ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ СТРОИТЕЛЬСТВУ
ГОССТРОЯ СССР
(ЦНИИОМТП)

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

МОСКВА — 1971

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.139.68: 621.365

В основу настоящих Рекомендаций положены результаты лабораторных, натурных, теоретических и производственных исследований, проведенных в различных климатических условиях Советского Союза, по определению оптимальных параметров, необходимых для рационального применения методов оттаивания мерзлых грунтов.

Данная работа выполнена лабораторией разработки мерзлых грунтов отдела организации, технологии и механизации земляных работ Центрального научно-исследовательского и проектно-экспериментального института организации, механизации и технической помощи строительству (ст. научн. сотр. Е. Г. Никольским).

Рекомендации могут быть использованы инженерно-техническими работниками строительных и проектных организаций для составления проектов производства работ по оттаиванию грунтов и их непосредственного выполнения на строительных площадках.

3-2-4
План II—III кв. 71 г., № 41

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Применение метода оттаивания 2
2. Определение основных зависимостей при оттаивании мерзлых грунтов 5
3. Определение количества нагревателей для производства работ и технологические схемы их выполнения 19
Приложения 31

Центральный научно-исследовательский
и проектно-экспериментальный институт организации,
механизации и технической помощи строительству
Госстроя СССР (ЦНИИОМТП)

Рекомендации по расчету и применению электронагревателей для оттаивания мерзлых грунтов

* * *

Стройиздат
Москва, Кузнецкий мост, 9

* * *

Редактор издательства Савранская Л. А.
Технический редактор Иноземцева Н. Е.
Корректор Атасина Л. П.

Сдано в набор 4/VIII 1971 г. Подписано к печати 26/X 1971 г. Т-13937. Бумага 84 $108^1/_{32}$ д. л. 0,5 бум. л. 1,68 усл. печ. л. (уч.-изд. 1,93 л.). Тираж 10 000 экз. Изд. № XII—3269. Зак. № 714. Цена 10 к.

Сортавальская книжная типография Управления по печати при Совете Министров КАССР. Сортавала, Карельская, 42.

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ СТРОИТЕЛЬСТВУ
ГОССТРОЯ СССР
(ЦНИИОМТП)

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва—1971

1. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОТТАИВАНИЯ

1.1. Метод оттаивания мерзлых грунтов с использованием электронагревателей рекомендуется применять в исключительных случаях — при невозможности применения взрывного или механического рыхления, а также при наличии свободной электроэнергии, при условии применения его не в ущерб другим строительно-монтажным работам, осуществляемым со значительной затратой электроэнергии (электропрогрев бетона и др.) и с согласия инстанций, контролирующих расход и потребление электроэнергии.

1.2. Целесообразность подготовки мерзлых грунтов к разработке различными методами обосновывается технологией и стоимостью производства работ.

1.3. Оттаивание грунтов применяют при сравнительно небольших объемах подготавливаемого грунта — отогрев небольших котлованов, участков траншей, вводов и т. д.; в труднодоступных местах и стесненных условиях; при близком расположении к месту производства работ трубопроводов, кабелей и других подземных сооружений; при аварийных и ремонтных работах.

Для этих целей используется поверхностное и радиальное оттаивание.

1.4. При поверхностном оттаивании прогрев осуществляется сверху — вниз от нагревателя, размещенного на поверхности грунта (рис. 1).

Преимущество метода поверхностного оттаивания заключается в простоте монтажа и эксплуатации нагревательных приборов. Однако его применение приводит к значительным тепловым потерям, что обусловливает:

низкий к. п. д. нагревателей;

медленный процесс оттаивания из-за одностороннего теплового воздействия на грунт;

непроизводительные затраты тепла на испарение верхнего слоя переувлажненного грунта;

увеличенные энергозатраты на оттаивание единицы объема грунта.

Кроме того, послойное оттаивание грунта приводит к непроизводительному использованию землеройных машин при последующей его разработке.

Поэтому методы поверхностного оттаивания как наиболее энергоемкие и продолжительные по времени следует применять только в крайнем случае — при необходимости оттаивания грунта на небольшую глубину порядка 0,5—0,6 *м* и менее, при производстве

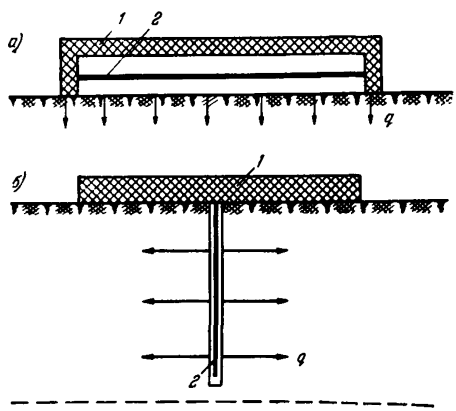

Рис. 1. Схемы установки нагревателей

а — при поверхностном оттаивании; *б* — при радиальном оттаивании; *1* — утеплитель; *2* — нагреватель

работ вблизи подземных коммуникаций, а также при эпизодических разработках грунта на небольших участках.

Стоимость оттаивания грунтов поверхностным методом составляет 1,2—1,5 *руб/м*^{3}. Энергозатраты при этом колеблются от 40 до 70 *квт·ч/м*^{3}.

1.5. При радиальном оттаивании прогрев производится в горизонтальных направлениях, „по радиусам" от нагревателя, размещенного в мерзлой зоне грунта в шпуре диаметром 60—100 *мм* и глубиной, равной 100—120 *см* (рис. 1).

При радиальном оттаивании возможность теплового воздействия одновременно по всей или большей части глубины промерзания обеспечивает:

минимальные тепловые потери при прогреве;

минимальные энергозатраты на оттаивании единицы объема грунта;

значительное сокращение времени оттаивания, так как тепловой поток распространяется во все стороны от поверхности нагрева;

возможность оттаивания грунта на глубину промерзания, обеспечивающую широкое применение землеройных механизмов.

1.6. В качестве теплоисточника при радиальном оттаивании наиболее эффективно использовать электрические иглы. Удобство электрических игл заключается в простоте монтажа и обслуживания; отсутствии дополнительного оборудования; возможности поддерживания необходимой мощности и температуры на поверхности иглы, а также доступности и простоте их изготовления.

1.7. Себестоимость оттаивания грунтов радиальным методом с использованием электрических игл составляет (при глубине промерзания 1,5 *м*) 0,5—0,7 *руб/м*^{3} при энергозатратах от 13 до 18 *квт·ч/м*^{3} (энергозатраты при использовании паровых, водяных игл и электродов составляют 40—70 *квт·ч/м*^{3})*.

1.8. Метод радиального оттаивания следует применять (за исключением случаев, описанных в п. 1.4) как наиболее экономичный и производительный.

Для этих целей применяют электронагреватели, выпускаемые серийно.

Техническая характеристика нагревателя

Номинальная мощность	1 *квт*
Номинальное напряжение	220 *в*
Номинальный ток	4,6 *а*
Сопротивление спирали	48,6 *ом*
Удельная поверхностная мощность спирали,	3,5 *вт/см*^{2}
То же, активной части трубки	2 „
Нихромовая проволока:	
диаметр	0,6 *мм*
длина	20 *м*
Гарантийный срок работы нагревателей	3000 *ч*

При необходимости использования электронагревателей для поверхностного оттаивания последние устанавливаются в теплоизолированные короба.

---

* Цикличный метод оттаивания мерзлых грунтов трубчатыми электронагревателями. Стройиздат, М., 1967.

1.9. Производительность методов поверхностного и радиального оттаивания можно определить исходя из полного количества рабочих циклов в сезон $Ц$ и объема оттаянного грунта $V_{зах}$ за это время

$$П_{год} = Ц\, V_{зах}\ м^3/сезон, \qquad (1)$$

где

$$Ц = \frac{z\, k_{ис} \cdot 24}{\tau_{общ}}\ циклов,$$

здесь z — количество дней в сезоне, в течение которых необходимо производить прогрев грунта;

$k_{ис}$ — коэффициент использования нагревателей по времени, принятый 0,8;

$\tau_{общ}$ — общее время нахождения нагревателей на захватке в *ч*:

$$\tau_{общ} = \tau_{пр} + \tau_{тв} + \tau_{м}\ ч,$$

$\tau_{пр}$ — время прогрева в *ч*;

$\tau_{тв}$ — время термосного выдерживания в *ч*;

$\tau_{м}$ — время, необходимое для монтажа и демонтажа нагревателей, в *ч*;

$V_{зах}$ — объем оттаянного грунта на одной захватке в $м^3$:

$$V_{зах} = F_{от} H k_{рас}\ м^3,$$

здесь $F_{от}$ — площадь оттаивания в $м^2$;

H — глубина оттаивания в *м*;

$k_{рас}$ — коэффициент рациональной расстановки нагревателей, при расчетах принимается 1,1.

Таким образом,

$$П_{год} = \frac{z k_{ис} \cdot 24}{\tau_{пр} + \tau_{тв} + \tau_{м}} F_{от} H k_{рас}\ м^3/год. \qquad (2)$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ОТТАИВАНИИ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

2.1. Для успешного производства работ по оттаиванию мерзлых грунтов электронагревателями необходимо учитывать основные условия, влияющие на тепло-

передачу и режим оттаивания грунта: мощность нагревателя и режим его работы; режим прогрева грунтов; физические и теплофизические свойства грунтов.

Влияние этих условий определяется теплотехническим расчетом и проверяется контрольным прогревом.

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЯ И РЕЖИМА ЕГО РАБОТЫ НА ВЕЛИЧИНУ РАДИУСА И ВРЕМЕНИ ПРОГРЕВА

2.2. Как показали исследования, факторы, влияющие на величину радиуса и времени оттаивания, могут быть разделены на следующие группы:

а) факторы, непосредственно связанные с удельной мощностью нагревателя;

б) факторы, зависящие от режима работы нагревателя (различные способы установки нагревателя при оттаивании).

Влияние приведенных факторов на скорость оттаивания далеко не одинаково. При небольших удельных мощностях нагревателя наилучшим условием теплообмена является непосредственный контакт нагревателя с массивом грунта. С увеличением удельной мощности таким условиям соответствует его свободная установка — при определенном расстоянии нагревателя от грунта. Увеличение или уменьшение этого расстояния сверх определенного значительно ухудшает теплообмен, увеличивая время и энергоемкость процесса оттаивания. Вышеперечисленные факторы влияют и на внутренние процессы, происходящие при прогреве.

2.3. Рациональность и экономичность процесса оттаивания оценивается энергоемкостью: произведением затрат электроэнергии на время прогрева, приведенное к 1 $м^3$ оттаянного грунта, т. е.

$$Э = \frac{N \tau_{пр} n}{V_{от}} \; квт \cdot ч/м^3, \qquad (3)$$

где N — мощность нагревателя в $вт$:

$$N = F_{наг} N_{уд} \; вт$$

или

$$N_{уд} = \frac{N}{F_{наг}} \; вт/см^2,$$

здесь $F_{наг}$ — полезная площадь нагревателя в $см^2$;

$N_{уд}$ — удельная мощность нагревателя в $вт/см^2$;

$\tau_{пр}$ — время прогрева в $ч$;

$V_{от}$ — объем оттаянного грунта в $м^3$;

n — количество нагревателей в шт.

Например, при оттаивании грунта траншеи с объемом мерзлоты 50 $м^3$ было использовано 40 нагревателей мощностью 1 $квт$ каждый. Время оттаивания 16 $ч$. Энергоемкость оттаивания составляет

$$Э = \frac{1 \cdot 16 \cdot 40}{50} \approx 13 \; квт \cdot ч/м^3.$$

2.4. Электронагреватели по удельной мощности можно разделить на три группы:

с удельной мощностью 0,3—1,5 $вт/см^2$;

с удельной мощностью 1,5—2,8 $вт/см^2$;

с удельной мощностью, превышающей 2,8 $вт/см^2$.

С увеличением удельной мощности нагревателя скорость оттаивания увеличивается (при этом следует учитывать п. 2.7).

2.5. Использование электронагревателей с небольшой удельной мощностью, равной 0,3—1,5 $вт/см^2$, приводит к замедлению процесса оттаивания через некоторый промежуток времени.

В период замедления процесса прогрев следует прекращать, так как увеличение времени прогрева приводит лишь к увеличению энергоемкости оттаивания. Максимальное время прогрева должно составлять 8—10 $ч$, что очень важно, так как отражает физический смысл процесса оттаивания. Наглядным подтверждением может служить применяемый в настоящее время режим прогрева электрическими иглами небольшой удельной мощности. Стремление увеличить радиус оттаивания приводит к продолжительному времени прогрева до 20—24 $ч$, что лишь увеличивает энергоемкость до 30—40 $квт \cdot ч/м^3$ при максимальном радиусе оттаивания 0,25—0,3 $м$.

По технологическим параметрам такое оттаивание нельзя признать рациональным.

2.6. Применение электронагревателей с удельной мощностью 1,5—2,8 $вт/см^2$ дает оптимальное соотношение скорости и энергоемкости процесса.

Преимущество таких нагревателей состоит в значительном сокращении времени прогрева при максимальном радиусе оттаивания.

2.7. Увеличение удельной мощности нагревателя свыше 2,8 *вт/см²* сказывается не только на скорости

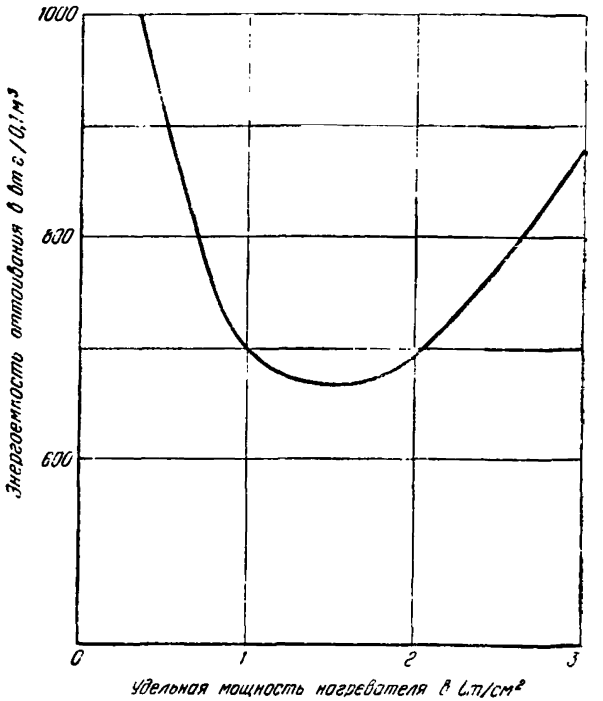

Рис. 2. Зависимость энергоемкости оттаивания от удельной мощности нагревателя

оттаивания, но и на величине удельных затрат энергоемкости (см. п. 2.3). При этом энергоемкость значительно возрастает и применение таких нагревателей становится экономически невыгодным (рис. 2).

2.8. Электронагреватели с удельной мощностью 1,5—2,8 *вт/см²* при оттаивании устанавливают в шпуры свободно, т. е. поверхность нагревателя не касается стенок шпура. При этом существует оптимальное расстояние между стенкой шпура и нагревателем соответствующей удельной мощности, при котором скорость

оттаивания максимальная. Оптимальное расстояние от нагревателя до стенки шпура определяется согласно графику, представленному на рис. 3.

2.9. Нагреватели с удельной мощностью 0,3—1,5 *вт/см²* устанавливаются в шпур с засыпкой,

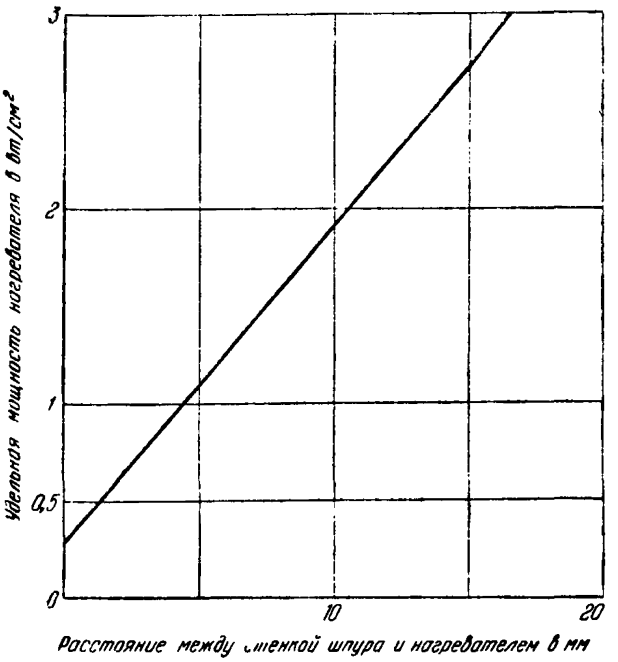

Рис. 3. Оптимальное расстояние между стенкой шпура и нагревателем

т. е. с плотным контактом его с массивом грунта. Нагреватели подобного типа используются только в исключительных случаях. При этом следует помнить, что радиус оттаивания составляет 0,25—0,3 *м*.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПРОГРЕВА ГРУНТА НА РАДИУС И ВРЕМЯ ОТТАИВАНИЯ

2.10. Длительное температурное воздействие на грунт нерационально. При длительном прогреве грунтовая влага близлежащих к нагревателю слоев начинает интенсивно испаряться, происходит перегрев контакт-

ного слоя, в результате чего плотность теплового потока значительно снижается. В этот период происходит замедление процесса, т. е. дальнейшее увеличение времени прогрева не приводит к увеличению радиуса оттаивания, а увеличивает лишь энергоемкость.

2.11. Наиболее целесообразным следует считать цикличный прогрев.

Оттаивание в этом случае производится с чередованием циклов прогрева и термосного выдерживания, следующих друг за другом. В период прогрева к грунту подводится тепло, необходимое для оттаивания некоторого объема и нагревания его на определенную величину. В период термосного выдерживания часть тепла, полученная при нагревании этого объема, расходуется на увеличение зоны оттаивания и нагрева ее.

При подобном режиме оттаивания общее время прогрева невелико: период термосного выдерживания используется не только для дальнейшего оттаивания, но и для выравнивания температур, что позволяет избежать побочных явлений, описанных выше (пп. 2.5, 2.10).

2.12. Основной величиной, определяющей весь процесс оттаивания в целом, является время первого прогрева, так как в это время грунт должен получить вполне определенное количество тепла [1]. Время первого периода прогрева составляет 6—12 *ч*, время термосного выдерживания — 3 — 6 *ч*. Такой цикл (прогрев и термос) в зависимости от глубины промерзания и физико-механических свойств грунта повторяется 2—3 раза. Например, режим прогрева (8п + 4т)2 — 8 *ч* прогрев и 4 *ч* термосное выдерживание повторяется дважды.

Подробный расчет режима прогрева приводится в п. 2.26.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТА НА РАДИУС И ВРЕМЯ ОТТАИВАНИЯ

2.13. При производстве работ по оттаиванию грунтов необходимо учитывать, что величины радиуса и вре-

[1] При использовании нагревателей с удельной мощностью 0,3—1,5 *вт/см*^{2} прогрев производится в течение 10—12 *ч* только один раз. В этом случае тепла, полученного при прогреве, недостаточно для увеличения радиуса оттаивания при термосном выдерживании.

мени оттаивания зависят от грунтовых условий и в первую очередь от вида грунта, его влажности, температуры и объемного веса.

ВЛИЯНИЕ ВИДА ГРУНТА

2.14. Скорость оттаивания изменяется с изменением дисперсности грунта. Песчаные грунты состоят из небольшого количества крупных твердых частиц; в глинистых грунтах — много мелких частиц. Частицы грунта находятся в неплотном соприкосновении друг с другом, и каждый контакт служит препятствием прохождению тепла. Следовательно, с уменьшением дисперсности грунтов (увеличением крупности твердых частиц) скорость оттаивания увеличивается. Песчаные грунты оттаивают значительно быстрее, чем грунты глинистые.

Например, при прогреве в течение 8 *ч* радиус оттаивания глинистого грунта составляет 25 *см*, а песчаного — 30 *см* (при одинаковых начальных условиях). С увеличением времени прогрева до 12 *ч* эта разница увеличивается на 10—12 *см*.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

2.15. Основное, определяющее влияние на скорость оттаивания оказывает влажность мерзлых грунтов, т. е. лед и незамерзшая вода. С увеличением влажности грунта скорость оттаивания уменьшается.

Так, песчаные, крупнозернистые и гравийные грунты обычно содержат мало воды. В грунтах пылеватых и глинистых воды содержится больше. Скорость оттаивания в первом случае значительно превышает скорость оттаивания глинистых грунтов.

Наиболее сильно влажность грунтов влияет на скорость оттаивания через фазовые переходы воды. При этом чем больше влажность (льдистость) грунтов, тем больше тепла затрачивается на фазовые переходы в них и тем меньше скорость оттаивания.

Например, при прогреве в течение 8 *ч* радиус оттаивания составляет: для песчаных грунтов при влажностях 4, 8, 15, 20% — соответственно 35, 32, 28, 25 *см*; для глинистых грунтов при тех же влажностях — соответственно 27, 24, 21, 19 *см* (при одинаковых начальных условиях), с увеличением времени прогрева до 12 *ч* эта разница увеличивается на 15—18 *см*.

Таблица 1

Расчет тепла при оттаивании песчаных и глинистых грунтов

Влажность грунта весовая в %	Расход тепла в *ккал*						
	нагрев скелета грунта	нагрев воды	нагрев льда	плавление льда	теплопотери	нагрев воды из льда	общие затраты
				Песок			
4	4185	0	310	4960	360	977	10742
15	4200	0	920	16800	1050	2303	25333
25	4680	0	1560	26000	1625	3386	37251
				Глина			
18	4715	1718	655	10800	675	1978	21758
27	4830	2025	1098	17568	1098	2616	28785
40	5625	3105	1783	28520	1783	4002	44023

В табл. 1 приведены данные расчета расходов тепла при оттаивании песчаных и глинистых грунтов. Расчет произведен при следующих исходных данных: объемный вес грунтов 1600 *кг/м*^{3}; объемный вес скелета грунтов 1150—1550 *кг/м*^{3}, начальная температура грунтов —10°С; конечная температура оттаянных грунтов +5°С; влажность песчаных грунтов изменилась от 4 до 25%; влажность глинистых грунтов изменилась от 18 до 40%.

В соответствии с данными табл. 1 от 46 до 65% епловой энергии расходуется на плавление льда.

2.16. Влажность мерзлого грунта — количество воды, находящееся в грунте как в жидкой, так и в твердой фазе, вычислено в процентах к весу сухого грунта или его объему.

Для однородных мелкозернистых грунтов весовую влажность допускается определять методом высушивания, как и для талых грунтов, по ГОСТ 5179-49.

Для неоднородных мерзлых грунтов следует отбирать из шурфов не менее трех образцов с каждого горизонта. Повторность лабораторного определения влажности принимается не менее трехкратной.

2.17. Количество воды, находящейся в твердой и жидкой фазах, для приближенной оценки в полевых условиях можно определить по формулам:

$$W^{\text{вес}}_{\text{общ}} = W^{\text{вес}}_{\text{л}} + W^{\text{вес}}_{\text{н}} \%; \quad (4)$$

$$W^{\text{об}}_{\text{общ}} = W^{\text{об}}_{\text{л}} + W^{\text{об}}_{\text{н}} \%, \quad (5)$$

где $W^{\text{вес}}_{\text{общ}}$ — общая или суммарная влажность, определяемая согласно п. 2.16;

$W^{\text{вес}}_{\text{л}}$ — весовое содержание льда в единице объема мерзлого грунта;

$W^{\text{вес}}_{\text{н}}$ — весовое содержание незамерзшей воды, определяемое согласно рис. 4;

$W^{\text{об}}_{\text{общ}}$ — суммарная объемная влажность;

$W^{\text{об}}_{\text{л}}$ — объемное содержание льда в единице объема мерзлого грунта;

$W^{\text{об}}_{\text{н}}$ — объемное содержание незамерзшей воды.

2.18. Граничные величины жидкой фазы для различных грунтов определяются в зависимости от начальной температуры грунта и его максимальной молекулярной влагоемкости.

2.19. Под льдистостью мерзлых грунтов понимается общее содержание льда в мерзлом грунте, выраженное в долях от веса мерзлого грунта или от объема.

Относительной льдистостью называется отношение веса льда к весу всей воды, содержащейся в мерзлом грунте.

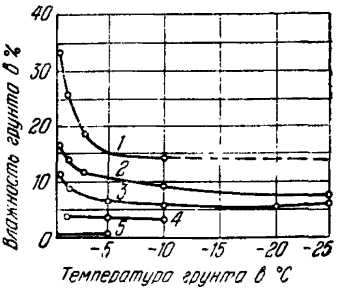

Рис. 4. Количество незамерзшей воды в типичных грунтах в зависимости от их температуры (по З. А. Нерсесовой)
1—глина, содержащая монтмориллонит; *2*—глина; *3*—суглинок; *4*—супесь; *5*—песок

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА

2.20. Следующим фактором, влияющим на скорость оттаивания, является начальная температура грунта. С уменьшением начальной температуры грунтов скорость оттаивания, уменьшается.

При этом влияние начальной температуры грунта на скорость оттаивания более сильно сказывается при прогреве глинистых грунтов, так как льдистость их увеличивается с понижением температур.

Например, при прогреве в течение 8 *ч* радиус оттаивания при начальных температурах грунта —3; —5; —8°С соответственно составляет для песчаного грунта 30; 28; 26 *см*; для глинистого 26; 24, 22 *см* (при одинаковых начальных условиях).

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ВЕСА

2.21. С увеличением объемного веса грунта скорость его оттаивания увеличивается.

При уменьшении объемного веса грунта увеличивается содержание воздуха, теплопроводность которого значительно ниже, чем твердая или жидкая фазы грунта, поэтому более рыхлый, более воздухосодержащий грунт имеет и более низкую скорость оттаивания. Однако ввиду того, что „культурный" слой грунта при строительстве самый разнообразный, учет влияния объемного веса на скорость оттаивания можно не производить.

УТЕПЛЕНИЕ ГРУНТА ПРИ ОТТАИВАНИИ

2.22. При оттаивании грунтов нагревательные приборы и подготовленный участок должны быть тщательно утеплены. В качестве утеплителя можно применять любой теплоизоляционный материал (табл. 2), за исключением легковоспламеняемого.

Прогреваемый участок утепляется шире его рабочих контуров на 40—50 *см*. Например, при ширине намеченной траншеи 1 *м* ширина утеплителя 2 *м*.

2.23. Толщину утеплителя определяют теплотехническим расчетом. Как показала практика, для утепления достаточно использовать выпускаемые промышленностью шлаковатные плиты толщиной 7 *см*.

Для этих целей 10—12 шлаковатных плит размером 100×50×7 *см* каждая обшивались с внутренней и внешней стороны брезентом. Собранные теплоизоляционные маты (шириной 1 *м* и длиной 5—6 *м*) использовались в течение всего зимнего периода. Вес одного мата — 30—40 *кг*, стоимость — 15—18 руб.

Таблица 2

Основные характеристики некоторых теплоизоляционных материалов

Материал	Температура при исследовании °С	Плотность в кг/м³	Теплопроводность в ккал/м·ч·град	Температуропроводность в м²/ч·а·10⁴	Теплоемкость в ккал/кг·град $C_{уд}$	Влажность в %
Асбестовая ткань . .	150	600	0,141	—	—	—
Вата хлопковая . . .	50	50	0,055	25,4	0,437	—
Воздух	0	1,193	0,021	677	0,24	Сухой
Войлок шерстяной . .	50	330	0,046	—	—	—
Войлок бумажный . .	—	300	0,049	—	—	—
Войлок строительный	25+5	84	0,039	—	—	Сухой
Грунт, смешанный с торфом	20	1020	0,437	8,02	0,53	38
Грунт песчаный мелкозернистый	0	1430	0,16	7,1	0,16	0,24
Камышит	—	400	0,12	8,6	0,35	—
Керамзит в засыпке	—	500	0,18	17,1	0,21	—
Минеральная вата . .	0	100	0,038	21,8	0,174	—
Минеральный войлок	—	250	0,065	14,4	0,18	—
Минераловатные плиты	—	400	0,10	12,9	0,18	—
Песок речной	20	1500	0,28	9,85	0,19	Сухой
Рубероид	—	600	0,15	7,1	0,35	—
Снег уплотненный . .	—	350	0,30	17,2	0,5	—
Соломит	25+5	244	0,076	—	—	Сухой
Стеклянная вата . . .	100	200	0,056	16,1	0,18	—
Стеклянный войлок	50	50	0,041	3,69	0,222	—
Торф измельченный	20	200	0,051	7,15	0,36	—
Шерстяной войлок строительный . . .	—	150	0,05	7,4	0,45	—
Шлак топливный . .	—	1000	0,25	13,9	0,18	—
Шлаковая вата . . .	0	100	0,038	21,8	0,174	—

2.24. При радиальном оттаивании теплоизоляционные маты укладываются на грунт вдоль нагревателей. При поверхностном оттаивании — непосредственно на короба, с учетом расстояний, указанных в п. 2.22.

Ввиду того что верхняя часть нагревателя (пассивная) длиной 126 *мм* не нагревается, теплоизоляционные маты не пригорают и не портятся.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА И ВРЕМЕНИ ОТТАИВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГРЕВАТЕЛЯ; ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

2.25. Определение радиуса и времени оттаивания распадается на два этапа: определение радиуса оттаивания в периоды прогрева и термосного выдерживания первого цикла и определение радиуса оттаивания в периоды прогрева и термосного выдерживания последующего цикла.

2.26. Радиус оттаивания в период первого цикла прогрева определяется по номограммам, построенным для песчаных (рис. 5) и глинистых (рис. 6) грунтов.

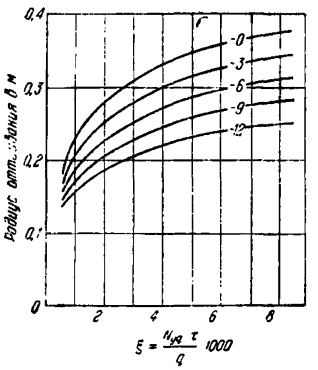

Рис. 5. Радиус оттаивания в период первого цикла прогрева для песчаного грунта

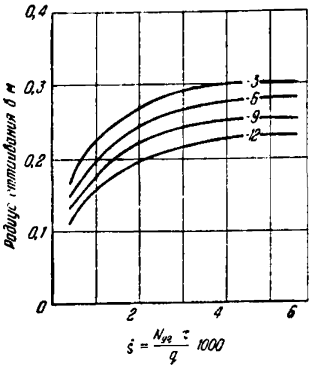

Рис. 6. Радиус оттаивания в период первого цикла прогрева для глинистого грунта

В номограммах по оси ординат отложены радиусы оттаивания, а по оси абсцисс — комплексная величина, учитывающая удельную мощность нагревателя, время оттаивания и скрытые теплоты плавления льда (льдистость грунта)

$$\xi = \frac{N_{уд}\,\tau_{пр}}{q}\,1000, \qquad (6)$$

где $N_{уд}$ — удельная мощность нагревателя в *вт/см²*; при расчетах задается по оптимальным значениям, равным 1,5 — 2,8 *вт/см²* (см. пп. 2.6—2.8);

$\tau_{пр}$ — время прогрева первого периода в *ч*; при расчетах задается также по оптимальным значениям, равным 6 — 12 *ч* (см. п. 2.12);

1000 — постоянный множитель;

q — скрытая теплота плавления льда в единице объема грунта в *ккал/м³*; определяется формулой

$$q = 80 V_л \text{ ккал/м}^3,$$

здесь 80 — скрытая теплота плавления льда в *ккал/кг*;

$V_л$ — объем льда, заключенного в единице объема грунта, определяемый в натуре из условия

$$V_л = \gamma_{об} - \gamma_{ск} \text{ кг/м}^3,$$

где $\gamma_{об}$ — объемный вес грунта в *кг/м³*;

$\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета грунта в *кг/м³*.

2.27. Радиус оттаивания в период первого цикла термосного выдерживания составляет $\frac{r_1}{3}$, а время — $\frac{\tau_{пр}}{2}$.

2.28. Радиус оттаивания в последующий цикл прогрева определяется аналитическим путем из выражения

$$r_2 = \sqrt{\frac{Q\,\tau_{пр}}{\pi q} + \left(r_1 + \frac{r_1}{3}\right)^2}\ м, \qquad (7)$$

где Q — тепловой поток нагревателя в *ккал/м · ч*, определяемый по формуле $Q = 0{,}86UI = 0{,}86N$ *ккал/м·ч* (0,86 — переводной коэффициент; U — напряжение нагревателя в *в*; I — ток нагревателя в *а*; N — мощность нагревателя в *квт*);

$\tau_{пр}$ — время прогрева в *ч*;

q — скрытая теплота плавления льда в *ккал/м³*;

r_1 — радиус оттаивания первого цикла прогрева в *м*.

2.29. Радиус и время оттаивания в период повторного цикла термосного выдерживания соответственно составляют $\frac{r_2}{5}$ *м* и $\frac{\tau_{пр}}{2}$ *ч*.

2.30. Полный радиус оттаивания

$$R_{пол} = r_2 + \frac{r_2}{5} \text{ м}. \quad (8)$$

Полное время оттаивания определяется формулой

$$\tau_{пол} = (\tau_{пр} + \tau_{тв}) 2 \text{ ч}. \quad (9)$$

2.31. Из выражения (6) по заданным радиусу и времени оттаивания можно определить необходимую удельную мощность нагревателя.

Пример. Требуется определить полный радиус оттаивания, время прогрева и термосного выдерживания, удельную мощность нагревателя и диаметр шпура для его установки при оттаивании песчаного грунта общей влажностью 8%, начальной температурой —6°С; объемным весом грунта 1400 *кг/м*^{3}, объемный вес скелета грунта 1300 *кг/м*^{3}.

Согласно п. 2.6 принимаем удельную мощность нагревателя равной 2,2 *вт/см*^{2}, полезная площадь нагревателя 455 *см*^{2}. Оттаивание грунта нагревателем с принятой удельной мощностью производится циклами с временем первого периода прогрева не более 12 *ч* (п. 2.12). Принимаем время прогрева в период первого цикла равным 10 *ч*. Для определения ξ формула (6)] первоначально вычислим скрытую теплоту плавления льда, заключенную в единице объема грунта:

$$V_л = 1400 - 1300 = 100 \text{ кг/м}^3;$$

$$q = 80 \cdot 100 = 8000 \text{ ккал/м}^3.$$

Значение координаты ξ составит

$$\xi = \frac{2{,}2 \cdot 10}{8000} 1000 = 2{,}75.$$

По номограмме, приведенной на рис. 5, определяем значение радиуса оттаивания в период первого цикла прогрева, который составляет 0,26 *м*.

Радиус оттаивания в период первого цикла термосного выдерживания (по п. 2.27) составляет $0{,}26/3 = 0{,}09$ *м*, а время — 5 *ч*.

Радиус оттаивания в период повторного цикла прогрева определяется из формулы (7):

$$r^2 = \sqrt{\frac{860 \cdot 10}{3{,}14 \cdot 8000} + \left(0{,}26 + \frac{0{,}26}{3}\right)^2} = 0{,}67 \text{ м}.$$

Радиус оттаивания в период повторного термосного выдерживания (по п. 2.29) составит 0,13 *м*, а время — 5 *ч*.

Таким образом, при использовании нагревателя удельной мощностью 2,2 *вт/см*^{2} полный радиус оттаивания (п. 2.30) — 0,8 *м*; режим прогрева — (10п + 5 т) 2 и диаметр шпура для установки нагревателя, определенный согласно рис. 3, $12 \cdot 2 + d_{наг}$ *мм*.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА НАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА НАГРЕВАТЕЛЕЙ

3.1. Объем грунта, оттаянного одним нагревателем, составляет

$$V_{от}^{в} = \pi r^2 H k_{ув} = 4{,}4\, r^2 H \ м^3; \qquad (10)$$

$$V_{от}^{г} = ab\, H k_{ув} \ м^3 \qquad (11)$$

где $V_{от}^{в}$, $V_{от}^{г}$ — объем оттаянного грунта вертикальным и горизонтальным нагревателем в $м^3$;

ab — площадь отогрева в $м^2$;

H — глубина оттаивания в *м*;

$k_{ув}$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема оттаянного грунта за счет изменения его начальной температуры по глубине промерзания;

$k_{ув} = 1{,}4$.

3.2. При производстве работ по оттаиванию мерзлых грунтов наиболее рациональной расстановкой нагревателей следует считать такую, при которой намеченный массив грунта оттаивается неполностью и между нагревателями остаются некоторые зоны непрогретого грунта с толщиной стенок, дающих возможность для непосредственной разработки их экскаваторами. При такой схеме производства работ энергоемкость оттаивания сокращается на 40—50%.

3.3. Количество нагревателей, необходимых для „неполного" оттаивания заданного объема грунта, с учетом допустимой толщины стенок непрогретого грунта

между соседними нагревателями, определяется по формуле

$$n_{\text{неп}}^{\text{в. г}} = \frac{V_{\text{зад}}}{V_{\text{от}}^{\text{в. г}} k_{\text{неп}} k_{\text{рас}}} \text{ шт.}, \qquad (12)$$

где $V_{\text{зад}}$ — объем грунта, подлежащий разработке, в $м^3$;
$k_{\text{рас}}$ — коэффициент рациональной расстановки нагревателей, принятый 1,1;
$k_{\text{неп}}$ — коэффициент, учитывающий допустимую толщину стенок непрогретого грунта в зависимости от вида грунта и типа применяемого экскаватора; определяется согласно табл. 3.

Таблица 3

Допустимая толщина стенки непрогретого грунта при разработке его различными экскаваторами

Грунт	Толщина стенки в *см* и величина коэффициента $k_{\text{неп}}$ при разработке экскаваторами с емкостью ковша в $м^3$					
	0,15—0,3		0,5—0,65		1	
Глинистый	До 15	1,4	До 25	1,5	До 40	1,8
Суглинистый . . .	„ 20	1,45	„ 30	1,6	„ 45	2,05
Песчаный	„ 25	1,5	„ 35	1,65	„ 50	2,25

3.4. В некоторых случаях возникает необходимость полностью оттаивать грунт (например, при ручной разработке, при ремонтных работах и т. д.). Количество нагревателей для полного оттаивания заданного объема рассчитывается по формуле

$$n_{\text{пол}}^{\text{в. г}} = \frac{V_{\text{зад}}}{V_{\text{от}}^{\text{в. г}} k_{\text{рас}}} \text{ шт.} \qquad (13)$$

Пример. Необходимо определить количество нагревателей для „полного" и „неполного" оттаивания песчаного грунта объемом 100 $м^3$ при разработке его экскаватором с ковшом емкостью 0,5 $м^3$. Радиус оттаивания составляет 0,8 *м*.

Объем грунта, оттаянного одним нагревателем, определяется на основании формулы (10)

$$V_{\text{от}}^{\text{в}} = 4{,}4 \cdot 0{,}8^2 \cdot 1{,}5 = 4{,}2 \ м^3,$$

где 1,5 — глубина промерзания грунта в *м*.

Количество нагревателей, необходимых для „неполного" оттаивания, определяется из выражения (13)

$$n^{в}_{пол} = \frac{100}{4{,}2 \cdot 1{,}1} = 22\frac{2}{3}\text{шт.}$$

Количество нагревателей, необходимых для „неполного" оттаивания заданного объема грунта, с учетом непрогретых зон при разработке его экскаватором с ковшом емкостью 0,5 $м^3$, определяется по формуле (12). Коэффициент, учитывающий допустимую толщину стенки непрогретого грунта, определяется согласно табл. 3:

$$n^{в}_{неп} = \frac{100}{4{,}2 \cdot 1{,}65 \cdot 1{,}1} = 13 \text{ шт.}$$

Таким образом, при „неполном" оттаивании количество нагревателей сокращается почти вдвое.

3.5. Общее количество затраченной электроэнергии для оттаивания составляет

$$\omega_{общ} = \omega_{зат} k = nN\tau_{пр} k \ квт \cdot ч, \qquad (14)$$

где k — коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети, принимаемый 1,05;

$\tau_{пр}$ — время прогрева в $ч$;

N — мощность нагревателя в $квт$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЗАХВАТОК

3.6. При производстве работ по оттаиванию грунта намеченный массив, как правило, делится на три участка (захватки): участок, находящийся в стадии разработки; участок, находящийся в стадии оттаивания, а также подготавливаемый к оттаиванию участок.

3.7. Разбивка подготавливаемого массива к разработке на захватки диктуется и другими условиями (например, разработка грунта на улицах с интенсивным движением, встречающимися подземными коммуникациями и др.). Обычно длина захватки принимается такой, чтобы время ее разработки было равно полному времени оттаивания последующей захватки.

Отсюда длина захватки должна быть равна

$$l_{зах} = \frac{П_ч \tau_{общ}}{Bh} \ м, \qquad (15)$$

где $П_ч$ — производительность экскаватора в $м^3/ч$;

$\tau_{общ}$ — общее время нахождения нагревателей на захватке в $ч$;

B — ширина проходки экскаватора в $м$;

h — высота уступа в $м$.

Для обеспечения непрерывной работы экскаватора необходимо, чтобы минимальная длина намеченного к разработке массива составляла

$$L_{\text{мин}} = 3l_{\text{зах}} \ м. \tag{16}$$

ВЫБОР ЗЕМЛЕРОИНОЙ МАШИНЫ

3.8. Наиболее эффективными для разработки оттаянных грунтов являются одноковшовые экскаваторы на автомобильном ходу с ковшами емкостью 0,15—0,35 $м^3$. Выбор экскаватора производится по виду и объему работ, степени стесненности и возможности полностью использовать его производительность.

3.9. Зная производительность экскаватора, определяют количество нагревателей, необходимых для обеспечения полной его загрузки

$$n = \frac{П_э \tau_{\text{общ}}}{F_{\text{от}}^{\text{в, г}} k_{\text{рас}} k_{\text{пол. неп}} Ht} \text{ шт.} \tag{17}$$

3.10. Объем грунта, подготовленного комплектом нагревателей к экскавации в смену, составляет

$$V = \frac{F_{\text{от}}^{\text{в, г}} k_{\text{рас}} k_{\text{пол. неп}} nHt}{\tau_{\text{общ}}} \ м^3. \tag{18}$$

В формулах (17) и (18):

$П_э$ — производительность экскаватора в $м^3/смену$;

$\tau_{\text{общ}}$ — общее время нахождения нагревателей на захватке в $ч$;

$F_{\text{от}}^{\text{в, г}}$ — площадь оттаивания грунта при использовании вертикальных или горизонтальных нагревателей в $м^2$;

H — глубина выемки в $м$;

n — количество нагревателей в шт.;

t — количество часов в смену

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО ОТТАИВАНИЮ

3.11. Как показала практика, оттаивание грунтов целесообразно производить комплектом нагревателей в количестве 40—50 шт. Кроме нагревателей в такой комплект должны входить: распределительный щит с отключающим аппаратом и предохранителями: питающий кабель типа КРПТ $3 \cdot 35 + 1 \cdot 10$ длиной 20—30 $м$;

магистральный провод типа ШРПС длиной 200—300 *м*; разветвительный провод типа ПРГ длиной 1,5—2 *м* для каждого нагревателя; козелки, штепсельные разъемы, ограждения, инвентарный утеплитель, лампочки освещения и предупреждающие плакаты.

3.12. После установки в шпуры нагреватели подключают к источнику электроэнергии напряжением 220 *в*. При отсутствии промышленных и городских сетей на месте производства работ нагреватели возможно подключать к передвижным электрическим станциям (последнее значительно удорожает себестоимость оттаивания единицы объема грунта), технические характеристики которых приведены в табл. 4.

От распределительного щита электроэнергия передается до разрабатываемого участка питающим кабелем. К нему, в зависимости от количества рядов устанавливаемых нагревателей, параллельно подсоединяются магистральные провода, уложенные вдоль трассы оттаивания. Через каждые 1,5—2 *м* от магистрального провода отходят отпайки разветвительного провода, соединяемые через штепсельные разъемы с нагревателями.

Питающий кабель и магистральные провода монтируются на козелки высотой 50—60 *см*.

Разветвительные провода должны быть обязательно в резиновой оболочке и укладываются или непосредственно на грунт, или на утеплитель [1].

При производстве работ по устройству и эксплуатации временных электроустановок по прогреву грунта следует руководствоваться Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий и главой СНиП III-А. 11-70 „Техника безопасности в строительстве".

3.13. Участок электропрогрева ограждается сплошным ограждением высотой до 1,5 *м* на расстоянии не ближе 3 *м* от крайнего нагревателя. Вывешиваются предупредительные плакаты: „Опасная зона",

---

[1] Температура поверхности грунта при прогреве составляет 25—30°С, а на поверхности утеплителя равна температуре наружного воздуха. Поэтому перегрева и порчи электрических проводов не происходит.

Таблица 4

Характеристика передвижных электрических станций

Тип и марка электростанций	Мощность в *квт*	Тип и напряжение электрогенератора	Двигатель					Габариты	Вес в *кг*
			тип	мощность в *л. с.*	число оборотов в 1 *мин.*	горючее	расход горючего в 1 *квт*		
			Полустационарные						
ЖЭС-А-30	20	СГК-30, 400/230	1-ГА	42	1000	Керосин	0,5—4	2342×1160×2515	2300
ЖЭС-А-30-Г	24	СГК-30, 400/230	Д2-Г	35	100	Древесные чурки	—	2580×950×2513	2700
ЖЭС-50	40	СГ-50, 400/230	М-17	65	850	Соляровое масло	—	3180×1230×2670	4500
ЖЭС-50-Г	58	СГ-50, 400/230	М-17	65	850	Древесные чурки	—	3540×1280×2070	500
ЖЭС-65	65	СКГ-65, 400/230	КДМ-46	93	1000	Дизельное топливо	—	3200×1690×1925	3500
ДУС-1	40	С-144/8, 400/230	М-17	65	850	Соляровое масло	0,33	4370×2350×3140	5600
ПЭС-50	50	СГ-50, 380/220	ЧИЗ-60	60	650	Лигроин	—	4400×2400×3300	4000
ПЭС-60	65	5-51/6, 400/230	1-Д6	100	1000	Дизельное топливо	—	6100×2300×2100	5700
Самоходные на автомобиле ЗИЛ-153	23	СГ-501/1/6, 400/	ЗИЛ	73	240	Бензин	0,45	—	4300
АЭС-2	15	133/230	ГАЗ	30	—	"	—	—	—
АЭС-4	24	133/230	ЗИЛ	55	—	"	—	—	—

„Ток включен" и др. и сигнальные лампочки, загорающиеся при подаче напряжения на участок.

Ручная разработка оттаянного грунта должна производиться не ближе 2—3 *м* от огражденного участка с электропрогревом.

3.14. Перед установкой нагревателей в мерзлом грунте бурят шпуры диаметром, определенным для нагревателя соответствующей удельной мощности, глубиной, равной длине нагревателя.

3.15. Для бурения шпуров применяют передвижной станок БТС-60, автоматический трехшпиндельный станок на базе трактора ДТ-54 или станок на базе ямобура БКТМ-63-2.

В мерзлом грунте, включающем крепкие породы и строительный мусор, шпуры бурят пневматическими перфораторами. Для бурения шпуров в больших глыбах мерзлого грунта применяют электро- или пневмосверла, а в отвалах и других неудобных местах — ручные воздушные термобуры РТБ-В2. Небольшой вес термобура и наличие гибких шлангов дают возможность бурить шпуры в любом положении.

3.16. Работы по оттаиванию грунтов производятся при устройстве траншей и котлованов, колодцев и различных выемок, лидирующих скважин для забивки свай, а также при ремонтных и аварийных работах и ручной разработке грунта.

3.17. При производстве траншейных и котлованных работ встречаются две основные схемы производства работ.

Разработка узких (0,8—1,5 *м*) траншей, когда нагреватели устанавливаются по оси траншеи в один ряд. Расстояние между нагревателями определяется расчетом. Пример расстановки показан на рис. 7, *а*.

Разработка широких (от 1,5 до 3 *м*) траншей и котлованов. В этом случае нагреватели устанавливаются в два или более ряда в шахматном порядке (по вершинам равносторонних треугольников) или по диагонали при сдвинутых центрах шпуров относительно друг друга на 200—300 *мм* (рис. 7, *б*, *в*).

Оттаивание траншей и котлованов производят на полную ширину одной проходки экскаватора. Расчет необходимого количества машин и оборудования для обеспечения заданного темпа производства работ и составление календарного плана их выполнения произ-

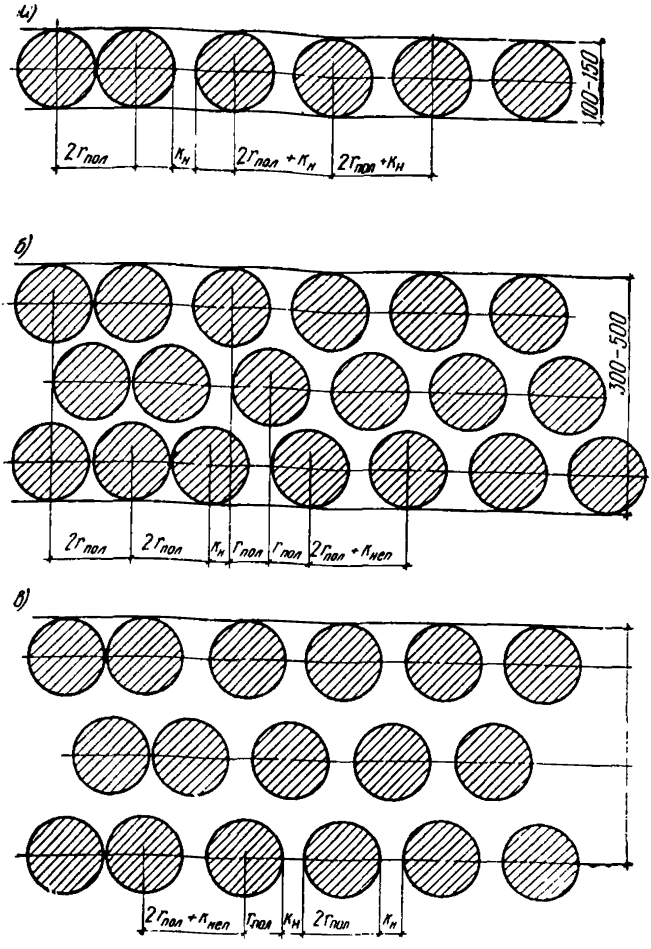

Рис. 7. Схемы расстановки нагревателей при прогреве грунта для
а—узких траншей; *б*—широких траншей; *в*—котлованов

водятся аналогично как для узких, так и для широких траншей и котлованов.

Пример. Требуется разработать траншею длиной 20 *м*, шириной 1,5 *м* и глубиной 2,8 *м*. Грунт — песчаный с глубиной промерзания 1,8 *м*, влажностью 8% и температурой —6°С. Электронагреватели — удельной мощностью 2,2 *вт/см*^{2}, радиусом оттаивания 0,8 *м*; режим прогрева (10п+5т)2. Шаг расстановки нагревателей

с учетом непрогретых зон составит 1,85 *м* для экскаваторов с ковшами емкостью 0,15—0,3 $м^3$ и 1,95 *м* для экскаваторов 0,5—0,65 $м^3$

При заданной производительности экскаватора рассчитываем [см. формулу (17)] необходимое количество нагревателей для обеспечения его полной загрузки в одну или две смены. Определяем время, необходимое для разработки заданного объема, и единовременное количество потребляемой энергии. Основные данные расчета сведены в табл. 5.

Таблица 5

Количество нагревателей и время оттаивания заданного объема грунта

Показатели	Данные расчета при использовании экскаваторов с ковшом емкостью в $м^3$		
	0,15	0,25	0,5
Объем разрабатываемого грунта в $м^3$	840	840	840
Всего мерзлого в $м^3$	540	540	540
Сменная производительность принимаемого экскаватора (для грунтов III группы) в $м^3$/*смену*	56	84	226
Количество нагревателей, необходимых для обеспечения работы экскаватора, в шт.:			
в одну смену	23	35	94
„ две смены	46	70	183
Полное время разработки заданного объема грунта при работе экскаватора в *ч*:			
в одну смену	300	200	71
„ две смены	145	100	36
Единовременное потребляемое количество электроэнергии при работе экскаватора в *квт·ч*:			
в одну смену	24	35	94
„ две смены	47	70	188

Примечание. В формуле (17) дано завышенное количество нагревателей для учета полной их расстановки в начале каждой захватки.

В табл. 6 приводится необходимое количество машин и оборудования для обеспечения разработки заданного объема мерзлого грунта экскаватором Э-153.

Таблица 6

Оборудование для оттаивания

Оборудование	Для смен	
	1-й	2-й
Буровой станок в шт.	1	1
Нагреватели „ „	23	46
Кабель КРПТ в *м*	20	20
ШРПС „ „	100	200
Провод ПРГ „ „	40	80
Инвентарный утеплитель в $м^2$	40	60
Экскаватор Э-153 в шт.	1	1

3.18. При оттаивании котлованов для колодцев и выемок нагреватели расстанавливают таким образом, чтобы общая площадь оттаивания соответствовала плану колодца (выемки). В этом случае, сохраняя стенки колодца в мерзлом состоянии, избегают устройства откосов или их крепления (рис. 8).

3.19. При протаивании лидирующих скважин для забивки свай нагреватели устанавливают из расчета оттаивания грунта в диаметре, равном 1,5—2 диаметрам сваи. В зависимости от сроков производства работ по забивке свай оттаивание грунта осуществляется или одиночными нагревателями, или группой нагревателей, установленных с минимальным шагом. При последней схеме значительно сокращается время оттаивания.

3.20. При оттаивании грунтов для ремонтных и аварийных работ нагреватели расстанавливают с минимальным шагом, а прогрев грунта производят однократно (без цикла термосного выдерживания), сокращая его до минимума.

Радиальное оттаивание следует применять только в случае отсутствия подземных коммуникаций или полной гарантии сохранности их при проведении работ по отогреву. Грунт в этих случаях оттаивают на полную глубину промерзания.

3.21. Оттаивание для ручной разработки грунта применяется лишь в местах, где использовать механизмы невозможно, например на отдельных коротких участках, на узких проездах, при наличии густой сети подземных проводок, а также при зачистке дна траншей

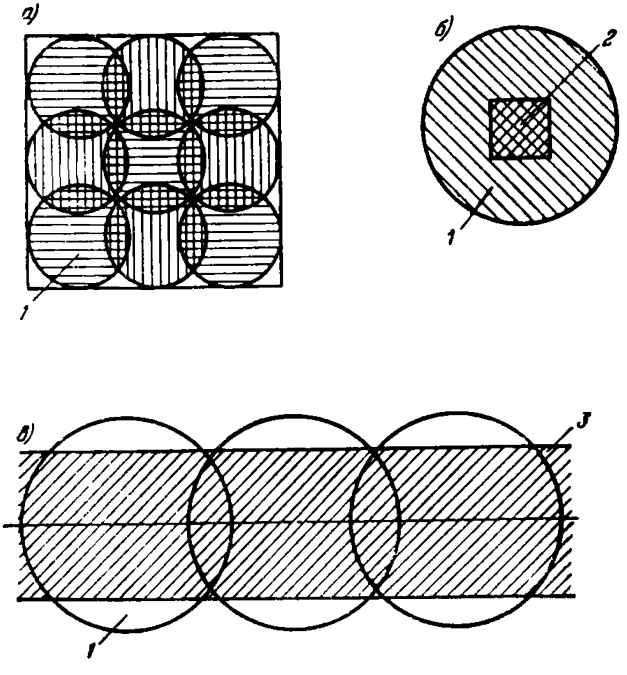

Рис. 8. Схемы расстановки нагревателей при прогреве грунта для
а — колодцев; *б* — лидирующих скважин; *в* — ручной разработке; *1* — радиус оттаивания нагревателя; *2* — контур свай; *3* — контур траншеи

и частично при копке приямков. В этом случае производится полное оттаивание грунта.

При поверхностном оттаивании рационален послойный прогрев на глубину 40—50 *см*.

При радиальном оттаивании нагреватели расстанавливают из расчета наложения температурных полей соседних нагревателей. Прогреваемый участок разбивают на минимальные захватки длиной 1,5—2 *м*. При этом температура прогреваемого грунта должна составлять 15 + 18°С.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯМИ

3.22. Все рабочие, занимающиеся отогревом мерзлого грунта, должны знать основы электротехники, правила монтажа электрических устройств, приемы оказания первой помощи пораженному током, правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок.

3.23. До начала работ инженер-электрик (механик) СУ должен осмотреть электрооборудование: все замеченные неисправности необходимо устранить.

3.24. Участок, на котором оттаивание ведется электронагревателями, должен быть огражден инвентарным деревянным ограждением. Расстояние от нагревателей до ограждения следует определять в соответствии с требованиями правил техники безопасности (шаговое напряжение) и пожарной безопасности.

3.25. Запрещается применять металлические ограждения.

3.26. В течение всего времени работы электронагревателей на участке должен находиться электромонтер, ответственный за исправность, правильную эксплуатацию установки и соблюдение электротехнических правил.

3.27. На границе отогреваемого участка должны быть размещены предупредительные надписи.

3.28. Запрещается под напряжением подсоединять или отключать электронагреватели к сети, замерять температуру, прощупывать зондом глубину оттаивания и т. д.

3.29. Участок отогрева необходимо оборудовать световыми сигналами, загорающимися при пуске электрического тока в нагреватели.

3.30. Во время выполнения работ все работающие на участке должны быть в резиновых диэлектрических галошах и перчатках, выдаваемых под расписку.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛА ДЛЯ ОТТАИВАНИЯ 1 $м^3$ ГРУНТА

В тепловых расчетах искусственного оттаивания мерзлых грунтов принимается, что в процессе оттаивания температура грунта должна быть доведена в среднем до 0°С. Расход тепла, необходимого для оттаивания грунта, зависит главным образом от температуры мерзлого грунта, его теплоемкости и влажности. Так как мерзлый грунт представляет собой многокомпонентную систему, состоящую из грунтовой массы. льда, воды и воздуха; расчет производится по каждому из этих компонентов в отдельности.

Количество тепла, необходимое для оттаивания единицы объема мерзлого грунта, определяется по формуле

$$Q_{общ} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad ккал/м^3, \tag{19}$$

где q_1 — расход тепла для нагрева скелета грунта:

$$q_1 = C_{ск}\,\gamma_{ск}(t_н + t_к)^* \quad ккал/м^3; \tag{20}$$

q_2 — расход тепла для нагрева незамерзшей воды до конечной температуры

$$q_2 = \frac{C_в W_н \gamma_{ск}}{100}(t_н + t_к) \quad ккал/м^3; \tag{21}$$

q_3 — расход тепла для нагрева льда, содержащегося в грунте до нулевой температуры:

$$q_3 = \frac{C_л W_л \gamma_{ск}}{100} t_н \quad ккал/м^3; \tag{22}$$

q_4 — расход тепла на плавление льда:

$$q_4 = \frac{\rho\, W_л \gamma_{ск}}{100} ккал/м^3; \tag{23}$$

q_5 — теплопотери с поверхности отогреваемого грунта (принимаемые от 5 до 10% (от $Q_{общ} - q_5$).

В формулах (20) — (23):

$\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета грунта в $кг/м^3$;
q — скрытая теплота плавления льда в $ккал/м^3$;
$W_л$ — весовая льдистость в %;
$W_н$ — влажность за счет незамерзшей воды в %;
$C_{ск}$ — теплоемкость скелета грунта в $ккал/кг \cdot град$;
$C_в$ — теплоемкость воды, равная 1 $ккал/кг \cdot град$;
$C_л$ — теплоемкость льда, равная 0,5 $ккал/кг \cdot град$.

---

* $t_н$ и $t_к$ принимаются по их абсолютному значению.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ

При производстве работ по оттаиванию грунтов необходимо знать глубину их сезонного промерзания. На глубину промерзания влияют: температура воздуха, толщина снегового покрова, характер естественного покрова (трава, кусты, мостовая и т. д.), теплопроводность и влажность грунта, а также количество дней в году с отрицательной температурой.

Таблица 7

Значение коэффициента $C_п$

Средняя толщина снега в *см*	Коэффициент $C_п$
10	0,5
20	0,4
25	0,35
40	0,3

Определение глубины сезонного промерзания производится одним из следующих способов:

а) по данным метеорологических станций в районе строительства;

б) бурением скважин или вскрытием шурфов;

в) аналитическим путем.

Глубина сезонного промерзания может быть определена по формуле проф. А. П. Будникова

$$H = 2\lambda\sqrt{TnC_п}\ м, \qquad (24)$$

где T — средняя (из среднемесячных) температура зимы в °С;

n — число дней с отрицательной температурой;

$C_п$ — коэффициент уменьшения глубины промерзания в зависимости от толщины снежного покрова (табл. 7);

λ — коэффициент теплопроводности для данных грунтов в *ккал/м·ч·град*.

Значение среднемесячных зимних температур и величины среднемноголетней высоты снежного покрова следует брать по данным ближайших метеорологических станций, а при отсутствии таковых — по Климатологическим справочникам СССР.

При неизвестном коэффициенте теплопроводности максимальная глубина промерзания грунта, не защищенного снегом, для любого периода зимы и любого географического пункта может ориентировочно определяться по формуле

$$H = 60(4p - p^2)\ м, \qquad (25)$$

где $p = \frac{Tz}{1000}$;

здесь T — среднемесячная отрицательная температура воздуха в °С;

z — количество дней с отрицательной температурой для рассчитываемого периода зимы.

Произведение Tz называется числом градусо-дней.

Таблица 8

Значения теплофизических характеристик для песчаного грунта

Физическая характеристика грунта				Теплофизическая характеристика грунта			
объемный вес в $т/м^3$		влажность в %		теплопроводность грунта в $ккал/м \cdot ч \cdot град$		объемная теплоемкость грунта в $ккал/м^3 \cdot град$	
грунта $\gamma_{об}$	скелета $\gamma_{ск}$	весовая $W_{вес}$	объемная $W_{об}$	талого $\lambda_т$	мерзлого $\lambda_м$	талого $C_т$	мерзлого $C_м$
1,2	1,15	4	5	0,45	0,53	250	220
1,2	1,1	8	9	0,61	0,76	290	240
1,4	1,35	4	5	0,65	0,76	300	260
1,4	1,3	8	10	0,84	1,07	350	280
1,4	1,2	15	18	0,89	1,23	420	300
1,4	1,2	20	25	0,94	1,33	470	320
1,6	1,55	4	6	0,89	1,07	350	300
1,6	1,5	8	12	1,09	1,41	430	320
1,6	1,4	15	22	1,17	1,66	500	350
1,6	1,35	20	27	1,23	1,77	530	370
1,6	1,3	25	33	1,28	1,9	580	390
1,8	1,6	15	24	1,59	2,21	540	400
1,8	1,45	25	36	1,66	2,52	640	430
1,8	1,5	20	30	1,6	2,37	590	420
2	1,75	15	26	1,92	2,89	580	430
2	1,7	20	34	2	3,07	650	460
2	1,65	25	40	2,05	3,15	720	480

Таблица

Значение теплофизических характеристик для глинистого грунта

Объемный вес в $т/м^3$		Влажность в %		Теплофизическая характеристика грунта			
				теплопроводность грунта в $ккал/м \cdot ч \cdot град$		объемная теплоемкость грунта в $ккал/м^3 \cdot град$	
грунта $\gamma_{об}$	скелета $\gamma_{ск}$	весовая $W_{вес}$	объемная $W_{об}$	талого $\lambda_т$	мерзлого $\lambda_м$	талого $C_т$	мерзлого $C_м$
1,2	1,1	8	9	0,42	0,5	320	260
1,4	1,3	8	10	0,62	0,73	380	310
1,4	1,2	18	22	0,73	0,93	480	360
1,4	1,1	27	30	0,81	1,09	540	380
1,6	1,5	8	12	0,86	1,03	460	360
1,6	1,35	18	25	0,93	1,28	550	400
1,6	1,25	27	34	1,06	1,48	620	420
1,6	1,15	40	46	1,14	1,52	720	460
1,8	1,8	18	27	1,25	1,65	610	410
1,8	1,4	27	38	1,34	1,89	690	470
1,8	1,3	40	52	1,43	2,03	820	520
2,0	1,7	18	31	1,59	2,1	630	500
2,0	1,7	18	31	1,59	2,1	680	500
2,0	1,6	27	43	1,66	2,36	780	550
2,0	1,45	40	58	1,72	2,44	900	590

gost.e-ecolog.ru