1
24.09.95	-40	-1	+4	+13	+4	+4	-15	-4	-1
23.06.96	+18	+21	+63	+66	+13	+15	+32	+53	0
21.09.96	+4	+2	+6	+6	-4	+2	-2	+1	0

Примечание. Верхний индекс обозначает номер свай, нижний — номер куста; знак „-“ соответствует осадке, знак „+“ — подъему свай относительно начального положения; начальное положение меток соответствует измерению на 25.06.95.



Рис. 2. Общий вид фундамента оттяжек.

конце летнего периода в 1995—1996 гг. Поскольку проектные температурные скважины оказались забиты льдом, измерение температуры производилось в полостях наиболее глубоких свай. Вновь оборудованные температурные скважины в количестве 2 шт. были установлены в сентябре 1995 г., а измерения в них выполнены только в 1996 г. Одна из них установлена в зоне действия термоколонки на расстоянии 0,5 м от нее, вторая — вне зоны их влияния на расстоянии 15 м от ближайшего куста. Динамика температуры в основании одного из кустов фундаментов оттяжек и центральной опоры показана на рис. 3, 4.

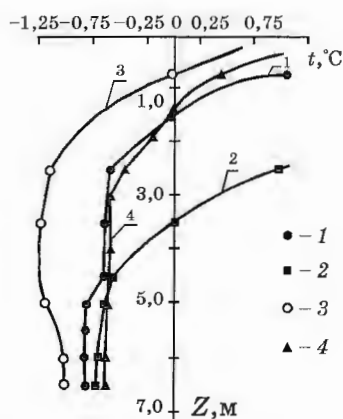


Рис. 3. Динамика температуры в основании свайных фундаментов оттяжек мачты. Куст № 1, свая № 8.

1 — 25.06.95; 2 — 25.09.95; 3 — 25.06.96; 4 — 22.09.96.

Результаты измерения температуры в термоскважинах приведены на рис. 5.

Динамика изменения глубины слоя сезонного оттаивания в плане кустовых площадок показаны на рис. 6. Приведенные на этих рисунках результаты характерны для всех свайных кустов площадки станции.

Данные по измерению деформаций свай в фундаментах приведены в табл. 2.

ВЫВОДЫ

На основании представленных данных можно сделать следующие выводы: к концу зимнего

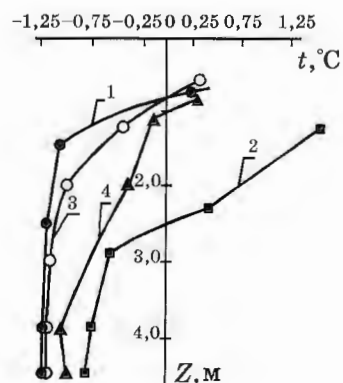


Рис. 4. Динамика температуры в основании фундаментов центральной опоры, свая № 5.

Усл. обозн. см. на рис. 3.

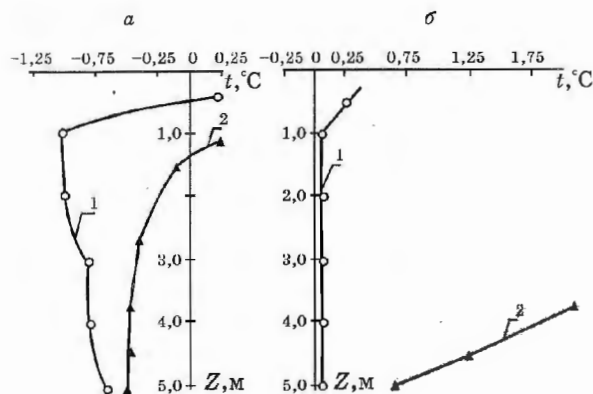


Рис. 5. Динамика температуры в термоскважинах: а — в зоне влияния термоколонок; б — вне зоны влияния термоколонок.

Усл. обозн. см. на рис. 3.

периода 1995—1996 гг. в основании всех свайных кустов накоплены существенные запасы холода. Средняя по глубине ниже оттаявшего слоя температура грунтов составляет $-0,75$ — $-1,0$ °С, что приближается к температуре перехода в твердомерзлое состояние. С учетом замерзания шлама, попавшего в скважины при установке термоколонок, этот эффект является вполне удовлетворительным; температура в контрольной термоскважине, находящейся вне зоны влияния термоколонок, за зимний период не опустилась ниже 0 °С. Это означает, что на площадке станции происходят отепляющие процессы, влияние которых невозможно было бы избежать без выполненных технических мероприятий; к концу летнего периода 1996 г. средняя по глубине ниже слоя сезонного оттаивания температура грунтов составила минус 0,5 °С. Выше отметки 3,5 м, по-видимому впервые за последние несколько лет, образовался слой мерзлого грунта мощностью 1,5—2 м. Это существенно увеличило длину анкерной части свай; глубина сезонного оттаивания грунта в пределах кустов к концу лета 1996 г. снизилась на 1,5—2 м по сравнению с предшествующим годом. Соответственно снизился активный слой действия сил пучения на фундаменты; существенные деформации пучения зафиксированы на конец зимы 1996 г. С нашей точки зрения, они являются естественным следствием активной работы термоколонок, работающих в течение первой зимы, в первую очередь, на замораживание шлама и лишь последние ее месяцы — на охлаждение основания. Как отмечено выше, большая часть поверхности свай в период интенсивного промерзания деятельного слоя находилась в талом грунте, несущая способность которого минимальна. Вследствие этого анкерные силы не могут компенсировать силы пучения, развивающиеся по боковой поверхности в слое сезонного промер-

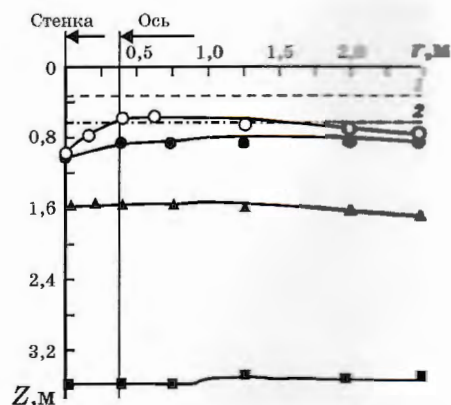


Рис. 6. Глубина сезонного оттаивания на площадке фундамента оттяжек мачты.

Тундра, ненарушенный участок: 5 — 25.06.95; 6 — 25.09.95. Остальные усл. обозн. см. на рис. 3.

зания, что вызывает нарушение устойчивости фундаментов на действие сил трения в первый год работы термоколонок. Вместе с тем выполненные расчеты на устойчивость фундаментов с учетом накопленного в основании холода показывают, что условие устойчивости должно быть выполнено в течение зимы 1997 г.

Наблюдения за состоянием фундаментов станции будут продолжены в июне и сентябре 1997 г.

Литература

- Баулин В.В. Многолетние породы нефтегазоносных районов СССР. М., Недра, 1995, 176 с.
- СНиП II-18-76. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М., Стройиздат, 1977, 48 с.
- Ершов Э.Д., Хрусталева Л.Н., Дубиков Г.И., Тармузин С.Ю. Инженерная геокриология. М., Недра, 1991, 439 с.
- Вялов С.С., Александров Ю.А., Миренбург Ю.С., Федосеев Ю.Г. Искусственное охлаждение грунтов с помощью термосвай // Инженерное мерзлотоведение, М., Наука, 1979, с. 72—91.
- Таргулян Ю.О. Устройство свайных фундаментов в вечномёрзлых грунтах. Л., Стройиздат, 1978, 157 с.
- Макаров В.И. Термосифоны в северном строительстве. Новосибирск, Наука, 1985, 169 с.
- Горелик Я.Б., Измайлов И.Г. Предпостроечное охлаждение грунтов с применением термосвай // Проблемы нефти и газа Тюмени. Тюмень, ЗапСибНИГНИ, вып. 61, 1984, с. 75—88.
- Gorelik J.B. Prognosis method of interaction engineer constructions with permafrost // Proc. of Int. Symp. Building in Gold Regions, China, Charbin, 1996, p. 10—16.
- Феклистов В.Н., Русаков Н.Л., Абдушев И.А., Котлов С.Б. Тепловая рекультивация многолетнемерзлых грунтов пенным экраном в условиях Арктического Севера // Тр. Междунар. симп. „Геокриологические исследования в Арктических районах“. Тюмень, 1989, вып.3, ч. 1, с. 51—58.
- Feklistov V.N., Rusakov N.L. Application of foam insulation to remediation of degraded permafrost // J. Cold Reg. Scie. & Tech., 1996, vol. 24, p. 205—212.

Поступила в редакцию
15 июня 1997 г.