НИИОСП

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

МОСКВА 1982

gost.e-ecolog.ru

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

МОСКВА 1982

УДК 624.139.68

Рекомендации содержат положения по применению электрических нагревателей для предварительного оттаивания вечномерзлых грунтов оснований зданий и сооружений. Приводятся основные сведения о конструкциях электронагревателей, оборудовании подлежащих оттаиванию площадок, контроле за процессом оттаивания и технике безопасности при производстве работ по электрооттаиванию. Дана методика расчета экономически оптимальных режимов оттаивания и основных параметров, необходимых для проектирования предварительного оттаивания.

Рекомендации предназначены для специалистов, занимающихся вопросами проектирования и строительства в суровых климатических условиях.

Работа рекомендована к изданию решением Воркутинской секции Научно-технического совета НИИОСП.

Рекомендации составлены канд.техн.наук Е.С.Макоименко. Научное руководство работой и редактирование осуществлялось докт. техн.наук Л.Н.Хрусталевым. В подготовке работы в качестве консультанта принимал участие инж.О.М.Янченко (ин-т "Печорниипроект").

Замечания и предложения по содержанию Рекомендаций просьба направлять по адресу: 169911, Воркута Коми АССР, Яновского,1.

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М. Герсеванова, 1982

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Для ускорения внедрения в практику строительства последних достижений науки и техники и установления прямых связей между научно-исследовательскими и проектными организациями Госстрой СССР разрешил при разработке рабочих чертежей применять рекомендации головных институтов Госстроя СССР до включения их в нормативные документы. При этом соответствующая часть проекта, в которую вошли разработки научно-исследовательского института, должна быть выполнена с участием головного НИИ - автора работы.

I.2. Настоящие Рекомендации разработаны в развитие положений глав СНиП II-I8-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования" и III-9-74 "Основания и фундаменты. Правила производства и приемки работ" [I,2].

I.3. Рекомендации являются пособием для проектирования и производства работ по предварительному оттаиванию вечномерзлых грунтов оснований зданий и сооружений с помощью электронагревателей.

I.4. Предварительное оттаивание вечномерзлых грунтов оснований позволяет расширить область применения II принципа их использования в качестве оснований зданий и сооружений [I], уменьшить деформации оснований в процессе эксплуатации, упростить конструктивные решения и технологию устройства нулевого цикла, а также во многих случаях сократить сроки, материалоемкость и стоимость строительства.

I.5. К электронагревателям для предварительного оттаивания грунтов оснований относятся различные устройства, преобразующие электрическую энергию в тепловую и передающие тепло в грунт через стенки скважин, в которые они устанавливаются.

I.6. Электронагреватели могут использоваться в строительстве промышленных и гражданских объектов как при необходимости площадного оттаивания (когда ореолы оттаивания соседних нагревателей смыкаются), так и при проведении локального оттаивания под отдельные фундаменты (расчетные формулы электротехнических параметров для этих случаев представлены в Приложениях 2 и 4 настоящих Рекомендаций).

I.7. Выбор конструкции электронагревателей при проектировании осуществляется в зависимости от наличия необходимого оборудо-

вания у строительной организации.

I.8. Глубина предварительного оттаивания и площадь оттаиваемого участка определяются теплотехническим расчетом в соответствии с требованиями главы СНиП II-I8-76 (п.3.23) [I].

I.9. Глубина погружения для всех типов электронагревателей принимается равной расчетной глубине предварительного оттаивания, уменьшенной на I м.

I.IO. Контроль за процессом оттаивания грунтов осуществляется путем периодических замеров электрических параметров электронагревателей и температуры грунтов в термометрических скважинах.

I.II. Глубина термометрических скважин назначается на I м больше расчетной глубины предварительного оттаивания.

I.I2. После отключения электроэнергии с целью подтверждения факта оттаивания грунтов площадки и определения физико-механических характеристик оттаянных грунтов производится контрольное бурение с отбором образцов грунта для лабораторных исследований.

2. КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

2.I. Для оттаивания вечномерзлых грунтов могут использоваться электронагреватели двух типов: трубчатые (рис.Iа,б,в) и омические (рис.Iг).

Основными конструктивными элементами электронагревателей являются: корпус, нагревательный элемент, изоляторы и контакты для подключения тоководов (подачи электроэнергии).

2.2. Трубчатые нагреватели изготавливаются из бесшовных металлических труб диаметром 50-I50 мм, являющихся корпусом, предохраняющим нагревательный элемент от механических повреждений и замачивания. Нагревательные элементы в большинстве случаев представляют собой высокоомные спирали из нихрома, фехраля, никелина и т.п., размещаемые в корпусе на изоляторах, исключающих контакт частей нагревательного элемента между собой.

Питание трубчатых электронагревателей осуществляется переменным или постоянным электрическим током напряжением до 220 В.

2.3. Омический нагреватель изготавливается из двух соединенных в нижней части металлических стержней диаметром I2-36 мм, между которыми на расстоянии I,0-I,5 м один от другого устанавливают-

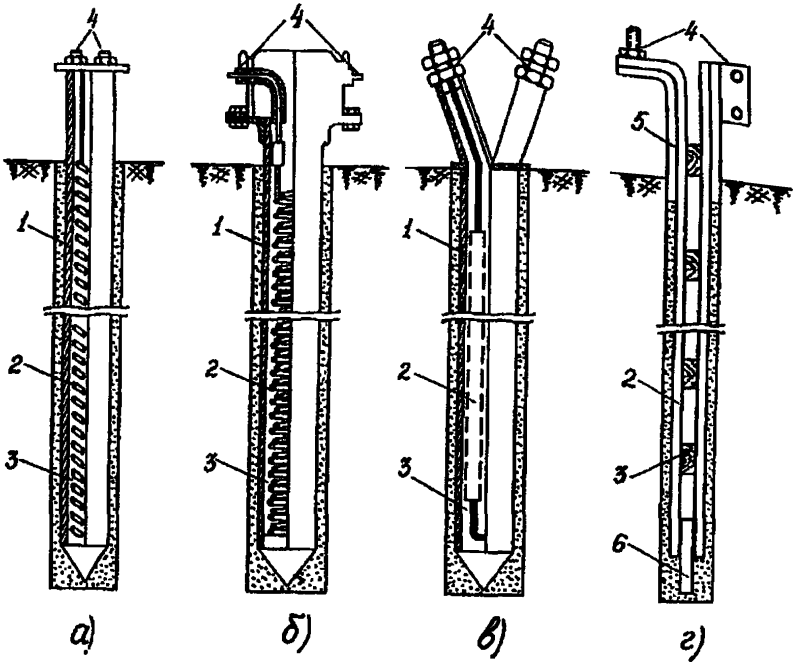

Рис.I. Конструкции электронагревателей:
I - корпус; 2 - нагревательный элемент; 3 - изолятор; 4 - контакты для подключения тоководов; 5 - дополнительный стержень; 6 - металлическая соединительная вставка

ой асбоцементные, фарфоровые, деревянные или другие изоляторы. Минимально допустимое расстояние между стержнями (ветвями омического нагревателя), определяющее поперечный размер изолятора, составляет 40 мм.

Верхняя часть нагревателя с целью уменьшения теплопотерь с поверхности оттаиваемого массива вблизи нагревателя снабжается дополнительными стержнями длиной 0,5-I,0 м, привариваемыми к ветвям нагревателя.

Контакты омического нагревателя могут выполняться в двух вариантах (рис.Iг): в виде болтов М10-М20, привариваемых головкой к дополнительным стержням, либо в виде металлических пластин с

отверстиями под болты.

Питание омических нагревателей осуществляется переменным или постоянным электрическим током напряжением 10–40 В.

2.4. При необходимости оттаивания вечномерзлых грунтов несливающегося типа электронагреватели изготавливаются с таким расчетом, чтобы при погружении нагревательный элемент располагался в вечномерзлой толще. Для трубчатых нагревателей это достигается расположением нагревательного элемента в нижней части корпуса, погружаемой в вечномерзлую толщу, для омических – увеличением сечения верхней части, прорезающей талый слой. При этом верхняя часть омического нагревателя либо изготавливается из стержней большего диаметра, либо снабжается дополнительными стержнями с таким расчетом, чтобы сечение ветви нагревателя в этой части было не менее чем в 3 раза больше сечения ветви, расположенной в вечномерзлой толще.

2.5. При длине нагревателей и обсадных труб термометрических скважин более 12 м ввиду ограничений, связанных с транспортировкой крупногабаритных грузов, допускается изготовление и транспортировка оборудования по секциям с монтажом на строительной площадке. При этом секции омических нагревателей должны соединяться внахлестку. Во избежание местного перегрева длина сварных швов во всех случаях принимается не менее 0,2 м.

При сращивании секций трубчатых нагревателей и обсадных труб термометрических скважин следует производить проверку герметичности стыков воздушным давлением $P = 4$ ат (0,4 МПа) в соответствии с ГОСТ 3242-69.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТТАИВАНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯМИ

3.1. Проект предварительного оттаивания вечномерзлых грунтов основания здания или сооружения должен разрабатываться на основе материалов инженерно-геологических изысканий, расчетов основания и фундамента и содержать основные данные, определяющие объем, сроки, порядок производства работ и технико-экономические показатели применяемого способа оттаивания. Рекомендуемый состав проекта электрооттаивания приведен в приложении 3 настоящих Рекомендаций.

3.2. Режим работы электронагревателей выбирается с учетом

затрат на их погружение (на бурение при погружении электронагревателей в предварительно пробуренные скважины), изготовление, установку и подключение (коммутацию электрической схемы питания нагревателей), а также с учетом продолжительности процесса оттаивания и затрат электроэнергии из условия минимума полной стоимости работ по предварительному оттаиванию грунтов основания.

Оптимальный с экономической точки зрения режим оттаивания грунтов основания для конкретного здания или сооружения определяется значениями продолжительности оттаивания и радиуса оттаивания грунта вокруг нагревателя, рассчитываемым по формулам (I,2) настоящих Рекомендаций (п.3.3).

Примечание. При разработке проектов электрооттаивания для объектов со специфическими условиями строительства (требования к срокам подготовки оснований, наличие в районе строительства электроподстанций необходимой мощности и т.п.) допускается отклонение от расчетных оптимальных значений параметров.

3.3. Продолжительность и радиус оттаивания грунта вокруг электронагревателя определяются по формулам:

$$\tau_0 = 0{,}64 \exp\left[0{,}767 \lg \frac{K_э\left(K_б + K_и + \frac{K_т}{\tau}\right)\sigma\omega h_н^2 S^2}{a K_т^2}\right]; \quad (I)$$

$$R_0 = 0{,}71 \exp\left[0{,}384 \lg \frac{\left(K_б + K_и + \frac{K_т}{\tau}\right)^2 a h_н S}{K_т K_э \sigma \omega}\right], \quad (2)$$

где τ_0 – продолжительность оттаивания, ч;

R_0 – радиус оттаивания, м;

$K_э$ – стоимость I кВт.ч электроэнергии в районе строительства, руб/кВт.ч;

$K_б$ – стоимость погружения I п.м электронагревателя (при погружении в предварительно пробуренные скважины – стоимость I п.м скважины), руб/м;

$K_и$ – стоимость изготовления, установки и подключения электронагревателя, отнесенная к его длине, руб/м;

$K_т$ – расчетный коэффициент, руб/ч;

$$K_т = \frac{\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot \Phi_1}{t_н} + E_н \Phi_2}{8760}; \quad (3)$$

K_1 – коэффициент, определяющий накладные расходы от общей стоимости строительства;

K_2 – коэффициент, определяющий условно-постоянную часть накладных расходов от общей суммы накладных расходов;

$E_н$ = 0,15 – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в строительство / 3 /;

Φ_1 – стоимость основных фондов, принимаемая равной сметной стоимости здания (сооружения), руб.;

Φ_2 – стоимость основных фондов с учетом стоимости оборудования, устанавливаемого в здании (сооружении), (для жилых и общественных зданий принимается равной Φ_1) руб.;

$t_н$ – нормативная продолжительность строительства, определяемая по "Нормам продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений" СН 440-79 [4], год;

v – обобщенная скорость бурения, установки и подключения электронагревателей (оборудования площадки), м/ч;

σ – скрытая теплота фазового перехода лед-вода, равная 0,093 кВт.ч/кг;

ω – льдосодержание мерзлого грунта, кг/м^3;

$h_н = h - l$ – длина электронагревателя, м;

h – расчетная глубина предварительного оттаивания, м;

$S = \sum_{i}^{n} S_i$ – площадь оттаиваемого участка, м^2;

n – количество зон в пределах оттаиваемого участка с различной глубиной залегания верхней поверхности вечномерзлых грунтов;

$a = \frac{\lambda}{C}$ – температуропроводность талого грунта, м^2/ч;

λ – теплопроводность талого грунта, ккал/м·ч·^{0}С;

C – объемная теплоемкость талого грунта, ккал/м^3·^{0}С.

3.4. При отсутствии конкретных значений параметров K_1, K_2, v, Φ_1 и Φ_2 для сооружаемых объектов допускается их ориентировочное определение по осредненным технико-экономическим показателям для индустриально развитых районов Севера: K_I = 0,23; K_2=0,5; v = 1,7 – 2,1 м/ч;

$$\Phi_{1,2} = m \cdot V; \qquad (4)$$

где V – объем здания, м^3;

m – показатель стоимости I м^3 здания, зависящий от его функционального назначения, руб/м^3.

Для производственных зданий $m_п \approx 30$ руб/м^3, для общественных $m_о \approx 60$ руб/м^3, для жилых $m_ж \approx 80$ руб/м^3.

3.5. Мощность электронагревателей определяется удельной мощностью нагревательного элемента и его длиной, которая может быть различной для различных зон оттаиваемого участка S основания при неравномерном залегании верхней поверхности вечномерзлых грунтов:

$$P_н = \frac{G \cdot \omega \cdot R_0^4}{0{,}39\, a\, \tau_0^2}; \qquad (5)$$

$$P_i = P_н \cdot h_{нi}, \qquad (6)$$

где $P_н$ – удельная мощность нагревательного элемента, кВт/м;

P_i – полная мощность нагревателя, устанавливаемого в i-й зоне, кВт;

$h_{нi}$ – длина нагревательного элемента нагревателя, устанавливаемого в i-й зоне, м.

3.6. Размещать нагреватели в плане рекомендуется в шахматном порядке, обеспечивающем равномерность прогрева и оттаивания грунтов при минимальном количестве нагревателей, с расстоянием между нагревателями в ряду $L = 1{,}73\, R_0$ и расстоянием между рядами $H = 1{,}5\, R_0$.

3.7. Расчет электротехнических параметров нагревателей производится в соответствии с их техническими характеристиками.

Примечание. Расчет электротехнических параметров для омических нагревателей приведен в Приложении 2 настоящих Рекомендаций.

3.8. Мощность источника электроэнергии (трансформаторов) для одновременного питания всех нагревателей с учетом 20% потерь электроэнергии в процессе оттаивания на тоководах определяется по формуле

$$E = 1{,}2 \sum_i^n P_i N_i, \qquad (7)$$

где E – мощность источника, кВА;

N_i – количество нагревателей, устанавливаемых в i-й зоне.

3.9. Коммутацию электрической схемы питания нагревателей следует производить из условия соответствия параметров нагревателей техническим характеристикам питающих трансформаторов с соблюдением "Правил устройства электроустановок" [5].

3.10. Затраты электроэнергии на подготовку грунтов основания путем электрооттаивания рассчитываются по формулам

$$W = E \cdot \tau_0 ; \qquad (8)$$

$$W_0 = \frac{W}{S(h_н + 1)} , \qquad (9)$$

где W – полные затраты электроэнергии на подготовку грунтов основания путем электрооттаивания, кВт.ч;

W_0 – удельные затраты электроэнергии на 1 м^3 основания, кВт.ч/м^3.

3.11. Стоимость подготовки грунтов основания путем электрооттаивания определяется по формулам

$$C = (K_б + K_ц + K_э P_н \cdot \tau) N h_н ; \qquad (10)$$

$$C_0 = \frac{C}{S(h_н + 1)} , \qquad (11)$$

где C – полная стоимость, руб.;

C_0 – удельная стоимость, руб/м^3;

$N = \sum_{i}^{n} N_i$ – общее количество нагревателей.

Примечание. На стадии технико-экономического сравнения с другими вариантами строительства определение полной стоимости электрооттаивания допускается без расчета количества нагревателей и производится по формуле

$$C = \frac{S h_н}{\pi} \left[\frac{6\omega \cdot K_э R^2}{0{,}39 a \tau_0} - \frac{K_б + K_ц}{R_0^2} \right]. \qquad (12)$$

3.12. Термометрические скважины (рис.2) следует располагать на участках с наиболее неблагоприятными для оттаивания условиями (максимальная льдистость грунтов, минимальная теплопроводность и т.п.) в центре треугольника, образованного нагревателями. Количество термометрических скважин должно составлять 5–10 % от общего

числа нагревателей, но не менее двух.

3.13. Количество скважин контрольного бурения устанавливается в пределах 10–15 % от общего числа нагревателей.

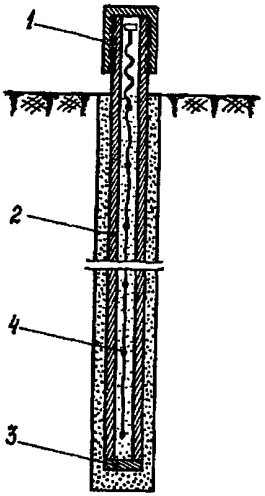

Рис.2. Обсадная труба (ø 57–89 мм) термометрической скважины:
1 – крышка на резьбе; 2 – труба; 3 – заглушка; 4 – термокомплект в песчаной засыпке

4. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО ОТТАИВАНИЮ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯМИ

4.1. Площадка, на которой будут производиться работы по оттаиванию грунтов, должна быть тщательно очищена от снега, мусора (особенно металлических предметов) и ограждена сплошным деревянным забором высотой не менее 2,5 м с запирающимися входом и въездом для транспорта. Ограждение должно располагаться на расстоянии не менее 5 м от крайних нагревателей.

4.2. Установку трансформаторов для питания электронагревателей, подводку силовой и осветительной линий к площадке следует производить согласно действующим правилам, техническим условиям и инструкциям на электромонтажные работы.

Технический расчет и указания по выполнению электромонтажных работ выдает производитель работ по электрооттаиванию грунтов

на основании проектных данных о требуемых мощностях источников электроэнергии.

4.3. Погружение в грунт электронагревателей и обсадных труб термометрических скважин должно осуществляться в предварительно пробуренные скважины диаметром не более 200 мм. При условии обеспечения эксплуатационной пригодности допускается их погружение в грунт забивкой.

4.4. При установке нагревателей и обсадных труб термометрических скважин в предварительно пробуренные скважины пазухи должны заполняться сухим песком или разжиженной грунтовой массой. По мере усадки заполнителя, происходящей на начальной стадии процесса оттаивания, заполнение пазух должно производиться ежедневно до полного прекращения усадки.

4.5. *Коммутация электрической схемы питания* нагревателей должна производиться с помощью алюминиевых шин или кабелей.

Примечание. В порядке исключения допускается использовать в качестве тоководов арматурную сталь при условии, что поперечное сечение тоководов превосходит сечение ветви нагревателя не менее, чем в три раза. Соединение таких тоководов должно производиться электросваркой.

4.6. В процессе работ по оттаиванию должен осуществляться контроль за электрическими характеристиками процесса и температурой грунтов.

4.7. Контроль за электрическими характеристиками включает фиксирование следующих параметров: напряжение на "низкой стороне" питающих трансформаторов, напряжение на нагревателях, сила тока, протекающего по нагревателям, показания счетчиков электроэнергии. Все показания и измерения должны заноситься в "Журнал наблюдений за электрооттаиванием грунтов", рекомендуемая форма которого приведена в приложении 5 настоящих Рекомендаций.

Примечание. При отклонении от проектного режима оттаивания (перегорание нагревателей, обгорание контактов и пр.) подача электроэнергии должна быть немедленно прекращена и произведены работы по восстановлению оборудования.

4.8. Контроль за температурой оттаивающих грунтов производится путем ее измерения в термометрических скважинах. В качестве датчиков температуры могут использоваться любые устройства, обеспечивающие точность измерения температуры не менее $0,5^{\circ}C$.

Измерения температуры должны производиться в начальный момент (до подачи электроэнергии к нагревателям) и, начиная со вто-

рой половины расчетной продолжительности оттаивания, ежедневно через 2-3 м по глубине. При фиксировании температуры $+1^{\circ}C$ на отдельных горизонтах последующие замеры должны производиться с той же периодичностью через каждый метр по глубине.

Примечание. Наиболее достоверные сведения о температуре грунтов дает использование засыпаемых сухим песком термокомплектов (см.рис.2).

4.9. Подача электроэнергии к нагревателям в пределах оттаиваемого участка может быть прекращена по достижении температуры $+2^{\circ}C$ и выше во всех скважинах.

4.10. Контрольное бурение, выполняемое после прекращения подачи электроэнергии к нагревателям, производится в местах с максимальной первоначальной льдистостью, в центре и на краю оттаиваемого участка, а также в местах, где нагреватели работали с отклонением от расчетного режима.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРООТТАИВАНИЮ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

5.1. При производстве работ по электрооттаиванию технический персонал должен руководствоваться требованиями главы СНиП III-4-80 "Техника безопасности в строительстве" [6] и положениями настоящих Рекомендаций, изложенными в последующих пунктах.

5.2. Все работы на площадке электрооттаивания по ремонту оборудования, засыпке пазух у нагревателей, замерам температуры, контрольному бурению и т.п. допускается производить только при отключенной электроэнергии.

5.3. В течение всего срока производства работ по электрооттаиванию на участке должен находиться дежурный электрик, ответственный за исправность и правильную эксплуатацию оборудования.

5.4. На ограждении (см.п.4.1 настоящих Рекомендаций) должны быть размещены в достаточном количестве транспаранты, предупреждающие об опасности поражения электрическим током, и сигнальные лампы, включение которых производится одновременно с подачей электроэнергии к нагревателям.

5.5. В ночное время площадка, на которой ведутся работы по электрооттаиванию, должна быть хорошо освещена. Обязательным условием является также освещенность предупредительных транспарантов на подходах к площадке.

Список литературы

I. СНиП II-I8-76. Нормы проектирования. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М., Стройиздат, I977.

2. СНиП III-9-74. Правила производства и приемки работ. Основания и фундаменты. М., Стройиздат, I979.

3. СН 509-78. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М., Стройиздат, I979.

4. СН 440-79. Нормы продолжительности строительства и заделя в строительстве предприятий, зданий и сооружений. М., Стройиздат, I98I.

5. Правила устройства электроустановок. ПУЭ-76. М., Атомиздат, I978.

6. СНиП III-4-80. Правила производства и приемки работ. Техника безопасности в строительстве. М., Стройиздат, I980.

Приложение I

Пример расчета основных параметров предварительного оттаивания электронагревателями вечномерзлых грунтов основания здания

Пусть необходимо произвести оттаивание грунтов основания под 79-квартирный пятиэтажный крупнопанельный жилой дом.

Глубина залегания верхней поверхности вечномерзлых грунтов (ВПВМГ) в восточной части площадки I6 м, в центральной – I0 м, в западной части ВПВМГ оливается со слоем сезонного промерзания.

Глубина предварительного оттаивания, найденная в соответствии с требованиями СНиП II-I8-76 h = I6 м. Длину нагревателей в соответствии с п.3.3 настоящих Рекомендаций принимаем равной $h_н$ = I6-I = I5 м. Ввиду неравномерности залегания ВПВМГ площадь оттаиваемого участка S разбиваем на две зоны. Площадь первой зоны, в пределах которой залегают вечномерзлые грунты сливающегося типа, S_1 = 392 м^2, площадь второй зоны со средней отметкой залегания ВПВМГ I0 м S_2 = 672 м^2 (рис.3).

Площадь оттаиваемого участка $S = S_1 + S_2$ = I064 м^2.

В качестве исходных данных принимаем следующие значения параметров, входящих в расчетные формулы п.3.3:
$K_э$ = 0,027 руб/кВт.ч; $K_Б$ = I5 руб/м; $K_ц$ = 2,5 руб/м; v = I,8 м/ч; K_I = 0,23; K_2 = 0,5; G = 0,093 кВт.ч/кг; ω = 300 кг/м^3; a = 0,002 м^2/ч.

Сметная стоимость здания неизвестна. Поэтому для ее определения воспользуемся указаниями, изложенными в п.3.4.

Объем здания V = I2 x 48 x I5 = 8640 м^3, $m_ж$ = 80 руб/м^3.

$$Ф_1 = 80 \times 8640 = 691200 \text{ руб.}$$

В соответствии с п.3.3 для жилых зданий

$$Ф_2 = Ф_1 = 691200 \text{ руб.}$$

Нормативную продолжительность строительства определяем по СН 440-79 [4]: $t_н$ = 7 мес. = 0,583 года.

По формуле (3) определяем значение коэффициента $K_т$:

$$K_т = \frac{\frac{0,23 \times 0,5 \times 691200}{0,583} + 0,15 \times 691200}{8760} = 27,4 \text{ руб/ч.}$$

По формулам (I) и (2) определяем продолжительность и радиус оттаивания грунта вокруг нагревателя:

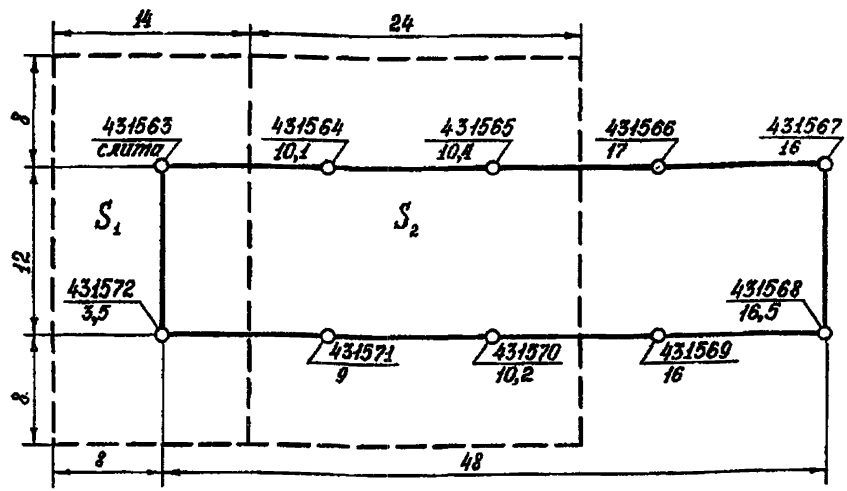

Рис.3. Схема разделения на зоны участка S оттаиваемого массива (размеры даны в метрах)

——— – контуры здания; $\frac{431567}{16}$ – местоположение изыскательской скважины, где в числителе номер скважины, в знаменателе – глубина залегания ВПВМГ;

– – – – – границы зон оттаиваемого участка

$$\tau_0 = 0{,}64\ exp\left[0{,}767\ lg\ \frac{0{,}027(15+2{,}5+\overset{27{,}4}{1{,}8})0{,}093\times300\times15^2\cdot1064^2}{0{,}002\times27{,}4^2}\right] \approx$$

$\approx$ 1026 ч (43 сут);

$$R_0 = 0{,}71\ exp\left[0{,}384\ lg\ \frac{(15+2{,}5+\overset{27{,}4}{1{,}8})^2\times0{,}002\times15\times1064}{27{,}4\times0{,}027\times0{,}093\times300}\right] \approx 2{,}4\ м.$$

Далее по формуле (5) находим удельную мощность нагревательного элемента:

$$P_н = \frac{0{,}093\times300\times2{,}4^4}{0{,}39\times0{,}002\times1064^2} \approx 1{,}05\ кВт/м$$

и полные мощности нагревателей для обеих зон по формуле (6), для которых соответственно $h_{\tau_1} = 15$ м и $h_{\tau_2} = 5$ м:

$$P_1 = 1{,}05\times15 = 15{,}75\ кВт,$$
$$P_2 = 1{,}05\times5 = 5{,}25\ кВт.$$

В соответствии с рекомендациями п.3.6 производим в плане расстановку нагревателей в шахматном порядке с расстоянием между нагревателями в ряду $L = 1{,}73\times2{,}4 = 4{,}2$ м и расстоянием между рядами $H = 1{,}5\times2{,}4 = 3{,}6$ м.

Расстановка нагревателей схематично показана на рис.4.

Количество нагревателей в первой зоне $N_1 = 21$, во второй – $N_2 = 39$.

По формуле (7) находим необходимую мощность подстанции для питания $N = N_1 + N_2 = 60$ нагревателей

$E = 1{,}2\ (15{,}75\times21 + 5{,}25\times39) \approx 540$ кВА.

Полные затраты электроэнергии определяем по формуле (8):

$W = 540\times1026 \approx 555000$ кВт.ч,

удельные – по формуле (9):

$$W_0 = \frac{555000}{1064\ (15+1)} \approx 33\ кВт.ч/м^3.$$

Стоимость предварительного оттаивания грунтов основания определяем по формуле (10):

$C = (15 + 2{,}5 + 0{,}027\times1{,}05\times1026)\times60\times15 \approx 42000$ руб,

удельную стоимость – по формуле (11):

$$C_0 = \frac{42000}{1064\ (15+1)} = 2{,}47\ руб/м^3.$$

В соответствии с п.3.12 определяем количество термометрических скважин в обеих зонах. В первой зоне оно составляет 2, во вто-

рой – 4. Схема расположения термометрических скважин дана на рис. 4.

Расчет электротехнических параметров произведем на примере омических нагревателей в соответствии с Приложением 2 настоящих Рекомендаций.

Требуется определить диаметр ветви нагревательного элемента и напряжение, подаваемое на нагреватель, устанавливаемый во второй зоне.

Для этих нагревателей принимаем: $P_н$ = I,05 кВт/м; $h_г$ = 5 м; $h_э$ = I0 м; j = I,3 А/мм^2; $\rho_р$ = I x I0^{-6} Ом·м; $\rho_т$ = 0,3 x I0^{-6} Ом·м.

По формуле (I3) определяем диаметр ветви нагревательного элемента:

$$d_2 = \frac{3{,}57 \times 10^{-2}}{1{,}3} \sqrt{\frac{1{,}05}{1{,}0 \times 10^{-6}}} \approx 20 \text{ мм}.$$

По формуле (I4) находим электрическое сопротивление омического нагревателя:

$$R_2 = \frac{2{,}55 \times 10^{6}}{20^2} \left(1 \times 10^{-6} \times 5 + 0{,}3 \times 10^{-6} \frac{10}{3}\right) \approx 0{,}038 \text{ Ом}.$$

По формуле (I5) определяем напряжение, необходимое для питания нагревателей, устанавливаемых во второй зоне:

$U_{н2}$ = 0,785 x I,3 x 20^2 x 0,038 ≈ I5 В.

Полную мощность омического нагревателя можно определить по формуле (I6):

$$P_2 = 10^{-3} \cdot \frac{15^2}{0{,}038} \approx 5{,}9 \text{ кВт}.$$

Схема подключения (коммутации нагревателей) разрабатывается на основе полученных расчетных значений электротехнических параметров в соответствии с п.3.9 настоящих Рекомендаций.

При использовании для питания нагревателей силовых трехфазных масляных трансформаторов типа ТМОБ-63 с линейным напряжением на "низкой стороне" 85 В к нему может быть подключено 9 нагревателей мощностью 5,9 кВт, соединенных "звездой" по три на фазу. При этом $U_ф$ = 49 В и с учетом падения напряжения на соединительных линиях на каждом нагревателе будет обеспечиваться падение напряжения около I5 В. Принципиальная схема подключения нагревателей к трансформатору дана на рис.5.

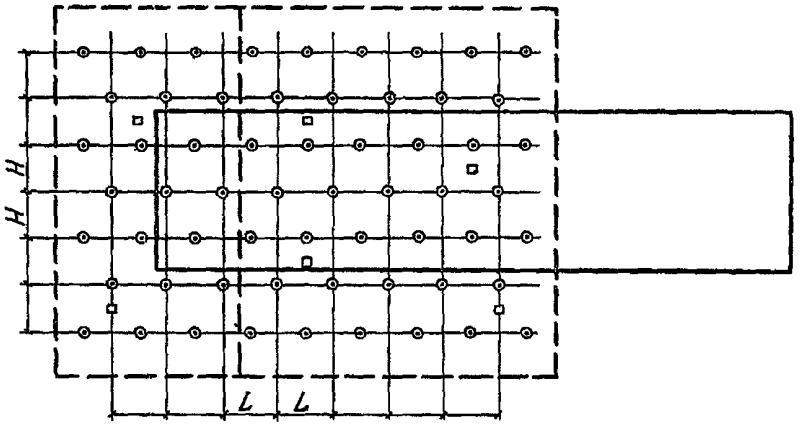

Рис.4. Схема расположения нагревателей и термометрических скважин на площадке (L = 4,2 м, H = 3,6 м):
- - - - - - граница зон оттаиваемого участка; ——— — контуры здания;
⊙ – нагреватель; □ – термометрическая скважина

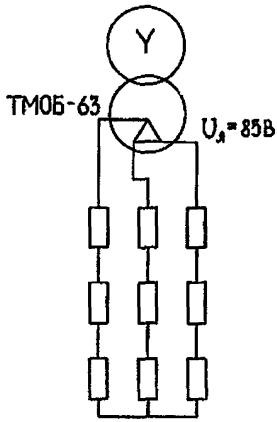

Рис.5. Принципиальная электрическая схема подключения омических нагревателей к трансформатору

Приложение 2

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОМИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

1. Для надежной работы омического нагревателя необходимо, чтобы плотность тока j, протекающего по нагревателю, не превышала 1,5 А/мм^2.

2. Удельное электрическое сопротивление арматурной стали, обычно используемой для изготовления омических нагревателей, в рабочем режиме (для нагревательного элемента) $\rho_р \approx 1{,}0 \times 10^{-6}$ Ом.м, в режиме токовода (для верхней части, прорезающей талый слой) $\rho_т \approx 0{,}3 \times 10^{-6}$ Ом.м.

3. Диаметр ветви нагревательного элемента определяется по формуле

$$d = \frac{2{,}52 \times 10^{-2}}{j} \sqrt{\frac{P_н}{\rho_р}}, \qquad (13)$$

где $P_н$ – удельная мощность нагревательного элемента (см.раздел 3 настоящих Рекомендаций), кВт/м.

4. Электрическое сопротивление омического нагревателя с дополнительными стержнями в верхней части (сечение ветви верхней части втрое превосходит сечение нагревательного элемента, см.п.2.4 настоящих Рекомендаций) определяется по формуле

$$R = \frac{2{,}55 \times 10^{6}}{d^2} \left(\rho_р h_г + \rho_т \frac{h_д}{3}\right), \qquad (14)$$

где R – сопротивление, Ом;

$h_г$ – длина одной ветви нагревательного элемента, м;

$h_д$ – длина одной ветви нагревателя в зоне установки дополнительных стержней, м.

5. Падение напряжения на омическом нагревателе определяется по формуле

$$U_н = 0{,}785\, j\, d^2 R. \qquad (15)$$

6. Уточненное значение мощности омического нагревателя, необходимое для разработки схемы подключения (коммутации) нагревателей, определяется по формуле

$$P = \frac{U_н^2}{R} \times 10^{-3}.$$

Приложение 3

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СОСТАВ ПРОЕКТА ОТТАИВАНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЯ ИЛИ СООРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯМИ

I. Чертеж с указанием:

а) границ оттаиваемого участка и расположения в плане нагревателей и термометрических скважин (масштаб I:200 ÷ I:500);

б) спецификаций нагревателей и обсадных труб термометрических скважин;

в) объема бурения под нагреватели и обсадные трубы термометрических нагревателей (при их погружении в предварительно пробуренные скважины) и объема контрольного бурения;

г) усредненных физико-механических и теплофизических свойств оттаиваемых грунтов;

д) площади оттаиваемого участка, расчетной глубины оттаивания, радиуса и продолжительности оттаивания, полного и удельного расходов электроэнергии.

2. Чертеж геологических разрезов основания по осям здания или сооружения с указанием отметок установки нагревателей и обсадных труб термометрических скважин, расчетной глубины оттаивания и начального положения верхней поверхности вечномерзлых грунтов.

3. Чертеж с электрической схемой подключения нагревателей к питающим трансформаторам и таблицей электротехнических параметров нагревателей и трансформаторов.

4. Сметная часть.

Примечание. На стадии проекта (по СН 202-81) материалы по п.2 приложения 3 не приводятся, а стоимость работ по оттаиванию определяется по формулам п.3.II настоящих Рекомендаций.

Приложение 4

РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОТТАИВАНИЯ И УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ОТТАИВАНИИ

При проведении локального оттаивания электронагревателями продолжительность оттаивания и удельные затраты электроэнергии определяются по формулам:

$$\tau = 1{,}59\, R^2 \sqrt{\frac{\sigma\omega}{a P_н}}; \qquad (16)$$

$$W_0 = \frac{P_н \cdot \tau\,(h_н + 1)}{\pi R^2},$$

где τ – продолжительность оттаивания, ч;

R – радиус оттаивания, м;

W_0 – удельные затраты электроэнергии, кВт.ч/м^3;

$\tau, \omega, a, P_н, h_н$ – то же, что и в разд.3 настоящих Рекомендаций.

Приложение 5

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ФОРМА "ЖУРНАЛА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭЛЕКТРООТТАИВАНИЕМ ГРУНТОВ"

Дата	Время замера	№ нагревателя	Напряжение на нагревателе, В	Сила тока, А	Показания счетчика электроэнергии, кВт.ч	Напряжение на питающем трансформаторе, В	Сила тока по фазам, А	Примечания	Подпись дежурного

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения . . . . . .
2. Конструкции электронагревателей для оттаивания вечномерзлых грунтов . . . . . .
3. Проектирование предварительного оттаивания вечномерзлых грунтов электронагревателями . . . . . .
4. Производство работ по оттаиванию вечномерзлых грунтов электронагревателями . . . . . .
5. Техника безопасности при производстве работ по электрооттаиванию вечномерзлых грунтов . . . . . .
Список литературы . . . . . .
Приложение I. Пример расчета основных параметров предварительного оттаивания электронагревателями вечномерзлых грунтов основания здания . . . . . .
Приложение 2. Расчет электротехнических параметров омических нагревателей . . . . . .
Приложение 3. Рекомендуемый состав проекта оттаивания вечномерзлых грунтов основания здания или сооружения электронагревателями . . . . . .
Приложение 4. Расчет продолжительности оттаивания и удельных затрат электроэнергии при локальном оттаивании . . .
Приложение 5. Рекомендуемая форма "Журнала наблюдений за электрооттаиванием грунтов" . . . . . .

НИИ оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова

Рекомендации по использованию электронагревателей для оттаивания вечномерзлых грунтов

Отдел патентных исследований и научно-технической информации
Зав.отделом А.И.Юшин
Редактор Т.А.Печенова

Л - 96934. Подп. в печать 1.II.82. Заказ № 1259 Формат 60x90 1/16
Бумага офсетная. Набор машинописный. Уч.-изд.л. 1,3
Тираж 500 экз. Цена 20 коп.

Отпечатано в Производственных экспериментальных мастерских
ВНИИИСа Госстроя СССР
121471. Москва, Можайское шоссе, 25

gost.e-ecolog.ru