НИИОСП им. Н. М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РУКОВОДСТВО

ПО УСТРОЙСТВУ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ОСНОВАНИЙ

МОСКВА 1979

gost.e-ecolog.ru

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ им. Н. М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР
(НИИОСП им. Н. М. ГЕРСЕВАНОВА)

РУКОВОДСТВО

ПО УСТРОЙСТВУ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ОСНОВАНИЙ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1979

УДК 624.139 : 624.154

Рекомендовано к изданию решением секции строительства фундаментов в условиях сурового климата и на вечномерзлых грунтах научно-технического совета Госстроя РСФСР.

Руководство по устройству свайных фундаментов в вечномерзлых грунтах с предварительным охлаждением оснований/НИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1979 — 31 с. ил.

Руководство по устройству свайных фундаментов в вечномерзлых грунтах с предварительным охлаждением оснований разработано с учетом положений СНиП II-18-76 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» (М., Стройиздат, 1977) и является пособием при проектировании и устройстве замораживаемых и охлажденных оснований, выполняемых в период устройства фундаментов или до сдачи объекта в эксплуатацию, в районах распространения вечномерзлых грунтов с климатическими условиями, при которых повторного или систематического охлаждения грунтов, кроме поверхностного охлаждения через проветриваемые подполья, не требуется.

Руководство рекомендуется для инженеров-проектировщиков и строителей, занимающихся проектированием и строительством зданий и сооружений в районах распространения пластично-мерзлых и других вечномерзлых грунтов с температурами выше —1° С, а также при локальном замораживании талых зон от сносимых зданий, попадающих в контур строящихся сооружений.

Руководство разработано канд. техн. наук Г. Н. Максимовым, научный редактор — канд. геолого-минерал. наук Д. И. Федорович (НИИОСП).

3202000000

Р 00213—446

047(01)-79 Инструкт.-нормат., II вып.—14—78 © Стройиздат, 1979

ПРЕДИСЛОВИЕ

В главе СНиП II-18-76 «Основания и фундаменты зданий на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования» (М., Стройиздат, 1977) даны указания по применению I принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований сооружений, в том числе на пластично-мерзлых грунтах.

Одним из методов строительства по I принципу на пластичномерзлых грунтах при применении свайных фундаментов, разработанных в Институте оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР, является предварительное охлаждение оснований в процессе их устройства.

Способ предварительного охлаждения пластично-мерзлых грунтов оснований был внедрен на ряде объектов Министерства связи и показал его значительную эффективность за счет снижения длины свай и их числа под зданиями не менее чем на 30%. Данные о полученных результатах опубликованы в литературе.

Выпущенные НИИОСП в 1971 г. «Рекомендации по проектированию и устройству искусственного охлаждения грунтов оснований» в настоящее время являются библиографической редкостью.

Настоящее Руководство составлено по заданию Госстроя РСФСР в помощь широкому внедрению способа устройства фундаментов с предварительным охлаждением оснований. При его составлении были учтены и использованы ранее выпущенные документы, литературные источники и опыт проектирования и строительства объектов с предварительным охлаждением оснований.

На основании исследований последних лет в Руководстве уточнены методы расчета, применимость разных способов охлаждения в зависимости от характера грунтов оснований, а также раздел по производству и контролю работ при устройстве предварительно охлажденных оснований.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство разработано в развитие главы СНиП II-18-76 и распространяется на проектирование и устройство предварительного охлаждения пластично-мерзлых грунтов в основании зданий и сооружений с последующим сохранением проектного температурного режима грунтов оснований за счет вентилируемых подполий.

1.2. Предварительное охлаждение мерзлых оснований рекомендуется в районах со среднегодовыми температурами наружного воздуха ниже —4° С, при среднегодовой температуре грунтов t_0 от —0,2 до —1,5° С и сливающемся типе вечномерзлых грунтов.

1.3. Предварительное охлаждение оснований позволяет сократить время вмерзания свай и сроки передачи на них проектных нагрузок. За счет перевода пластично-мерзлых грунтов в твердомерзлое состояние и понижения температур песчаных грунтов может быть достигнуто сокращение общего числа свай и их длины.

1.4. Для предварительного охлаждения грунтов оснований рекомендуется применение следующих основных способов:

а) охлаждение грунтов с поверхности;

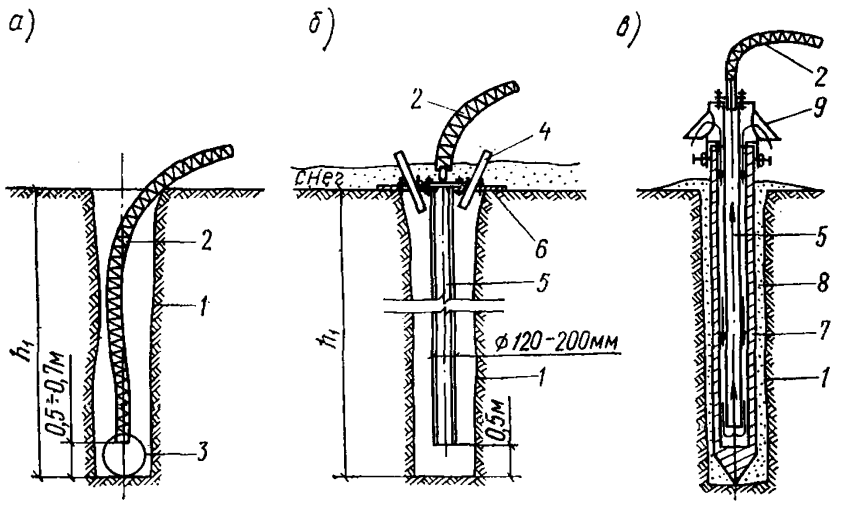


Рис. 1. Схема воздушного радиального охлаждения грунтов

а — в скважине в малоснежных районах; *б* — в скважине в районах, где зимой скорость ветра больше 3 м/с; *в* — охлаждение через полую сваю; *1* — пробуренная скважина; *2* — гибкий шланг; *3* — ограничитель глубины погружения шланга в скважину; *4* — всасывающие трубы; *5* — циркуляционная труба; *6* — щит над скважиной; *7* — полая свая; *8* — грунтовый раствор; *9* — воздухораспределительный наголовник; h_1 — глубина скважины

б) глубинное охлаждение грунтов через скважины, пробуренные для установки свай путем продувки скважин наружным морозным воздухом или заполнением их охлаждающими веществами (рис. 1, 2);

в) глубинное охлаждение грунтов через полые сваи или через погруженные около фундаментов специальные охладительные устройства (рис. 1, 3).

1.5. Охлаждение грунтов с поверхности рекомендуется преимущественно при наличии песчаных грунтов. Глубинное охлаждение грунтов оснований рекомендуется для понижения температуры пластично-мерзлых глинистых грунтов.

1.6. Глубинное охлаждение грунтов рекомендуется производить в основном в зимнее время года, используя для этого наружный морозный воздух. Для охлаждения грунтов оснований в летнее время

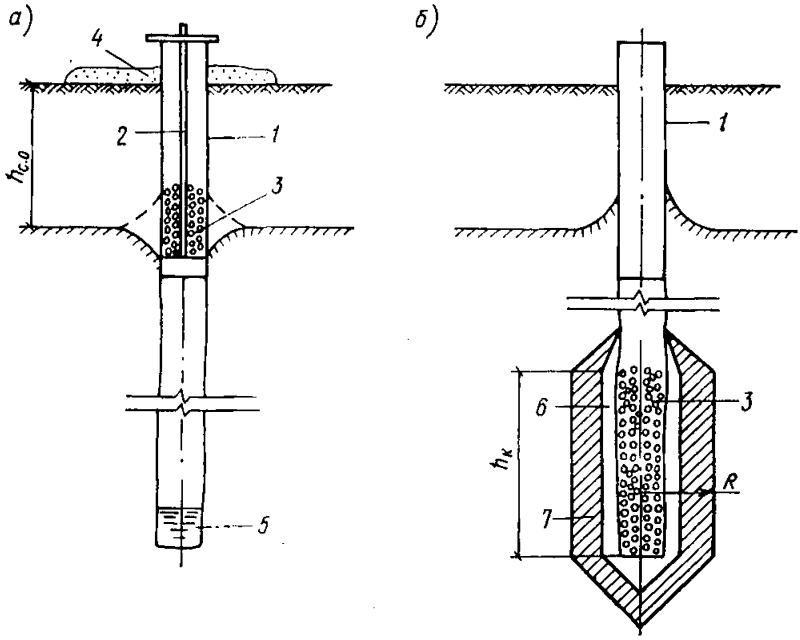


Рис. 2. Схема радиального охлаждения грунтов в летний период углекислотой

а — вмораживание обсадной трубы; *б* — закладка углекислоты в сухую скважину; *1* — обсадная труба; *2* — подвеска с диафрагмой; *3* — углекислота; *4* — поверхностная теплоизоляция; *5* — вода в скважине; *6* — первично охлаждаемая зона; *7* — предельный размер охлаждаемой зоны; h_0 — глубина оттаивания; $h_к$ — слой углекислоты в скважине; R — радиус охлаждения

может быть применена турбохолодильная установка или требуется применение охладительных веществ. Из них наиболее удобно применять твердую углекислоту (сухой лед). В связи с опасностью засоления грунта вокруг скважины применение охладительных смесей на солевой основе не рекомендуется.

1.7. При строительстве зданий на местах сносимых строений, под которыми образовались чаши оттаивания, рекомендуется применять локальное замораживание грунтов около новых фундаментов. Величина замороженной зоны должна обеспечивать сохранение в ней в конце летнего сезона расчетной отрицательной температуры для песчаных грунтов от —0,2 до —0,5° С, для суглинистых грунтов от —0,5 до —0,7° С.

1.8. В теплотехнических расчетах при проектировании предварительного охлаждения оснований учитывается, что в пластично-мерзлых грунтах содержится большое количество незамерзшей воды. Материалы изысканий должны содержать данные о фазовом со-

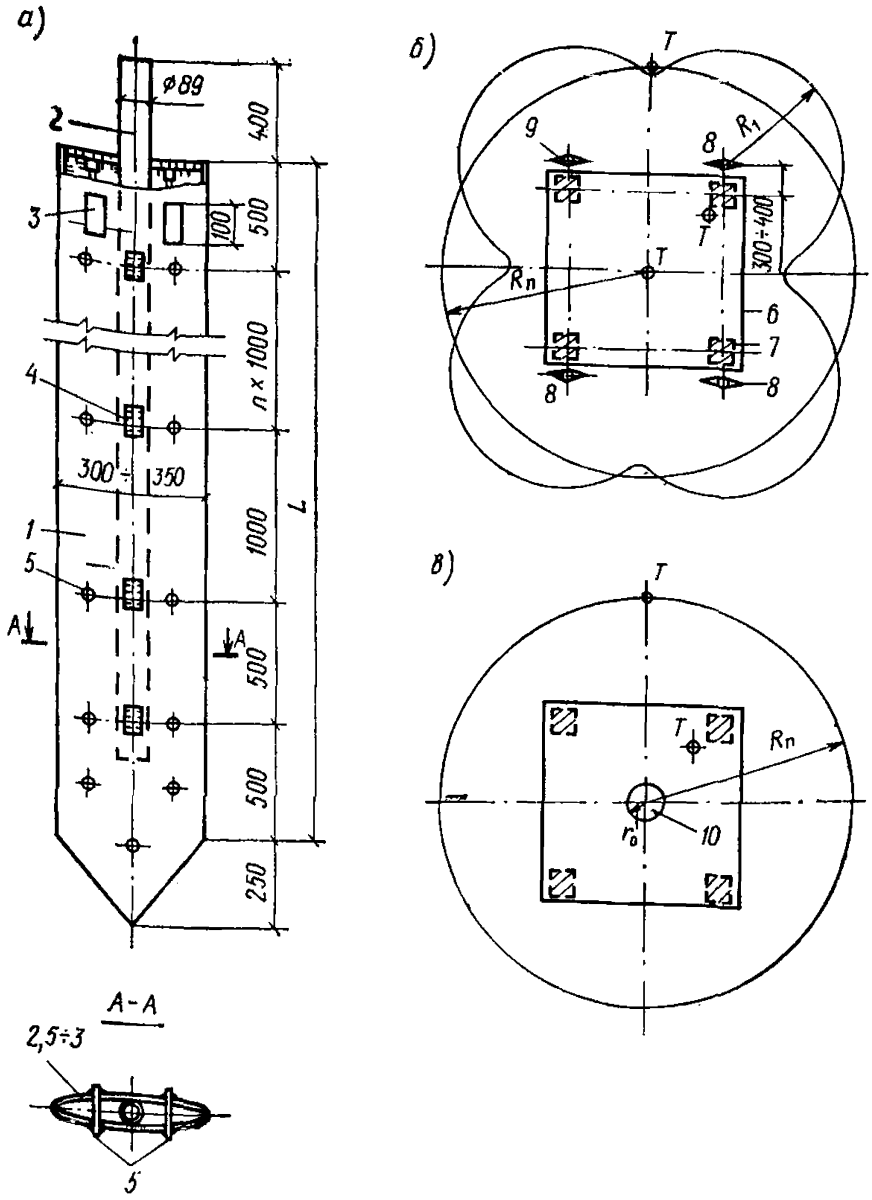


Рис. 3. Схема замораживания грунтов через погруженные охладители

а — линзовидный охладитель; *б*, *в* — замораживание около куста свай; *1* — линзовая оболочка из стального листа 2,5—3 мм; *2* — циркуляционная труба; *3* — окна для засасывания воздуха; *4* — окна для приварки оболочки к циркуляционной трубе; *5* — распорки из круглой стали диаметром 12 мм; *6* — ростверк над сваями; *7* — сваи; *8* — извлекаемые охладители; *9* — охладитель, оставляемый в грунте; *10* — трубчатый охладитель; *L* — длина линзовидного охладителя; R_1 — радиус замораживания около линзовидного охладителя; $R_п$ — радиус общей замороженной зоны; *T* — контрольные температурные скважины; r_0 — радиус трубчатого охладителя

ставе влаги в грунтах при разных температурах, их льдистости за счет ледяных включений $Л_в$, а также о фактическом температурном режиме под проектирующими зданиями на глубину не менее 15 м. Данные изысканий должны отражать и особенности гидрогеологических условий площадки.

2. РАСЧЕТ ОХЛАЖДЕНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ

2.1. Процесс охлаждения грунтов оснований складывается из трех стадий:

на первой стадии грунт охлаждается до низкой температуры, зависящей от хладоносителя;

на второй стадии грунт домораживается до слияния отдельных охлаждаемых зон между собою;

на третьей стадии температуры постепенно выравниваются до расчетных значений и формируется температурное поле, соответствующее стационарному состоянию теплообмена.

2.2. Расчет охлаждения грунтов оснований производится исходя из условий обеспечения под зданием на границе сезонно оттаивающего слоя среднегодовой температуры t_0' не выше удвоенного значения температуры твердомерзлого состояния данного грунта $t^{т}$. Согласно СНиП II-18-76 значения температур $t^{т}$ перехода грунтов в твердомерзлое состояние и температур начала их замерзания $t_{н.з}$ даны в табл. 1.

Таблица 1

Наименование грунтов	Температура, °С	
	$t_{н.з}$	$t^{т}$
Крупнообломочные грунты	0	0
Пески крупные и средние	0	—0,1
Пески мелкие пылеватые	0	—0,3
Супеси	—0,1	—0,6
Суглинки	—0,2	—1
Глины	—0,2	—1,5

2.3. Теплотехническим расчетом определяются:

— размеры локальных охлажденных зон R_1, $R_п$, м, обеспечивающих получение расчетных температур в зоне смерзания свай;

— время, необходимое для охлаждения грунтов τ_0;

— время выравнивания температур до расчетного значения $t_{ус}$, характеризующего окончание фазовых переходов в данном грунте;

— распределение температур под зданием и у его края в предельно стационарном состоянии;

— расходы теплоносителей и охлаждающих веществ.

Расчет охлаждения грунтов оснований для зданий с однорядным расположением свай

2.4. Среднегодовая температура t_0'' оснований на подошве сезонно-оттаивающего слоя $h_{с.о}$ под зданием определяется по формуле

$$t_0'' = \frac{1}{365}\left[(m + n_з t_{в.з})\,\tau_з + \frac{\lambda_т}{\lambda_м}(m + n_л t_{в.л})\,\tau_л\right], \qquad (1)$$

где $\tau_з$ — продолжительность отрицательных температур в данном районе, сут, по СНиП II-А.6-72;

$\tau_л$ — то же, положительных температур;

$n_з$ — параметр вентилирования в зимний период, обеспечивающий сохранение расчетного охлажденного состояния *основания при эксплуатации здания*;

$\lambda_т$ — коэффициент теплопроводности талого грунта, ккал/(м·ч·град);

$\lambda_м$ — коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, ккал/(м·ч·град);

$t_{в.з}$ — средняя зимняя температура воздуха, °С;

$t_{в.л}$ — средняя летняя температура воздуха, С°;

m и $n_л$ — рекомендуемые параметры, характеризующие температуры в подполье в летнее время года (табл. 2).

Таблица 2

Тип зданий	Грунты	Рекомендуемое t_0^*, °С		Параметры	
		мин.	макс.	m	$n_л$
Каменные и панельные без коммуникаций в подпольях, в том числе здания с техническим этажом	Суглинки	—4	—3	1,5	0,65
	Пески	—3	—2		
То же, для зданий с коммуникациями в подпольях	Суглинки	—5	—4	2	0,85
	Пески	—4	—3		

Значения t_0^* и параметров m и $n_л$ берем из табл. 2.

Значения параметра $n_з$ и среднезимней температуры в подполье $t_{з.п}$ определяем по формулам:

$$n_з = -\frac{\frac{\lambda_т}{\lambda_м}(m - n_л t_{н.л})\tau_л - 365 t_0^* + m\tau_з}{t_{в.з}\tau_з}; \qquad (2)$$

$$t_{з.п} = n_з t_{в.з} + m. \qquad (3)$$

2.5. Необходимый модуль вентилирования подполья $F_в : F_с$ определяется по формуле (3) прил. 5 к СНиП II-18-76 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»

$$M = k_п \frac{t_в - t_{з.п} - (t_{з.п} - t_{в.з})C + П}{360\,\omega_0 v_{ср}(t_{з.п} - t_{в.з})k_а}, \qquad (4)$$

где $F_в$ — площадь вентиляционных отверстий, м²;

$F_с$ — площадь здания по наружному контуру, м²;

M — модуль вентилирования;

$t_в$ — температура воздуха внутри здания или сооружения, °С;

$v_{ср}$ — средняя скорость ветра в зимнее время года (если она

неизвестна, то $v_{ср}$ для января принимается по СНиП II-А.6-72 «Строительная климатология и геофизика»);

$$C = \frac{F_{\text{п}}\,\omega_0}{F_{\text{с}}\,\omega_{\text{п}}};$$

$k_{\text{а}} = 0{,}37$ (для прямоугольных зданий);

$\omega_{\text{п}}$ — термическое сопротивление цоколя, $\frac{\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{град}}{\text{ккал}}$;

ω_0 — сопротивление теплопередаче перекрытия над подпольем должно быть не менее:

$$\omega_0 = \frac{t_{\text{в}} - n_{\text{з}}\,t_{\text{м}}}{6{,}25\Delta t}, \quad \frac{\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{град}}{\text{ккал}}, \tag{5}$$

где Δt — разность между температурой воздуха в помещении и температурой пола на первом этаже по нормам СНиП II-А.7-71 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования» принимается от 2 до 3° С;

$t_{\text{м}}$ — минимальная расчетная температура воздуха согласно СНиП II-А.7-71.

Значения $k_{\text{п}}$ указаны в табл. 3,

Таблица 3

При отношениях $l:h$	5	4	3
$k_{\text{п}}$	1	1,2	1,5

где l — расстояние между зданиями, м;

h — высота здания, м.

Значение $П$, характеризующее выделение тепла в подполье от проходящих в нем трубопроводов, определяется по формуле (4) раздела 5 СНиП II-18-76:

$$П = \frac{\omega_0}{F_{\text{с}}} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{l_{\text{т}i}}{\omega_{\text{т}i}} (t_{\text{т}i} - t_{\text{з.п}}), \tag{6}$$

где n — число тепловыделяющих трубопроводов, проложенных в подполье;

$l_{\text{т}i}$ — длина i-го трубопровода, м;

$t_{\text{т}i}$ — температура теплоносителя в i-м трубопроводе, град;

$\omega_{\text{т}i}$ — сопротивление теплопередаче теплоизоляции i-го трубопровода, м²·ч·град/ккал.

Примечание. При отсутствии соответствующих данных $t_{\text{з.п}}$ может ориентировочно определяться по формуле

$$t_{\text{з.п}} = t_{\text{в.з}} + \theta, \tag{7}$$

где θ — разность температур между $t_{\text{з.п}}$ и $t_{\text{в.з}}$ приведена в табл. 4.

Таблица 4

Тип подполий	θ, °С
Здания с неутепленными цоколями и вентиляционными отверстиями	
$M=0{,}0005$ $h_п=0{,}8$ м	10—12
$M=0{,}0025$ $h_п$ не менее 1 м	6—8
Здания без цоколей и со съемными на зиму цоколями	1—2

2.6. При глубинном охлаждении грунта путем продувки наружного морозного воздуха через скважины для зданий до пяти этажей *полного смыкания охлажденных зон между скважинами* не требуется. Минимальные размеры радиусов охлаждения R_1, м, определяются по формуле

$$R_1 = \sqrt{\left[\frac{k_1 q_{ср} L_1 B (0{,}4B - H)}{\pi q_{ox} (ih_1 + 2h_2)}\right] + r_3^2}, \qquad (8)$$

где коэффициент k_1 принимается равным 1,2;

L_1 — шаг фундаментов вдоль здания, м;

B — ширина здания, м;

i — число свай в центре здания (рис. 4);

h_1 — длина охлаждаемой части скважины для центральных свай за вычетом глубины промерзания, м (рис. 5);

h_2 — то же, для свай, расположенных между краем и центром здания, м (см. рис. 5);

H — глубина охлаждения грунта за зиму с поверхности, м, определяется по формулам

$$H = \sqrt{\frac{48\lambda_м (t_{в.з} + 5)(\tau_з - \tau_{о.о})}{q_1}}; \qquad (9)$$

$$q_1 = q_0 (w_0 - w_2)\gamma_м (1 - Л_в) + 0{,}5 C_м [t_0 - (t_{в.з} + 5)], \qquad (10)$$

где $\tau_{с.о}$ — время промерзания слоя сезонного оттаивания в данном районе, сут;

w_0 — содержание незамерзшей воды в грунте при t_0;

w_2 — содержание незамерзшей воды при $0{,}5(t_{в.з}+5)$;

$\gamma_м$ — масса скелета грунта (сухого грунта), кг/м³;

$C_м$ — объемная теплоемкость мерзлого грунта, ккал/(м³·град);

q_0 — теплота кристаллизации влаги, равная 80 ккал/кг;

$Л_в$ — льдистость за счет ледяных включений в долях единицы.

$$q_{ср} = q_0 (w_0 - w_{ср})\gamma_м (1 - Л_в) - C_м t_{ср}; \qquad (11)$$

$$q_{ox} = q_0 (w_0 - w_1)(1 - Л_в)\gamma_м + 0{,}5 C_м (t_0 - m_1 t), \qquad (12)$$

где w_1 — содержание незамерзшей воды в грунте при температуре $0{,}35t$;

t — температура охлаждающего воздуха, °С;

t_0 — среднегодовая естественная температура грунта, °С;

$w_{ср}$ — содержание незамерзшей воды при $t_{ср}$;

$$t_{ср} = 0{,}75t_0' - 0{,}25t_0. \qquad (13)$$

Коэффициент m_1 для воздушного охлаждения принимается равным $m_1 = 0{,}7$.

Величина радиуса зоны охлаждения $r_з$, м, около свай, которая компенсирует теплоприток от заливаемого в скважину грунтового раствора для свай размером 30×30 см² и скважин диаметром 450 мм, может быть принята по табл. 5.

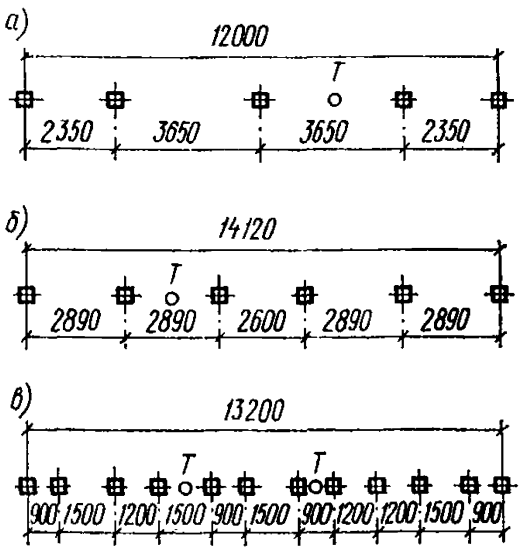


Рис. 4. Схема расположения свай в поперечном разрезе

а — серия 1-464М (Норильскпроект);
б — серия 1-464ВМ (ЛенЗНИИЭП);
в — серия 111-112М (ЛенЗНИИЭП),
Т — контрольные температурные скважины

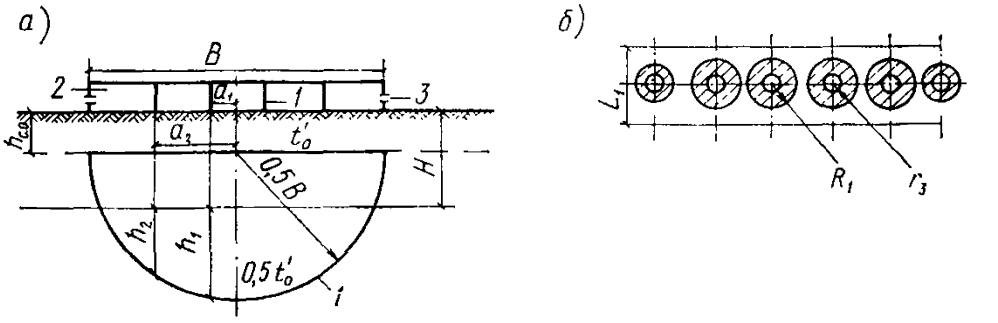


Рис. 5. Схема охлаждения грунтов в основании здания

а — разрез; *б* — план свай; *1* — расположение свай в поперечном разрезе зданий; *2* — вентилируемое подполье; *3* — вентиляционные отверстия; B — ширина здания, м; H — слой сезонного промерзания; L_1 — шаг сваи вдоль здания, м; a_1, a_2 — расстояния свай от центра здания; h_1, h_2 — размеры охлаждаемых зон для свай, расположенных под зданием, м; R_1 — радиус охлаждаемой зоны около скважины, м; $r_з$ — зона теплового влияния погруженной сваи, м. Охлаждаемые зоны заштрихованы. t_0 — среднегодовая температура на подошве сезонно оттаивающего слоя

Таблица 5

Грунты	Значение $r_э$, м, при температурах охлаждающего воздуха, °С			
	—10	—17	—30	—40
Супеси	0,7	0,64	0,5	0,45
Суглинки и глины	0,35	0,33	0,31	0,3

При других соотношениях диаметров скважин и размеров свай определяется величина $r'_в$, которая связана с $r_э$ соотношением

$$r'_в = r_в \sqrt{\frac{r_1^2 - r_0^2}{0{,}022}}, \qquad (14)$$

где r_1 — радиус скважины, м;

r_0 — условный радиус сваи, м;

$$r_0 = \sqrt{\frac{a^2}{\pi}}, \qquad (15)$$

a — размер сечения сваи, м.

2.7. Значение расчетных эквивалентных температур $t_э$, образующихся под зданиями к концу летнего периода, определяется по формулам:

для свай, расположенных в центре под зданием,

$$t_э = 0{,}7\alpha_э t'_0 - 0{,}2\alpha_э t_0, \qquad (16)$$

для свай, расположенных по наружному периметру,

$$t_э = 0{,}4\alpha_э \left(t'_0 + t_0\right), \qquad (17)$$

для свай, расположенных вдоль поперечных осей между краем и центром здания, по интерполяции.

Величина $\alpha_э$ определяется по графику на рис. 6, построенному с учетом того, что величина $h_м \sqrt{\frac{C_{эф}}{\lambda_м}}$ больше, чем для твердомерзлых грунтов, в которых фазовые переходы не учитываются.

Эффективные объемные теплоемкости грунта C_1, $C_{эф}$ определяются по формулам:

для грунтов слитной текстуры

$$C_1 = C_м + \frac{80\,(w_0 - w_{ср})\,\gamma_м}{t_0 - t_{ср}}; \qquad (18)$$

для грунтов с прослойками льда

$$C_{эф} = (1 - Л_в)\,C_1 + 450Л_в. \qquad (19)$$

$w_{ср}$ для свай, расположенных по центру здания, принимается для $t_{ср}$ по формуле (13), для крайних свай — при $0{,}5t_{ср}$.

2.8. Время образования охлажденной зоны радиуса R_1 вычисляется по формуле

$$\tau_0 = \frac{kq_{ox}r_0^2}{48\lambda_м(t_0 - t)}[0{,}5 + A + D_1 + D_2\lambda_м\omega] \text{ сут}, \quad (20)$$

где t — температура охлаждающего воздуха, °С, принимается равной $t_{в.в}$.

$$A = \ln\frac{r_1}{r_0};$$

$$\omega = \frac{1}{\alpha r_0} + \frac{1}{\lambda_1}\ln\frac{r_1}{r_0},$$

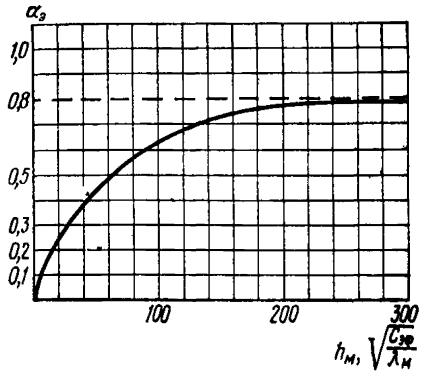


Рис. 6. Значения величины $\alpha_в$

k — коэффициент неоднородности грунтов, равный 1,2;
ω — сопротивление теплопередаче полой сваи, м²·ч·град/ккал;
λ_1 — коэффициент теплопроводности материала сваи, ккал/(м·ч××град);
r_0 — радиус полости сваи, м;
r_1 — наружный радиус сваи, м;
α — коэффициент теплопередачи от воздуха стенкам сваи, скважины, охладителя, ккал/(м²·ч·град).

Минимальная скорость движения охлаждающего воздуха должна быть 2 м/с.

При скоростях движения воздуха v от 2 до 4 м/с

$$\alpha = 5{,}4 + 3{,}6v; \quad (21)$$

выше 4 м/с $\alpha = 5 + 6\sqrt{v}$. (22)

Значения безразмерных критериев D_1 и D_2 в этом случае даны в зависимости от $\frac{R_1}{r_1}$ и представлены графически на рис. 7.

При охлаждении полых свай холодным воздухом q_{ox} принимается по формуле (12).

При охлаждении холодным воздухом пробуренных скважин

$$A = 0, \quad \omega = \frac{1}{\alpha r_1},$$

где r_1 — радиус скважины, м.

При радиальном замораживании грунтов в чашах оттаивания

$$q_{ox} = q_0 W\gamma_{ск} + 0{,}5C_м(t_0 - m_1 t), \quad (23)$$

где W — естественная влажность грунта в долях единицы;
$\gamma_{ск}$ — масса скелета грунта, кг/м³.

Примечание. При проектировании принимается, что $t = t_{в.з.}$, а в процессе производства работ время охлаждения скважин должно корректироваться (см. п. 2.15).

Время охлаждения скважин $\tau_к$ (полый свай) по наружному периметру здания при его ширине $B \leqslant 14$ м

$$\tau_к = 0{,}5\,\tau_0 \text{ сут.} \tag{24}$$

2.9. При охлаждении грунтов оснований в летнее время твердой углекислотой необходимый отбор тепла от охлаждаемой скважины определяется по формуле

$$Q = \pi R_1^2 h_к q_{ох}, \tag{25}$$

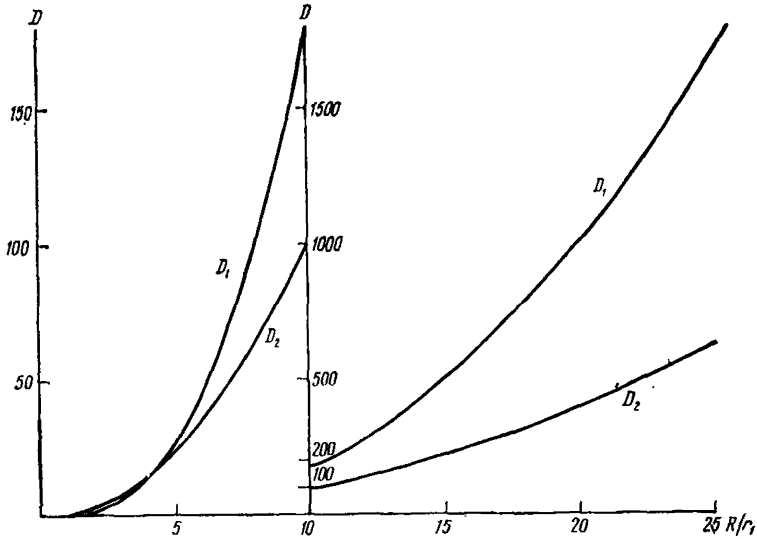


Рис. 7. Номограммы для определения параметров D_1 и D_2

$h_к$ — слой углекислоты в скважине, м;

$$h_к = 0{,}3 + 0{,}6 h_м, \tag{26}$$

$h_м$ — зона смерзания свай, м.

Тепло, поглощаемое при сублимации заложенной в скважины углекислоты, определяется по формуле

$$Q = \pi r_1 h_к \gamma_с g A_0 n k_2, \tag{27}$$

где $\gamma_с$ — масса твердой углекислоты в раздробленном виде; значения $\gamma_с$ колеблются в пределах от 1100 до 1200 кг/м³;

g — вес одной порции углекислоты, кг;

A_0 — теплота сублимации твердой углекислоты (сухого льда) — 140 ккал/кг;

n — число порций углекислоты, которое нужно заложить в охлаждаемые скважины:

$$n = \frac{k_\tau q_{ox}}{k_2 \gamma_c g A_0} \left(\frac{R_1}{r_0} \right)^2, \qquad (28)$$

где $k_2 = 0{,}7$; q_{ox} — определяется по формуле (12) с учетом, что $t = -78°$ С; $m_1 = 0{,}5$.

Значения k_τ даны в табл. 6.

Таблица 6

Даты закладки углекислоты в скважины	1. VI	15. VII	1. IX
Значения k_τ	1	0,7	0,4

2.10. Время между закладками порций твердой углекислоты в скважины, достаточное для завершения ее сублимации, вычисляется по формуле

$$\tau_1 = \frac{1}{24} \left(\frac{g}{v_1} + 5 \right) + 1 \text{ сут}, \qquad (29)$$

где v_1 — скорость естественной сублимации твердой углекислоты в скважинах (полых сваях), кг/ч; v_1 равно от 2,2 до 2,5 кг/ч.

Примечание. 80% фракций колотой углекислоты должно быть размером более 40 мм.

2.11. Для зданий высотой более пяти этажей, например девятиэтажных серии 111-112М, зимой необходимо добиваться смыкания охлаждаемых зон между сваями вдоль поперечных стен, а для зданий меньшей этажности — если шаг свай L меньше 1300 мм (см. рис. 4).

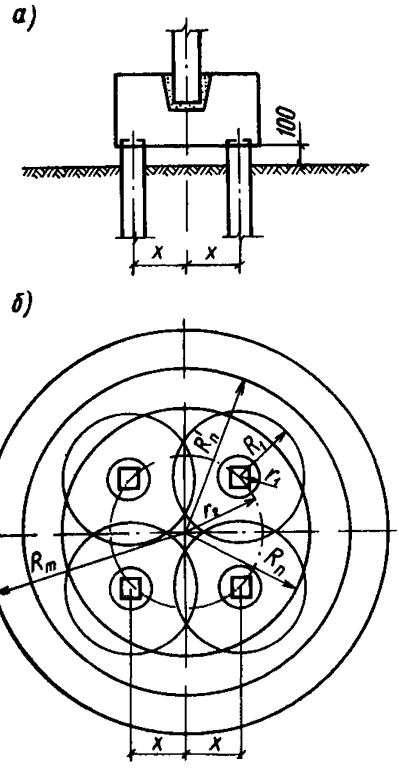
Расчет охлаждения грунтов оснований для зданий и сооружений с кустовым расположением свай

2.12. Кустовое расположение свай применяется для зданий с железобетонным или металлическим каркасом, отдельно стоящих нетепловыделяющих опор высотных сооружений: мачт, опор радиорелейных линий и электропередач, передающих большие вертикальные и горизонтальные нагрузки на основание. Куст объединяет минимум четыре сваи, расположенные по периметру с радиусом r_2. Сваи куста связываются общим ростверком с зазором между его нижней плоскостью и поверхностью планировки не менее 100 мм (рис. 8).

2.13. Наличие группы свай в кусте позволяет быстро сомкнуть отдельные охлаждаемые зоны в общий массив значительного размера (условно принимаемого цилиндрическим) с радиусом R_n. После отключения охлаждения повышение температур в нем ввиду его больших размеров происходит медленно. Процесс замедляется еще тем, что по мере повышения температур в общем массиве охлажденных зон происходит увеличение его размеров до максимальных R_m за счет дополнительного промерзания окружающего пластично-мерзлого грунта (рис. 9).

2.14. Тепловой расчет повышения температур в охлажденной зоне при кусте свай состоит из двух этапов.

На первом этапе подсчитывается время τ_2 повышения температуры грунта в охлажденном массиве до значения $t_{ус}$, условной температуры перехода грунта в твердомерзлое состояние, $t_{ус}$ принимается в точке пересечения крутого и полого участков двух прямых, которыми заменяется кривая содержания в грунте незамерзшей воды (рис. 9).



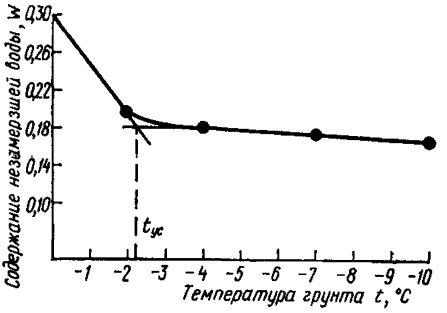


Рис. 9. Определение условной температуры окончания основных фазовых переходов в грунте по кривой содержания незамерзшей воды

Рис. 8. Схема охлаждения грунтов через пробуренные скважины около куста свай

а — куст свай и ростверк (поперечный разрез); *б* — расположение скважин и свай в плане; *X* — расстояние от центра куста до центров свай

Расчет ведется для глубины $6 < h < 8$ м.

Начальная температура охлажденного массива определяется по формуле:

$$t_н = 0{,}8\,(m_1\,t_{в.з} + h_1\,\theta_1), \tag{30}$$

где h_1 — глубина скважин (полых свай), м.

Повышение температуры воздуха по глубине сваи θ_1 равно 0,7—0,8 град/м скважины или полой сваи;

$m_1 \approx 0{,}7$ и уточняется по формуле

$$m_1 = \frac{\ln \dfrac{R_1}{r_1}}{\ln \dfrac{R_1}{r_1} + \lambda_м\,\omega}. \tag{31}$$

Обозначения те же, что в пункте 2.8.

$$\tau_2 = \frac{R_m^2 z^2}{24 a_м} \text{ сут}, \tag{32}$$

где τ_2 — время повышения температур в охлажденной зоне до $t_{ус}$;
$a_м$ — коэффициент температуропроводности мерзлого грунта, м²/ч;
параметр z изменяется от 0,6 до 0,8 и уточняется по формулам:

$$z = \frac{0{,}9\left(\sqrt{\mu}\,\lambda_м - 1{,}07Y\right)}{\sqrt{\mu}\,(\lambda_м + 0{,}58Y)}; \tag{33}$$

$$Y = \frac{t_0 - t_{ус}}{t_{ус} - t_н}; \tag{34}$$

безразмерный параметр μ зависит от гранулометрического состава грунта, и для пластично-мерзлых суглинков $\mu = 0{,}33$, для пылеватых песков $\mu = 0{,}8$.

$$R_m = R_n e^x; \tag{35}$$

$$x = \frac{2{,}1\lambda_м z^2 (t_{ус} - t_н)}{q_{ох}\, a_м}, \tag{36}$$

где $q_{ох}$ — принимается по формуле (12).

На втором этапе, когда температура в охлажденном цилиндре повышается выше $t_{ус}$, принимается, что размеры охлажденной зоны остаются постоянными $R = R_m$. Для определения времени повышения температур в охлажденном массиве до $t_р$ используется график (рис. 10).

Рекомендуемый для расчетов график построен в координатах относительных температур [θ_2 — относительная величина от ($t_{ус}$—$t_{н.з}$) и ($1 - r_2/R_m$)] для различных значений и критерия Фурье

$$Fo = \frac{24\tau_4\, a_м\, \mu}{R_m^2}, \tag{37}$$

где Fo — критерий Фурье;
τ_4 — время повышения температур в охлажденной зоне в летнее время, сут

$$\tau_4 = \tau_п - \tau_2, \tag{38}$$

$\tau_п$ — средняя продолжительность периода с положительными температурами, сут.

Для северных районов выше Полярного круга $\tau_п = 125$ сут;
для южных районов распространения вечномерзлых грунтов $\tau_п = 145$ сут. Для остальных пунктов $\tau_п$ определяется по интерполяции.

2.15. Если в результате расчета

$$t_р = \theta_2 (t_{ус} - t_{н.з}) > t^т, \tag{39}$$

то необходимо увеличить исходные размеры ($2X$) между сваями либо осуществить охлаждение до $R'_n > R_n$ (см. рис. 8). Время дополнительного охлаждения τ'_0 определяется формулой:

$$\tau'_0 = \frac{q_{ox}\left(R'_n\right)^2}{380\lambda_м\left(t_0 - 0{,}9t\right)} \text{ сут.} \qquad (40)$$

Примечание. При проектировании на стадии технического проекта τ_0 определяется для температуры воздуха $t = t_{в.з}$. Поскольку искусственное воздушное охлаждение связано с затратами элек-

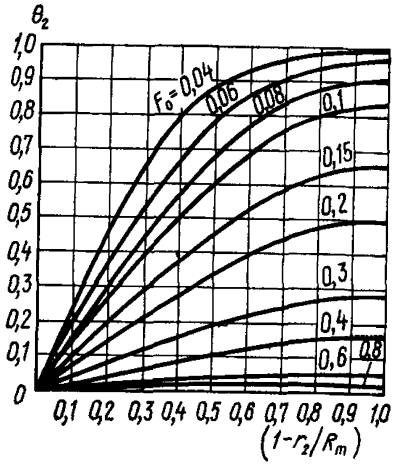


Рис. 10. Номограмма для определения относительной температуры Fo — критерий Фурье

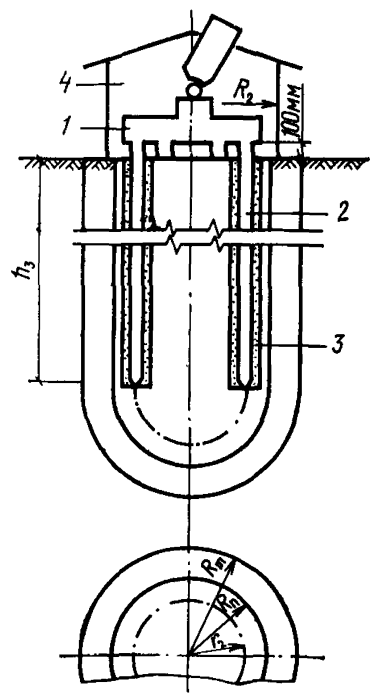


Рис. 11. Устройство теплозащитного ограждения около нетепловыделяющей опоры

1 — ростверк; *2* — сваи; *3* — грунтовый раствор; *4* — теплозащитное ограждение; R_2 — необходимый радиус теплозащитного ограждения

троэнергии, на стадии рабочих чертежей строителям должны быть указаны сроки охлаждения для других температур от $0{,}5t_{в.з}$ до $t_м$ — минимальной среднесуточной температуры с интервалами в десять градусов. Такие расчеты допустимо вести по приближенной формуле

$$\tau_t = \frac{\left(t_0 - t_{в.з}\right)\tau'_0}{\left(t_0 - t_n\right)} \text{ сут,} \qquad (41)$$

где t_n — температура расчетного интервала, °С.

2.16. Эквивалентная температура в зоне смерзания свай по периметру r_2 определяется по формуле:

$$t_э = 0{,}8\alpha_э t_р \quad (t_р \text{ см. п. } 2.15). \qquad (42)$$

При определении $\alpha_э$ учитывается эффективное значение теплоемкости пластично-мерзлого грунта согласно п. 2.7.

2.17. При применении охлаждения оснований около кустовых фундаментов отдельных тяжело нагруженных нетепловыделяющих опор необходимо предусматривать над ними ограждение из легких железобетонных элементов (рис. 11). Такое ограждение предохраняет площадь около кустов свай от заносов снегом и от инсоляции летом. Необходимый радиус R_2 ограждения определяется из условия, чтобы на глубине 6÷8 м

$$t_{\rho,y} \leqslant 1,1 t_{\text{р}}, \tag{43}$$

где ρ и y — относительные радиус и глубина для расчетной точки

$$\rho = \frac{r_2}{R_2}; \quad y = \frac{y_1}{R_2};$$

y_1 — глубина расчетной точки от поверхности грунта, м;

$$t_{\rho,y} = t_0 + \left(t_0' - t_0\right)\beta. \tag{44}$$

Значения коэффициента β даны в табл. 7

Таблица 7

ρ	y						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	1	0,73	0,51	0,37	0,29	0,24	0,2
0,5	1	0,68	0,48	0,37	0,28	0,24	0,2
1	1	0,56	0,42	0,33	0,27	0,23	0,2

Примечание. Для других точек коэффициент β определяется по интерполяции.

2.18. Для обеспечения расчетного температурного состояния в зоне смерзания свай под тепловыделяющим зданием с кустовыми фундаментами проверка условия (43) производится для глубины y_1=6÷8 м и расстояния x_1, м, наружных свай кустов от оси симметрии здания:

$$x = \frac{x_1}{0,5B}; \quad y = \frac{y_1}{0,5B};$$

$$t_{x,y} = t_0 + \left(t_0' - t_0\right)\beta_1. \tag{45}$$

Значение коэффициентов β_1 в зависимости от местоположения расчетных точек x и y определяется по табл. 8.

Таблица 8

x	y						
	0	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5
0	1	0,84	0,7	0,5	0,37	0,29	0,24
0,6	1	0,71	0,63	0,44	0,34	0,23	0,23
1	1	0,5	0,42	0,35	0,3	0,25	0,22

Примечание. Для других точек коэффициент β_1 определяется по интерполяции.

Естественное поверхностное охлаждение оснований

2.19. Естественное поверхностное охлаждение оснований при применении свайных фундаментов рекомендуется только для песчаных грунтов.

Примечание. Содержание незамерзшей воды в этих грунтах определяется для естественной температуры грунта t_0 и условной температуры окончания фазовых превращений $t_{ус}=-1°$ С.

2.20. Глубина дополнительного промерзания и охлаждения грунта определяется по формуле

$$H_1=\sqrt{\frac{2\lambda_м\left(t_0-t_0'\right)\tau n_1}{\left[80\left(w_0-w_{ус}\right)\left(1-Л_в\right)\gamma_м+C_м\left(t_0-0{,}5t_0'\right)\right]}}, \qquad (46)$$

где n_1 — число лет промораживания.

2.21. Глубина дополнительного промораживания при сдаче объекта в эксплуатацию должна быть на 1 м ниже нижних торцов (острия) свай.

2.22. Максимальные температуры при применении поверхностного охлаждения под центром здания определяются по формуле

$$t_{макс}=t_{p_1}-\left(t_0-t_0^*\right)\beta_2. \qquad (47)$$

$$\beta_2=\exp\left(-\frac{y_1}{52{,}8}\sqrt{\frac{C_{эф}}{\lambda_м}}\right). \qquad (48)$$

Для фундаментов под наружные стены принимается, что $t_{k_1макс}=0{,}8t_{макс}$, если снег не очищается по периметру здания и $t_{k_1макс}=t_{макс}$ при систематической очистке снега по периметру строящегося здания.

3. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ И КОНТРОЛЯ ИХ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ОСНОВАНИЙ

3.1. Системы охлаждения грунтов через скважины и полые сваи морозным воздухом, как правило, состоят из вентилятора, воздуховода и распределяющих шлангов от отдельных скважин и полых свай. Вентилятор в системе подключается для работы на разряжение во избежание засорения скважин (полых свай) снегом.

3.2. Отводы от воздуховода для присоединения распределительных шлангов должны располагаться по боковым поверхностям воздуховода, привариваться под углом 45° к нему по направлению воздушной струи и сосредоточиваться в местах расположения фундаментов. Распределительные шланги рекомендуются всасывающие (насосные). Они должны соединяться друг с другом гладкими ниппелями и переходниками из тонкостенных, желательно нержавеющих труб.

На рис. 12 показана воздушная система радиального охлаждения скважин и полых свай для жилых домов с однорядным расположением свай. Диаметр распределительных шлангов в этом случае должен быть не менее 125/135 мм, скорость воздуха в них прини-

мается не менее 12 м/с, так как в систему попадают снег и частично пылеватые частицы грунта при сублимации льда со стенок скважин, т. е. воздушная система работает часто в пылевом режиме.

3.3. При локальном замораживании грунтов допускается применять составные распределительные шланги 150/170; 125/135 и 89/100 мм (рис. 13) с тем, чтобы уменьшить общее гидравлическое сопротивление системы.

3.4. Для вентиляции рекомендуется использовать вентиляторы местного проветривания, применяемые для горнопроходческих работ,

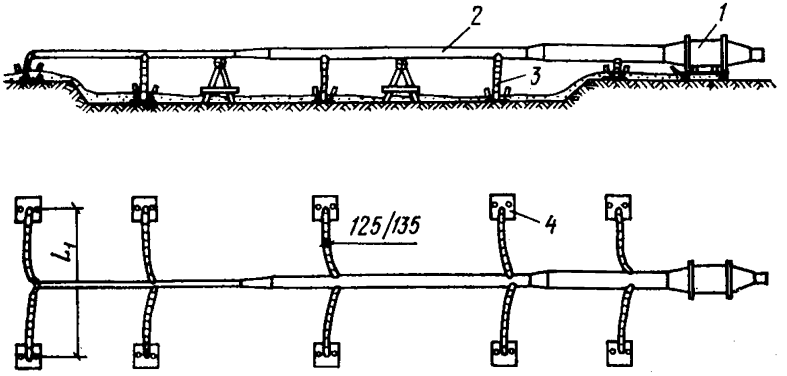


Рис. 12. Схема воздуховода для охлаждения грунтов через пробуренные скважины

1 — вентилятор; *2* — сборный воздуховод; *3* — гибкие шланги; *4* — щиты над скважинами; L_1 — шаг между сваями вдоль здания

типа ВМ-200; СВМ-5. Эти турбовентиляторы (одноступенчатые и двухступенчатые) объединены с электродвигателями в один агрегат, расположенный на салазках, что позволяет легко осуществлять их перемещение по строительной площадке. Их производительность 25—200 м³/мин при разряжении до 150 мм вод. ст. (рис. 14). При применении этих турбовентиляторов нужно учитывать, что разрежение значительно уменьшается при расходах воздуха 50—100 м³/мин, поэтому нужно избегать этого, подключая большее количество скважин (полых свай) к сборному воздуховоду. Применение одноступенчатых вентиляторов при локальном замораживании грунтов не рекомендуется, так как гидравлическое сопротивление системы с металлическими охладителями большее, чем при охлаждении грунтов в скважинах.

3.5. Для вентиляции скважин и охладителей могут быть использованы индивидуальные вентиляторы ПВУ-1. Мощность индивидуального вентилятора 1 кВт, производительность 600 м³/ч, разрежение 100—150 мм вод. ст., вес 50 кг. При воздушном замораживании грунтов к одному вентилятору допускается подключение двух охладителей.

3.6. В малоснежных районах при скоростях ветра зимой 3 м/с охлаждение пробуренных скважин воздухом допускается осуществлять, погружая в них всасывающие шланги, как показано на рис. 1, *а*. В районах со скоростью ветра зимою больше 3 м/с и снежным по-

кровом более 0,3 м над скважинами на выровненную поверхность грунта устанавливается деревянный щит с двумя всасывающими патрубками и скрепленной с ним тонкостенной металлической или полиэтиленовой циркуляционной трубой диаметром 140—200 мм

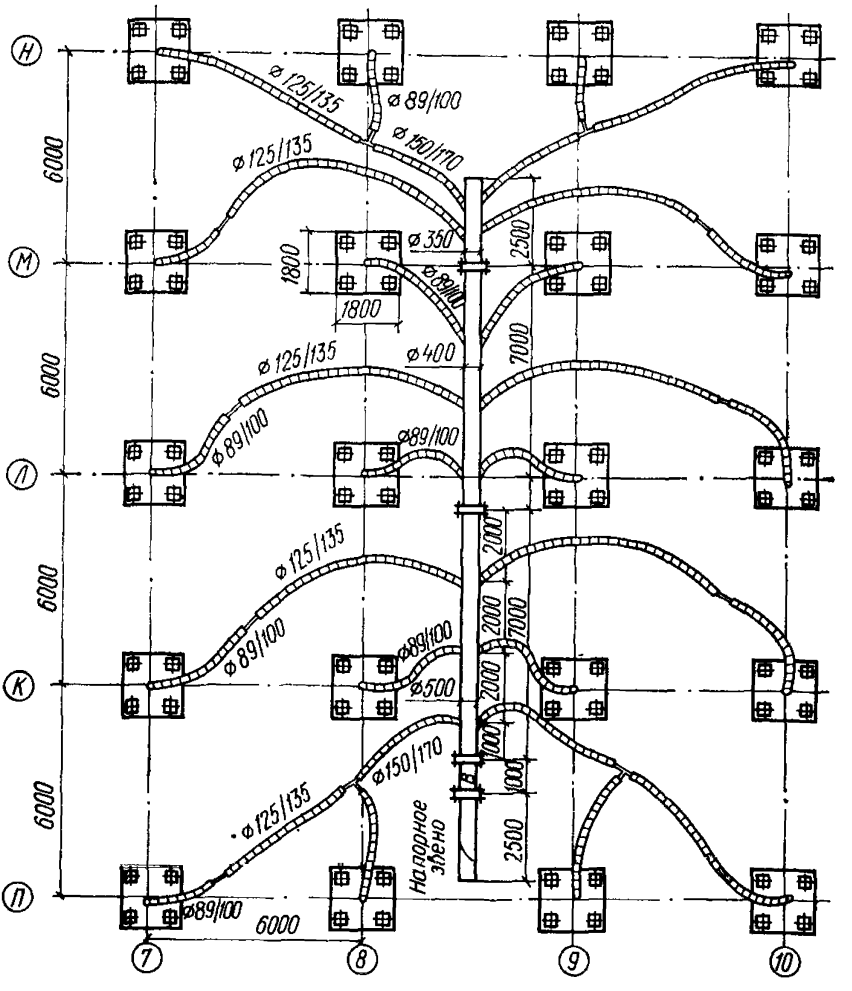


Рис. 13. Схема воздуховода при локальном замораживании грунтов цилиндрическими охладителями

Н, М, Л, К, П — ряды фундаментов; *7, 8, 9, 10* — оси фундаментов; *В* — вентилятор

(рис. 1, *б*). К ней герметично прикрепляется распределительный шланг.

Скорость воздуха в циркуляционной трубе принимается от 10 до 12 м/с, в кольцевом пространстве между ней и стенками скважины от 2 до 5 м/с. Металлическую трубу для теплоизоляции нужно оклеить двумя слоями изоляционной бумаги.

3.7. Аэродинамический расчет воздуховодов осуществляется по правилам расчета вентиляционных систем. Коэффициент шероховатости в распределительных шлангах, а также в зазоре между циркуляционной трубой и стенками пробуренных скважин принимается $\varepsilon = 1{,}5$.

3.8. При охлаждении скважин в летнее время года твердой углекислотой (сухим льдом) необходимо предусмотреть, чтобы в пробуренные скважины не поступали надмерзлотные воды. Для этого по окончанию бурения скважина обсаживается трубой на $\sim 1{,}2\ H$, где H слой оттаивания на время бурения. Перед охлаждением основания в скважину на прутке арматуры опускается диафрагма на глубину, на 10 см меньшую длины обсадной трубы (см. рис. 2), на диафрагму засыпается раздробленная углекислота одной или двумя порциями по 40 кг при глинистых грунтах в пределах сезонно оттаивающего слоя и 80 кг при грунтах с большим содержанием крупных включений, для которых характерно большее поступление воды в скважину. Поверхность грунта около обсадной трубы теплоизолируется слоем опилочной изоляции $\Delta = 30$ см в диаметре около 1 м.

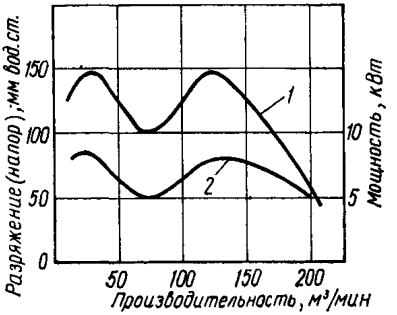


Рис. 14. Характеристика вентиляторов СВМ-5

1 — разрежение (напор) при разных расходах воздуха; *2* — изменения мощности от расхода воздуха

Если до смерзания обсадной трубы с вечномерзлым грунтом в скважину попала вода, то после смерзания трубы она отчерпывается или откачивается погружным насосом. Затем в скважину вводится раздробленная углекислота, количество которой определяется по расчету. Установлено, что наиболее быстрая сублимация ее происходит, если куски имеют размеры от 40 до 60 мм.

3.9. Перевозка твердой углекислоты на дальние расстояния осуществляется в теплоизолированных контейнерах с сопротивлением теплоизоляции $\omega_{\text{п.з}} = 5$ м²·ч·град/ккал. Пример переоборудования для этой цели стандартного контейнера для перевозки 2,5 т груза и схема укладки в него сухой углекислоты показаны в прил. 2. Если в городе или на стройке вырабатывается твердая углекислота, она может перевозиться на объекты завернутой в брезент, что значительно уменьшает скорость ее сублимации.

3.10. Если охлаждение грунтов велось через полые круглые сваи или квадратные сваи с полостью с приваренными к ним металлическими наконечниками внутри, то они должны быть засыпаны ниже слоя сезонного оттаивания сухим песком, а выше, в слое сезонного оттаивания полости, заполняются бетоном во время замоноличивания на сваях сборных оголовков.

3.11. Естественное поверхностное охлаждение и дополнительное промораживание песчаных грунтов необходимо проводить после погружения свай и укладки на них настила цокольного перекрытия.

В зимнее время года нужно очистить снег по наружному периметру здания и открыть вентиляционные отверстия в цоколе или

установить по наружному периметру здания деревянные щиты под углом 45° к цокольному перекрытию. В летнее время года нужно уложить на перекрытие над подпольем опилочную теплоизоляцию (в подполье укладывать ее не рекомендуется) и закрыть вентиляционные отверстия в цоколе.

3.12. Контроль процесса охлаждения и замораживания грунтов осуществляется в установленных температурных скважинах. В районах распространения вечномерзлых грунтов для контроля температур в зоне смерзания свай при устройстве фундаментов предусматривается установка 3—4 трубок, погружаемых рядом со сваями. Для контроля результатов охлаждения грунтов необходимо оборудовать от 4 до 6 дополнительных контрольных температурных скважин, закладываемых на 1—1,5 м глубже принятого заложения свай. Минимум две скважины должны контролировать время образования охлажденной зоны R_1 при разных температурах наружного воздуха, одна или две скважины — время выравнивания температур в охлажденном массиве вдоль несущей, например поперечной, стены здания и одна или две скважины — время выравнивания температур между поперечными стенами. При кустовых фундаментах контрольные температурные скважины должны располагаться на расстояниях R_n^* и R_m.

В двух кустах необходимо установить контрольные скважины, погрузив их рядом с одной из свай (см. рис. 4, 9).

3.13. Контрольные скважины не допускается проходить методом парового оттаивания грунта, их нужно проходить станками разведочного бурения диаметром не более 80 мм. В скважину после бурения заливается глинистый или известковый раствор и погружается герметичная труба с нижним заваренным концом с внутренним диаметром 35—50 мм. Трубы для предохранения от засорения должны оборудоваться защитными колпачками.

3.14. Измерения температур в контрольных скважинах могут вестись электротермометрами с интервалами по глубине от поверхности грунта до забоя скважины в 1 м. Частота измерения в период охлаждения грунтов — один раз в пять дней для глинистых и один раз в три дня для песчаных грунтов. После прекращения охлаждения частота измерений сокращается до одного раза в месяц в период выравнивания температур в охлажденном массиве, а затем размеры ведутся один раз в два месяца до сдачи объекта в эксплуатацию. Измерения, производимые электротермометрами, нужно контролировать один раз в два месяца инерционными психометрическими термометрами, заделанными в стандартные оправы, которые рекомендуются для этих целей. При отсутствии электротермических установок измерение температур допускается вести инерционными термометрами с теми же интервалами по глубине скважин и частотой.

3.15. После окончания строительства температурные скважины передаются эксплуатирующей организации или службам технической эксплуатации зданий.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Воздушная турбохолодильная машина ТХМ 1-25

Предназначена для получения холодного воздуха летом от —50 до —110° С; может быть использован и выходящий из машины горячий воздух с температурой 100—120° С.

Машина работает по открытому регенеративному циклу при атмосферном давлении в холодильной камере.

Основные элементы машины: осевая турбина, осевой компрессор и два периодически переключающихся регенератора.

Особенности машины ТХМ1-25:

малые габаритные размеры и вес;

использование атмосферного воздуха вместо дорогостоящих хладагентов;

быстрый выход на рабочий режим;

простота эксплуатации.

Управление машиной и контроль основных параметров дистанционные.

Техническая характеристика

Холодопроизводительность, ккал/ч .	25 000
Расход воздуха, кг/ч	3600
Температура воздуха на выходе, °С	—80
Потребляемая мощность, кВт . . .	75
Габаритные размеры, мм	3900×2200×2300
Вес, кг	3500

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Изотермический контейнер для углекислоты (рис. 1)

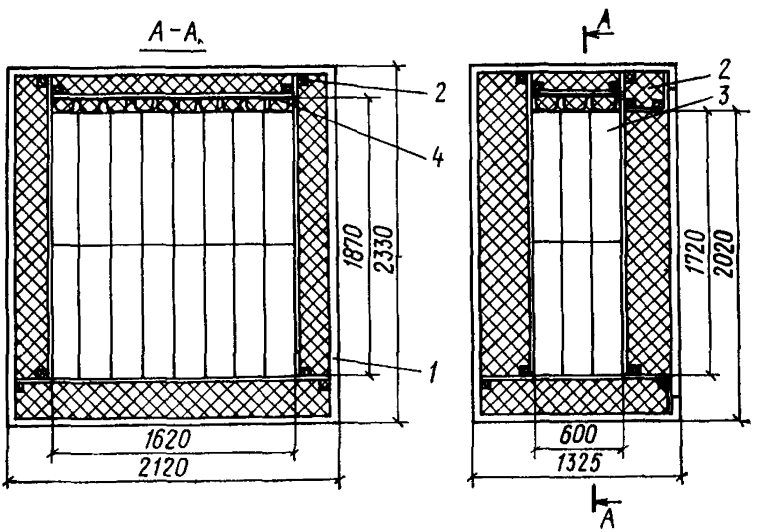


Рис. 1. *Изотермический контейнер* для перевозки углекислоты на дальние расстояния (время в пути от 3 до 6 сут)

1 — корпус стандартного контейнера; *2* — блоки неподвижной теплоизоляции с фанерной обшивкой; *3* — блоки углекислоты размером 20×20×85 см, весом по 40 кг; *4* — подвижной блок теплоизоляции, перемещающийся в процессе сублимации твердой углекислоты

Примечание. При металлической обшивке корпуса контейнера из зоны (4) через дверь контейнера должна быть выведена резиновая трубка диаметром 16—20 мм для отвода образующихся при сублимации газов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Примеры расчетов

Пример 1

Определить необходимый радиус охлаждения грунта около пробуренных скважин для здания с поперечными несущими стенами серии 1-464 М. Ширина здания $B=12$ м. Поперек здания размещено

Таблица 1

γ, кг/м3	$\gamma_м$, кг/м3	$w_с$	$w_о$	$w_{ср}$	w_1	$Л_в$	$t^т$, °С	H, м	$h_{с.о}$, м	$C_м$, ккал/м³·град
		В долях единицы								
1800	1300	0,4	0,25	0,15	0,1	0,25	—1,5	3	2	520

5 свай, одна по центральной оси здания, две — через 3,65 м от нее и две — по фасадным осям здания. Максимальный шаг между несущими стенами $L_1=3{,}2$ м. Грунты — пластично-мерзлые суглинки, $t_0=-0{,}3°$ С. Физические свойства грунтов даны в табл. 1. $W_с$ — суммарная влажность грунта в долях единицы.

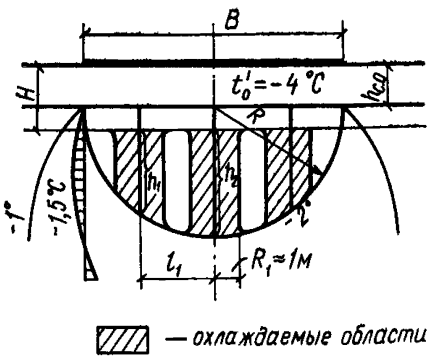


Рис. 2. Охлажденные зоны, образуемые в основании здания (в поперечном разрезе)

Примем минимальное значение $t_0=-4°$; в этом случае, как видно по схеме на рис. 2, под краями здания будет обеспечена среднегодовая температура в зоне смерзания свай и на глубине ~ 10 м, $t_0\approx$ $\approx-1{,}5°$ С $=t^т$. Определим среднее теплосодержание 1 м³ грунта в зоне охлаждения радиуса $R=0{,}5B$ после выравнивания температур в охлажденном основании. Температура $t_{ср}$ определяется по формуле (13)

$$t_{ср}=0{,}75t_0''-0{,}25t_0=0{,}75\,(-4)-0{,}25\,(-0{,}3)=-2{,}93°\text{ С}.$$

По формуле (11) определяем $q_{ср}$

$$q_{ср}=80\,(0{,}25-0{,}15)\,(1-0{,}25)\,1300-520\,(-2{,}93)=9350\ \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}.$$

Определим теплосодержание 1 м³ охлажденного грунта q_{ox} около скважин по формуле (12). Примем $m_1 \approx 0{,}7$ м, температуру воздуха $t = -30°$ С, тогда

$$q_{ox} = 80 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}75 \cdot 1300 + 0{,}5 \cdot 520\,[-0{,}3 + 0{,}7(-30)] = 17\,080 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}.$$

По схеме на рис. 2

$$h_2 = R + h_{c.o} - H = 6 + 2 - 3 = 5 \text{ м};$$

$$h_1 = \sqrt{R^2 - l^2} + h_{c.o} - H = \sqrt{36 - 3{,}65^2} + 2 - 3 = 3{,}73 \text{ м}.$$

Принимаем $r_3 \approx 0{,}31$ (по табл. 5), тогда

$$R_1 = \sqrt{\frac{1{,}2 \cdot 9350 \cdot 3{,}2 \cdot 12\,(0{,}4 \cdot 12 - 3)}{3{,}14 \cdot 17080\,(5 + 2 \cdot 3{,}73)} + 0{,}31^2} = 1{,}12 \text{ м}.$$

Пример 2

Определить при указанных в табл. 1 грунтовых условиях необходимую продолжительность вентилирования пробуренной скважины при $d = 450$ мм, $R_1 = 1{,}12$ м, $t = -30°$ С.

Расчет ведем по формуле (20)

$$\frac{R_1}{r_0} = \frac{1{,}12}{0{,}225} = 5.$$

По графику на рис. 8 при таком отношении $D_1 = 27{,}5$; $D_2 = 23{,}5$. Коэффициент теплопроводности мерзлого суглинка $\lambda_м = 1{,}72$ ккал/(м·ч·град).

Скорость воздуха в кольцевом пространстве примем $v = 2{,}5$ м/с, тогда

$$\alpha = 5{,}4 + 3{,}6 \cdot 2{,}5 = 14{,}4 \frac{\text{ккал}}{(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})};$$

$$\omega = \frac{1}{\alpha r_0} = \frac{1}{14{,}4 \cdot 0{,}225} = 0{,}31 \frac{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}{\text{ккал}};$$

$$k = 1{,}2; \qquad q_{ox} = 17\,080 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}; \quad A = 0.$$

По формуле (20)

$$\tau_0 = \frac{1{,}2 \cdot 17080 \cdot 0{,}225^2}{48 \cdot 1{,}72\,[-0{,}3 - (-30)]}(0{,}5 + 27{,}5 + 23{,}5 \cdot 1{,}72 \cdot 0{,}31) =$$
$$= 17{,}3 \text{ сут}.$$

Таким образом, чтобы получить твердомерзлое состояние грунтов в основании фундаментов в зимнее время года, требуются вентилирование и радиальное охлаждение каждой скважины в течение 15—20 сут. В пылеватых песках, где разница в содержании незамерзшей воды составляет всего $w_0 - w_{ср} = 1 - 1{,}5\%$, радиальное охлаждение грунтов необходимо в течение 3—5 сут.

Пример 3

Определить повышение температуры в охлажденной зоне ($R_n = 2{,}2$ м) около кустового фундамента из четырех свай. В этом слу-

чае (см. рис. 8) $X=1$ м; $r_2=1{,}4$ м; $R_1\approx 1{,}12$ м; $t_{ус}=-2{,}2°$ С; $\mu=0{,}33$. По формуле (31) определяем m_1

$$m_1=\frac{1{,}61}{1{,}61+1{,}72\cdot 0{,}31}=0{,}75.$$

По формуле (30) определяем начальную температуру охлажденного массива. Принимая $\theta_1=0{,}75$ град/м; $h_1=6$ м; $k_1=0{,}8$, находим

$$t_н=[0{,}75\,(-30)+6\cdot 0{,}75]\,0{,}8=-14{,}4°\text{ С}.$$

По формуле (34)

$$Y=\frac{t_0-t_{ус}}{t_{ус}-t_н}=\frac{-0{,}3-(-2{,}2)}{-2-(-14{,}4)}=0{,}16.$$

Тогда по формуле (33)

$$z=\frac{0{,}9\,(0{,}33\cdot 1{,}72-1{,}07\cdot 0{,}16)}{0{,}33\,(1{,}72+0{,}58\cdot 0{,}16)}=0{,}71.$$

Считая, что

$$a_м=\frac{\lambda_м}{C_м}=\frac{1{,}72}{520}=0{,}0033\ м^2/ч,$$

по формуле (36) находим

$$x=\frac{2{,}1\cdot 1{,}72\cdot 0{,}71^2\,[-2{,}2-(-14{,}4)]}{17080\cdot 0{,}0033}=0{,}39,$$

по формуле (35) определяем

$$R_m=2{,}2e^{0{,}39}=2{,}2\cdot 1{,}48=3{,}26\text{ м}.$$

Повышение температуры до $t_{ус}$ определяем по формуле (32)

$$\tau_2=\frac{3{,}26^2\cdot 0{,}71^2}{24\cdot 0{,}0033}=67{,}5\text{ сут}.$$

Учитывая, что район строительства расположен в районе Полярного круга, $\tau_п=125$ сут, по формуле (38) определяем τ_4:

$$\tau_4=125-67{,}5=56{,}5\text{ сут},$$

а по формуле (37) — Fo

$$\text{Fo}=\frac{24\cdot 56{,}5\cdot 0{,}0033\cdot 0{,}33}{3{,}26^2}=0{,}14;$$

Зная, что

$$1-r_2/R_m=1-\frac{1{,}4}{3{,}26}=0{,}57,$$

по рис. 10 $\theta_2=0{,}54$.
Затем по формуле (39) находим $t_р$:

$$t_р=0{,}54\,[-2{,}2-(0{,}3)]=-1{,}03°\text{ С}>t^т=-1{,}5°\text{ С},$$

поэтому необходимо увеличить общую зону охлаждения.

Предположим $R_m=3{,}8$ м:

$$\tau_2=\frac{3{,}8^2\cdot 0{,}71^2}{24\cdot 0{,}0033}=92 \text{ сут};$$

$$\tau_4=125-92=33 \text{ сут};$$

$$\text{Fo}=\frac{24\cdot 33\cdot 0{,}0033\cdot 0{,}33}{3{,}8^2}=0{,}06;$$

$$\theta_2=0{,}84;$$

$$t_\text{р}=0{,}84\,[-0{,}3-(-2{,}2)]=-1{,}59^\circ\text{ С}<-1{,}5^\circ\text{ С}.$$

Задаемся $R_m=3{,}7$ м:

$$\tau_2=\frac{3{,}7^2\cdot 0{,}71^2}{24\cdot 0{,}0033}=87 \text{ сут};$$

$$\tau_4=125-87=38 \text{ сут};$$

$$\text{Fo}=\frac{24\cdot 38\cdot 0{,}0033\cdot 0{,}33}{3{,}7^2}=0{,}073;$$

$$\theta_2=0{,}77;$$

$$t_\text{р}=0{,}77\,[-2{,}2-$$

$$-(-0{,}3)]=-1{,}46^\circ\text{ С}>t^\text{т}.$$

Таким образом, $R_m=3{,}72$ м.
Так как $R_m=3{,}72$ м, то

$$R_n'=\frac{R_m}{e^x}=\frac{3{,}72}{1{,}48}=2{,}5 \text{ м}.$$

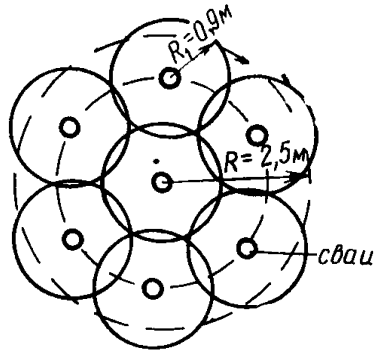


Рис. 3. Смыкание цилиндрических охлажденных зон в плане

По формуле (40) определяем дополнительное время охлаждения по сравнению с временем охлаждения, подсчитанным в примере 2.

$$\tau_0'=\frac{17\,080\cdot 2{,}5^2}{380\cdot 1{,}72\,[-0{,}3-0{,}9\,(-30)]}=6{,}2 \text{сут},$$

т. е. в данном случае скважины необходимо вентилировать

$$6{,}2+17{,}3=23{,}5 \text{ сут}.$$

Для сокращения времени охлаждения можно увеличить число свай в кусте. На рис. 3 показано, что при $R_1=0{,}9$ м и семи сваях в кусте можно получить $R_n=2{,}5$ м, что обеспечит $t_\text{р}=-1{,}5^\circ$ С. Технико-экономическим расчетом должно определяться, что принять в проекте: более длительное охлаждение грунтов или увеличение числа свай в кусте.

Список литературы

1. **Максимов Г. Н.** Применение незаполненных оболочек и установка свай с замораживанием таликов в районах вечномерзлых грунтов. Сб. № 45 НИИ оснований «Искусственные основания». — М., Госстройиздат, 1961.

2. **Максимов Г. Н.** Искусственное воздушное охлаждение при устройстве свайных фундаментов на вечномерзлых грунтах. Сб. № 55 НИИ оснований «Основания и фундаменты». — М., Стройиздат, 1964.

3. **Максимов Г. Н.** Охлаждение высокотемпературных вечномерзлых грунтов при устройстве свайных фундаментов. — Основания, фундаменты и механика грунтов 1968, № 1.

4. **Сорбкин С. В.** Исследование процесса вмораживания свайных фундаментов на пластично-мерзлых грунтах. В сб. «Совершенствование крупнопанельного домостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов и сурового климата». Доклады и сообщения Всесоюзного научно-технического совещания, III секция. Основания, фундаменты и инженерное оборудование территории. — М., Центр научно-технической информации по гражданскому строительству и архитектуре, 1969.

5. **Максимов Г. Н., Занятин С. И., Порошин К. Н.** Опыт углекислотного охлаждения грунтов оснований под полносборным зданием в южной зоне распространения вечномерзлых грунтов. В сб. «Совершенствование крупнопанельного домостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов и сурового климата». Доклады и совещания Всесоюзного научно-технического совещания, III секция. Основания, фундаменты и инженерное оборудование территории. — М., Центр научно-технической информации по гражданскому строительству и архитектуре, 1969.

6. **Лыков А. В.** Теория теплопроводности.— М., Высшая школа, 1967.

7. **Порхаев Г. В.** Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. — М., Наука, 1970.

8. **Цытович Н. А.** Механика мерзлых грунтов, глава VIII. М., Высшая школа, 1973.

9. **Максимов Г. Н., Синева Л. Ж.** Оптимальный режим охлаждения оснований зданий подпольями. — Гражданское строительство, 1976, № 10.

10. **Справочник** по строительству на вечномерзлых грунтах.— Л., Стройиздат, 1977.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Расчет охлаждения грунтов оснований 7
Расчет охлаждения грунтов оснований для зданий с однорядным расположением свай 7
Расчет охлаждения грунтов оснований для зданий и сооружений с кустовым расположением свай 15
Естественное поверхностное охлаждение оснований . . 20
3. Особенности производства работ и контроля их при охлаждении оснований 20
Приложение 1. Воздушная турбохолодильная машина ТХМ1-25 25
Приложение 2. Изотермический контейнер для углекислоты 25
Приложение 3. Примеры расчетов 26
Список литературы 30

НИИ оснований и подземных сооружений
им. Н. М. Герсеванова
Госстроя СССР

**Руководство
по устройству свайных фундаментов
в вечномерзлых грунтах с предварительным
охлаждением оснований**

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Г. А. Жигачева
Редактор О. Г. Дриньяк
Мл. редактор С. А. Зудилина
Технический редактор Н. Г. Бочкова
Корректоры Л. М. Вайнер, Г. А. Кравченко

Сдано в набор 18.10.78. Подписано к печати 1.02.79. Т-03644. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 1,68. Уч.-изд. л. 1,87. Тираж 18.000 экз. Изд. № XII 7997. Зак. № 743. Цена 10 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

gost.e-ecolog.ru