

II. Земляные, буровые и свайные работы

2.1. Оттаивание мерзлых грунтов

Оттаивание мерзлых грунтов. Используют, когда рыхление мерзлых грунтов невозможно, прибегают к оттаиванию с использованием имеющихся тепловых ресурсов - пара, горячей воды, топлива, электроэнергии. Различают следующие способы оттаивания грунта:

* *Сжигание твердого топлива* (каменного угля, дров и т.д.) под металлическим коробом при непосредственном воздействии тепла на поверхность грунта (более экономична установка, работающая на жидком топливе). Недостаток: небольшая глубина оттаивания до 30 см.

* *Поверхностные электроды* из полосовой или круглой стали для отогрева на глубину до 0,7 м. Укладывают на поверхность и укрывают слоем теплоизоляционного материала, смоченного раствором солей и включают в электрическую сеть.

* *Вертикальные глубинные электроды.* Электроды погружают в грунт сверху вниз по мере его оттаивания. При оттаивании снизу вверх электроды устанавливают на глубину ниже мерзлого слоя.

* *Электрические, паровые и водяные иглы* применяют для радиального оттаивания грунта.

- *Электрические иглы* - стальные трубы длиной до 1,5 м диаметром 60 мм с нихромовой спиралью устанавливают на расстоянии 1 м друг от друга.

- *Паровые иглы* - металлические трубы длиной до 2 м диаметром 25...50 мм с наконечником, через отверстия в котором выходит пар (0,06...0,07 МПа).

- *Водяные циркуляционные иглы* отогревают при помощи циркулирующей в них воды температурой 50...60°C на глубину до 1 м.

* *Электротепляки* состоят из кожуха с расположенной внутри спиралью. После укладки на грунт сверху утепляют теплоизоляционным материалом.

* *Солевыми растворами* оттаивают грунт в течение 3...5 суток, нагнетая в шпурсы солевой раствор при температуре 80...100°C.

Электрохимический способ - солевой раствор заливают в трубчатые электроды и включают в электрическую цепь.

Задача 5. Определить расход электроэнергии на отогрев 1 м³ грунта (суглинка) вертикальными глубинными электродами, если плотность суглинка $\rho=1500 \text{ кг/м}^3$, влажность грунта $\omega=15\%$, температура наружного воздуха $t_{н.в.}=-10^\circ\text{C}$, конечная температура, нагретого грунта $t_{к.} = +7^\circ\text{C}$, объем грунта, подлежащего отогреву $V=500 \text{ м}^3$, глубина промерзания грунта $h=1,4 \text{ м}$.

Решение:

Расстояние между электродами в ряду принимаем: $d=0,6 \text{ м}$, а промежуток между рядами электродов:

$$b = 0,866 \cdot d = 0,866 \cdot 0,6 = 0,5196 \approx 0,52 \text{ м} \quad (5.1)$$

По «Графику определения количества воды, находящейся в замерзшем состоянии в грунте при отрицательных температурах», учитывающему среднюю отрицательную температуру грунта (рис.5.1), определяем количество замерзшей в суглинке воды при температуре 7-10°C. Так как температура в грунте измеряется по параболической кривой, средняя температура составит:

$$t_{cp} = \frac{t_{н.в.} - 10^0}{3} = \frac{-10^0}{3} = -3,33 \approx -3^0 \quad (5.2)$$

Для такой температуры количество замерзшей воды от общего содержания влаги составит $\varepsilon_{з.в.}=0,7$.

Усредненная удельная теплоемкость грунта определится:

$$C_v = C_{ц} (1 - \varepsilon_{н.в.}) + \varepsilon_{н.в.} \left[1 + \frac{80 + 0,5 \cdot t_{cp}}{t_k - t_{cp}} \varepsilon_{з.в.} \right] =$$

$$= 0,2 \cdot (1 - 0,3) + 0,3 \left[1 + \frac{80 + 0,5(-3)}{+7 - (-3)} 0,7 \right] = 0,14 + 1,79 = 1,93 \text{ ккал / кг} \cdot \text{град.}$$

где: $C_{ц}$ - удельная теплоемкость сухого грунта, равная 0,2;

$\varepsilon_{н.в.}$ - количество не замерзшей воды; $\varepsilon_{н.в.} = 1 - 0,7 = 0,3$; $t_{cp} = -3^{\circ}\text{C}$; $t_k = +7^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент температуропроводности грунта определится из следующей формулы:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_v \cdot \rho} = \frac{0,92}{1,93 \cdot 1500} = 0,00032$$

где λ - коэффициент теплопроводности грунта, равный 0,92 ккал / м · ч · град.

ρ - смотри таблица 9.

Таблица 9. Теплотехнические характеристики различных грунтов при температуре 20 °С и нормальной влажности.

| Грунт | ρ - средняя плотность в естественном залегании, кг/м ³ | Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м °С | Удельная теплопроводность C_v , кДж/кг °С |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Глина: ломовая | 1950 | 1,46 | 1,14 |
| мягкая, жирная | 1800...1900 | 1,21 | 1,09 |
| моренная, сланцевая | 2000 | 1,60 | 1,17 |
| Суглинок: легкий и лессовидный | 1700...1750 | 0,92 | 1,02 |
| с примесью щебня и гравия | 1700...1800 | 0,98 | 1,04 |
| тяжелый | 1750...1850 | 1,09 | 1,06 |
| тяжелый с примесью щебня и гравия | 1850...1950 | 1,33 | 1,12 |
| Супесок: без примесей | 1650...1750 | 0,87 | 1,01 |
| с примесью щебня и гравия | 1750...1850 | 1,09 | 1,06 |
| Песок: без примесей | 1600...1650 | 0,73 | 0,97 |
| с примесью щебня и гравия | 1650...1700 | 0,82 | 1,00 |
| Лесс: мягкий | 1600...1800 | 0,87 | 1,01 |
| твердый | 1800 | 1,09 | 1,06 |
| Разборно-скальные породы | 2500...2700 | 2,70 | 1,58 |
| Скальные грунты | 3100...3300 | 3,85 | 2,10 |
| Гравийно-галечниковые грунты: | | | |
| крупные | 1850...2600 | 2,30 | 1,31 |
| мелкие и средние | 1750...1950 | 1,09 | 1,06 |
| Растительный грунт: без корней | 1200...1300 | 0,22 | 0,82 |
| с примесями корней | 1300...1400 | 0,32 | 0,85 |
| Солончак и солонец: мягкие | 1600 | 0,68 | 0,96 |
| твердые | 1800 | 1,09 | 1,06 |
| Мергель, опока | 1900...2300 | 1,90 | 1,23 |
| Чернозем и каштановый грунт | 1200...1300 | 0,22 | 0,82 |
| Торф | 800...1200 | 0,19 | 0,74 |
| Шлак | 600...900 | 0,15 | 0,68 |
| Лед ($t < 0^{\circ}\text{C}$) | 917 | 0,088 | 2,3 |

Определяем время z оттаивания слоя толщиной 10 см на границе поверхности талого грунта:

$$f\left(\frac{x}{2\sqrt{a \cdot z}}\right) = 1 + \frac{t_{н.в.}}{t_{u.m.} - t_{н.в.}} = 1 + \frac{-10}{30 - (-10)} = 0,75, \text{ где}$$

$T_{u.m.}$ - температура источника тепла, равная 30 °С.

По графику функции Крампа:

$$\eta = \frac{x}{2\sqrt{a \cdot z}} = 0,8. \quad (5.6)$$

Время оттаивания грунта на глубину $x=10$ см определится:

$$z = \frac{x^2}{4 \cdot \alpha \cdot \eta^2} = \frac{0,1^2}{4 \cdot 0,00032 \cdot 0,8^2} = 12,2 \text{ час} \quad (5.7)$$

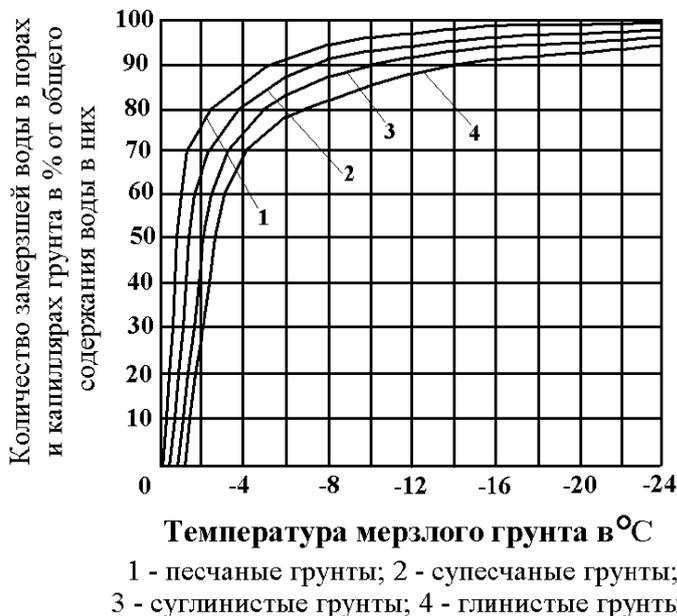


Рис 5.1.

График определения количества воды, находящейся в замерзшем состоянии в грунте при отрицательных температурах (в % от общего количества воды)



Рис 5.2.

Общая продолжительность оттаивания замерзшей толщи с учетом оставляемого верхнего слоя толщиной 20 см в замерзшем состоянии для предохранения от быстрого промерзания оттаянного грунта:

$$z_0 = \frac{h - \delta - x}{x} z = \frac{140 - 20 - 10}{10} \cdot 12,2 = 134,2 \text{ час} \quad (5.8)$$

Расход тепла, идущего на оттаивание всего объема мерзлого грунта:

$$Q = V \cdot \rho \cdot [C_v(t_k - t_{cp}) + i_r(-0,5t_{cp} + 80 + t_k)] = 500 \cdot 1700 [1,93(7 - (-3)) + 0,15((-0,5) \cdot (-3) + 80 + 7)] = 27688750 \text{ ккал} \quad (5.9)$$

где i_r - массовая влажность грунта ($\omega=15\%$); 80- скрытая теплота плавления льда в $\text{ккал} / \text{кг} \cdot \text{град.}$; 0,5 - удельная теплоемкость льда в $\text{ккал} / \text{кг} \cdot \text{град.}$.

Общий расход электроэнергии составит:

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{864} = \frac{27688750}{864} \approx 32047 \text{ кВт} \cdot \text{ч} . \quad (5.10)$$

Расход электроэнергии на отопление 1 м³ грунта:

$$\mathcal{E}_{\text{ед}} = \frac{\mathcal{E}}{V} = \frac{32047}{500} = 64,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} . \quad (5.11)$$

Задача 6. Между земляными работами и устройством фундамента здания с подвалом должен произойти вынужденный перерыв в зимнее время на $z=10$ суток при средней температуре наружного воздуха $t_{н.в.}=-15$ °C. Естественное основание - песчаный грунт.

Определить толщину слоя утеплителя из сухого шлака для предохранения естественного основания от промерзания.

Решение:

Глубину промерзания грунта, не защищенного снегом, при отсутствии данных о величине коэффициента теплопроводности определяем по эмпирической формуле:

$$h_{np} = 60(4 \cdot P - P^2) K_{эже} = 60(4 \cdot 0,15 - 0,15^2) 0,89 = 31 \text{ см} \quad (6.1)$$

$$\text{где } P = \frac{t \cdot z}{1000} = 0,15; \quad (6.2)$$

$t \cdot z$ - число зимних градусо-дней (при $t = -15^\circ\text{C}$ и $z = 10$ суток); $K_{эжв}$ - коэффициент эквивалентности глубины промерзания по отношению к глинистому грунту, принимаемый по таблице (10) и для песчаного грунта равный 0,89.

Толщина слоя шлака, эквивалентная толщине слоя песчаного грунта:

$$h_{вт} = \frac{h_{пп}}{K_{ут}} K_{упл} = \frac{31}{2} 1,3 = 20,15 \approx 20 \text{ см}, \quad (6.3)$$

где $K_{ут}$ - коэффициент эквивалентности толщины различных утеплителей по отношению к грунту, принимаемый по таблице (11), для сухого шлака равный 2; $K_{упл}$ - коэффициент уплотнения, равный 1,3.

Таблица 10. Значение коэффициента, $K_{эжв}$

| * Вид грунта | $K_{эжв}$ |
|------------------------------|-----------|
| * Распаханный и забороненный | 0,80 |
| * Песчаный | 0,89 |
| * Супесчаный | 0,92 |
| * Суглинистый | 0,94 |
| * Глинистый | 1,00 |

Таблица 11. Коэффициент эквивалентности толщины различных утеплителей по отношению к грунту $K_{ут}$

| Утеплитель | Коэффициент эквивалентности толщины различных утеплителей по отношению к грунту, $K_{ут}$ | | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-----------|
| | песчаный | супесчаный | суглинистый | глинистый |
| Листва опавшая | 3,3 | 3,1 | 2,7 | 2,2 |
| Стружка древесная | 3,2 | 3,1 | 2,6 | 2,1 |
| Опилки древесные | 2,8 | 2,7 | 2,3 | 1,9 |
| Солома | 2,5 | 2,4 | 2,0 | 1,6 |
| Шлак котельный: | | | | |
| сухой | 2,0 | 1,9 | 1,6 | 1,3 |
| влажный | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,1 |
| Снег: рыхлый | 3,0 | 2,8 | 2,4 | 2,0 |
| слежавшийся | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 1,5 |
| Торф сухой | 2,8 | 2,7 | 2,3 | 1,9 |
| Грунт рыхлый | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |

2.2. Способы водопонижения

* *Открытый водоотлив.* - удаление воды при помощи насосов в хорошо дренирующих грунтах или невысоком уровне грунтовых вод. Для водоотлива применяют поршневые или диафрагменные насосы, всасывающие воду и разжиженный грунт с глубины 4...6 м. Открытый водоотлив - наиболее простой

способ водопонижения, однако ему присущи недостатки: постоянный приток воды через шпунтовое ограждение и дно выемки; непрерывная фильтрация воды через дно разрыхляет и ослабляет грунт в основании сооружения; возможен вынос грунта из боковых стен выемки, что может вызвать осадку соседних сооружений.

* *Искусственное понижение уровня грунтовых вод.* Искусственное понижение уровня грунтовых вод с помощью легких иглофильтровых установок (комплект иглофильтров, соединительных рукавов, водосборного коллектора и двух центробежных насосов).

* *Искусственное ограждение от грунтовых вод.* При разработке глубоких выемок в пльвунах при сильном притоке воды работы можно вести под защитой водонепроницаемой ледяной стенки, создаваемой путем искусственного замораживания грунта.

Искусственное ограждение от грунтовых вод также можно осуществить тиксотропными противофильтрационными экранами (из суспензии бентонитовой глины, способной при водонасыщении загустевать и приобретать водоотталкивающие свойства).

Задача 6. Рассчитать иглофильтровую установку при коэффициенте фильтрации песка средней крупности $K_{\phi}=24$ м/сутки, глубина котлована $h_K=4,5$ м, уровень грунтовых вод ниже дневной поверхности $УГВ=1,5$ м, размеры котлована в плане (по дну) $A \times B=10 \times 30$, глубина водоупорного слоя $h_{BC}=9$ м.

Решение:

Потребная производительность насосной установки:

$$Q = \frac{\pi \cdot K_{\phi} \cdot (2 \cdot H - S) S}{\ln R_r - \ln r} = \frac{3,14 \cdot 24 (2 \cdot 7,5 - 3,5) 3,5}{\ln 108 - \ln 16} = \frac{3033,24}{0,82} = 3699,1 \text{ м}^3/\text{сут.} = 154 \text{ м}^3/\text{час} \quad (7.1)$$

где: K_{ϕ} - коэффициент фильтрации в м/сутки, приводится в таблице 12;

H - мощность водоносного слоя, определяется по формуле 7.3;

S - понижение уровня грунтовых вод, определяется по формуле 7.4;

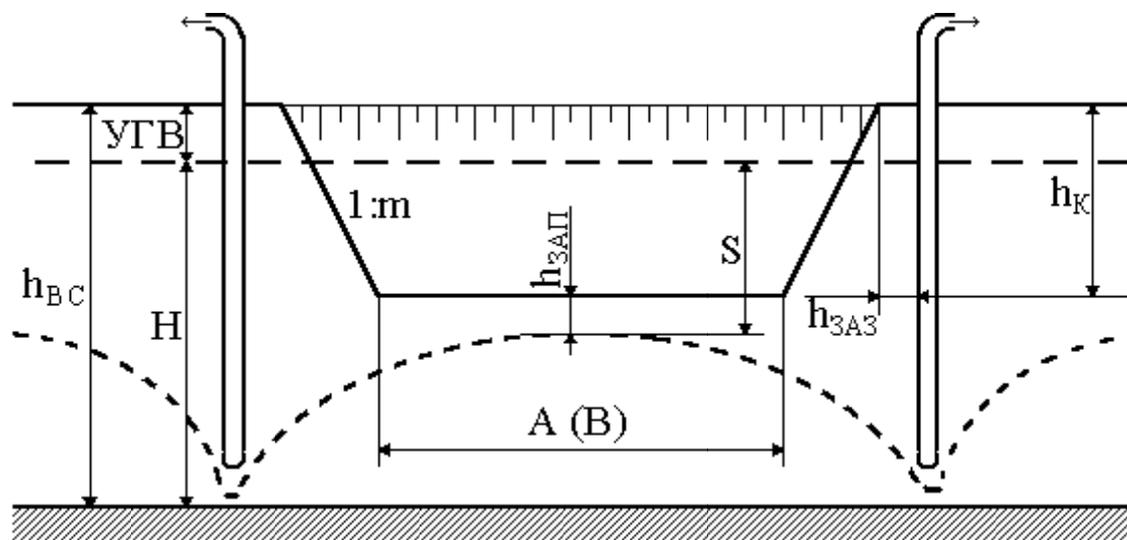


рис. 6.1. Схема искусственного понижения уровня грунтовых вод

R_r - радиус действия группы иглофильтров; r - приведенный радиус действия иглофильтров:

$$r = \sqrt{\frac{(A + h_{bc} \cdot 2 + 2 \cdot h_{зан})(B + h_{зан} \cdot 2 + 2 \cdot h_{зан})}{\pi}} = \quad (7.2)$$

$$= \sqrt{\frac{(10 + 4,5 \cdot 2 + 2 \cdot 0,5)(30 + 4,5 \cdot 2 + 2 \cdot 0,5)}{3,14}} = 15,96 \approx 16 \text{ м} \quad (7.3)$$

$$H = h_{BC} - УГВ = 9 - 1,5 = 7,5 \text{ м}$$

$$S = h_K - УГВ + h_{ЗАП} = 4,5 - 1,5 + 0,5 = 3,5 м, \quad (7.4)$$

где: $h_{ЗАП}$ - величина запаса положения уровня грунтовых вод ниже отметки дна котлована, (принимается более 0,5 м).

Таблица 12. Значения коэффициента фильтрации в зависимости от вида грунта

| Вид грунта | Коэффициент фильтрации, м/сутки |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Галечник | 200 |
| Гравийно-галечный грунт | 100-200 |
| Песчано-гравийный грунт | 75-150 |
| Песок повышенной крупности ($M_{кр}=3,0 \div 3,5$) | 50-100 |
| Песок крупный ($M_{кр}=2,5 \div 3,0$) | 25-75 |
| Песок средний ($M_{кр}=2,0 \div 2,5$) | 10-25 |
| Песок мелкий ($M_{кр}=1,5 \div 2,0$) | 2-10 |
| Песок очень мелкий глинистый ($M_{кр}=1,0 \div 1,5$) | 0,5-2 |
| Супесь | 0,2-0,7 |
| Суглинок | 0,005-0,4 |
| Глина | $\leq 0,005$ |
| Торф: малоразложившийся | 1,0-4,5 |
| среднеразложившийся | 0,15-1,0 |
| сильноразложившийся | 0,01-0,15 |

Радиус действия одного иглофильтра определяется по формуле профессора И.П. Кусакина:

$$R = 1,95 \cdot S \cdot \sqrt{H \cdot K_\phi} = 1,95 \cdot 3,5 \cdot \sqrt{7,5 \cdot 24} = 91,56 м \quad (7.5)$$

Радиус действия группы иглофильтров:

$$R_r = R + r = 92 + 16 = 108 м \quad (7.6)$$

Пропускная способность одного иглофильтра в м³/час определится из выражения:

$$q = 0,7 \cdot \pi \cdot d \cdot K_\phi = 0,7 \cdot 3,14 \cdot 0,05 \cdot 24 = 2,64 м^3/час \quad (7.7)$$

где d – диаметр иглофильтра, табл. 13.

Необходимое минимальное число игл должно быть:

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{66}{2,64} = 25 шт. \quad (7.8)$$

Принимаем установку (по таблице 13) ЛИУ производительностью 63 м³/час; число иглофильтров - 34.

Таблица 13. Основные показатели иглофильтровых установок

| Наименование показателей | Тип установки | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|-------|------|--------|-------|--------------|
| | УВВ-2 | УВВ-3-6КМ | ЛИУ-3 | ЛИУ | ЛИУ-6Б | ПВУ-2 | ЭИ-70 (ЭВВУ) |
| Установленная мощность насосного агрегата, кВт | 30 | 15 | 10 | 28 | 11 | 55 | 75 |
| Фактическое количество воды, откачиваемое установкой, м ³ /час | 43 | 43 | 60 | 63 | 65 | 100 | 150 |
| Число иглофильтров в установке, штук | 20 | 20 | 28 | 34 | 30 | 100 | 80 |
| Масса смонтированной установки, т | 5,08 | 6,85 | 2,52 | 3,15 | 7,1 | 10,73 | 10,5 |
| Диаметр иглофильтров, мм | 70 | 68,5 | 50 | 50 | 68,5 | 38 | 70 |

Далее определяется расстояние между иглофильтрами:

$$\ell = \frac{P}{n} = \frac{120}{34} = 3,5 \text{ м} \quad (7.9)$$

где: n - фактическое число иглофильтров, шт.; P - периметр, по которому располагают иглофильтры, м, определится из формулы:

$$P = 2(A + B + 4(m \cdot h_k + h_{зав})) = 2 \cdot (10 + 30 + 4(1 \cdot 4,5 + 0,5)) = 120 \text{ м} \quad (7.10)$$

где: A и B - размеры котлована понизу, м; m - коэффициент заложения откоса, принимаемый по таблице 14.;

h_k - глубина котлована, м;

$h_{зав}$ - величина зазора между иглофильтрами и границей откоса, м, (принимается не менее 0,5 м).

Таблица 14. Наибольшая допустимая крутизна откосов временных выемок, выполняемых без креплений

| Вид грунта | Глубина выемки, м | | | | | |
|---------------------|-------------------|--------|-------------|--------|-----------|--------|
| | до 1,5 | | от 1,5 до 3 | | от 3 до 5 | |
| | φ, град | 1:m | φ, град | 1:m | φ, град | 1:m |
| Глина | 90 | 1:0 | 76 | 1:0,25 | 63 | 1:0,5 |
| Суглинок | 90 | 1:0 | 63 | 1:0,5 | 53 | 1:0,75 |
| Супесок | 76 | 1:0,25 | 56 | 1:0,67 | 50 | 1:0,85 |
| Песчаный, гравийный | 63 | 1:0,5 | 45 | 1:1 | 45 | 1:1 |
| Лессовый | 90 | 1:0 | 63 | 1:0,5 | 63 | 1:0,5 |
| Насыпной | 56 | 1:0,67 | 45 | 1:1 | 38 | 1:1,25 |

2.3. Гидромеханическая разработка грунта.

Гидромеханическим называют такой способ производства земляных работ с использованием энергии воды для разработки, перемещения и укладки грунта. Таким способом разрабатывают в основном легкоразмываемые грунты при наличии достаточных источников воды, электроэнергетических ресурсов и при значительных объемах земляных работ.

Гидромонитором разрабатывают грунт под действием мощной водяной струи. Воду под большим давлением подают по трубопроводу в ствол гидромонитора и через его насадку направляют струю в стенку забоя. Размытый грунт в разжиженном состоянии в виде пульпы насосами или самотеком подают к месту укладки. Плотные грунты разрабатывают встречным забоем, направляя струю воды в основание откоса для подмыва и обрушения грунта. Рыхлые несвязные грунты можно разрабатывать попутным забоем, располагая гидромонитор на бровке выемки и направляя струю воды на поверхность откоса сверху вниз.

Землесосными снарядами разрабатывают грунт под водой. Для этого применяют плавучие земснаряды, установленные на баржах. Грунт со дна водоема всасывается насосами вместе с водой подается к месту осаднения. Для разработки небольших котлованов в водонасыщенных грунтах применяют малогабаритные земснаряды, подвешиваемые к стреле крана.

Гидромеханическим способом намывают плотины, дамбы, насыпи для дорог, площадки для строительства. Существует два способа транспортирования пульпы в насыпь:

* *безэстакадный*; перед намывом грунта подготавливают карты (участки) намыва, обваловывают их, устраивают дренажные колодцы с выпускными трубами для отвода воды из тела насыпи.

* *эстакадный*; предусматривает устройство временной эстакады,

размещаемой в теле возводимой насыпи и превышающей ее по высоте. На эстакаде размещают пульпопровод и выдают из него пульпу на карты намыва.

Возведение насыпей гидромеханическими способами обеспечивает значительную плотность грунта и не требует искусственного уплотнения.

Задача 8. Подобрать оборудование для гидромеханической разработки песчаного карьера $V_{ГР}=250$ тыс. м³, срок выполнения работ $z=6$ месяцев, дальность подачи воды к гидромонитору $L=150$ м, глубина всасывания $h_{ВС}=4$ м, высота подъема $h_{П}=3$ м, уклон лотков от гидромониторов $i=0,04$, высота уступа в забое $h_{УСТ}=10$ м, засоренность корнями составляет 12%.

Решение.

Часовая производительность насосной станции находится по формуле:

$$Q_{ч} = K \cdot q \cdot V_{ч}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (8.1)$$

где: K - коэффициент неравномерности работы гидромонитора 1,15 – 1,25;

q - расход воды на размыв и транспорт 1 м³ грунта (ЕНиР§2-2, табл. 18);

$V_{ч}$ - часовая производительность гидромонитора (определяется для II группы грунтов по диаметру насадки (90 мм) и напору перед насадкой (40 м) (см. ЕНиР§2-2, табл. 15 и 16)).

$$V_{ч} = 576/7 = 82,28 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{ч} = 1,2 \cdot 8,1 \cdot 82,28 = 799,76 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Определяем диаметр водовода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{СЕК}}{\pi \cdot v}}, \quad (8.2)$$

где v - скорость протекания воды в трубе.

Минимальная скорость движения воды - $V=0,7$ м/с

Максимальная скорость движения воды - $V=1,5$ м/с

Оптимальная скорость движения воды - $V=0,9-1,2$ м/с

Секундный расход воды находится по формуле:

$$Q_{СЕК} = \frac{Q_{ч}}{3600} = \frac{799,76}{3600} = 0,22 \text{ м}^3 / \text{сек} \approx 220 \text{ л} / \text{сек}. \quad (8.3)$$

$$\text{Тогда: } d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,22}{3,14 \cdot 1}} = 0,53 \text{ м}, \text{ принимаем } d = 530 \text{ мм}.$$

Определяем полный манометрический напор насосов:

$$H_{П} = h_1 + h_2 + h_3 \cdot \ell + h_4 + h_5 + h_6 + h_7, \quad (8.4)$$

где: h_1 - высота подъема, м;

h_2 - высота всасывания, м;

h_3 - потеря напора в напорном водоводе, м;

$$h_3 = 0,401 \cdot Q_{СЕК}^2 = 0,401 \cdot 0,22^2 = 0,019 \text{ м};$$

ℓ - длина водовода, м;

h_4 - местные сопротивления (0,05...0,1 h_3);

h_5 - потеря напора во всасывающем водоводе (1-1,5 м);

h_6 - потеря напора в гидромониторе, м;

$$h_6 = 86,72 \cdot Q_{СЕК}^2 = 86,72 \cdot 0,22^2 \approx 4,2 \text{ м};$$

h_7 - необходимый напор перед насадкой гидромонитора, м, (ЕНиР§2-2, табл. 15).

$$H_{П} = 3 + 4 + 0,019 \cdot 150 + 0,1 \cdot 0,019 + 1,2 + 4,2 + 40 = 55,3 \text{ м}$$

По результатам вычислений выбирают центробежный насос, пользуясь данными ЕНиР §2-2 табл. 16.

Далее определяется наименьшее расстояние от гидромонитора до забоя:

$$\ell_{\text{МИН}} = (1 \div 1,2) H_{УСТ}, \text{ где} \quad (8.5)$$

$H_{УСТ}$ - высота уступа в забое, м.

$$\ell_{МИН} = 1,1 \cdot 10 = 11 м$$

Наибольшее расстояние от гидромонитора до забоя находится по формуле:

$$\ell_{МАКС} = \ell_{МИН} + a, \quad (8.6.)$$

где a - шаг передвижки гидромонитора, равный длине звена водовода (6..12 м).

$$\ell_{МАКС} = 11 + 8 = 19 м$$

Необходимое число гидромониторов определяется по исходной сменной выработке, $м^3$ (ЕНиР§2-2, табл. 15).

Далее, при засоренности грунта 12%, определяется расчетная выработка (ЕНиР§2-2, табл.20):

$$V_{РАС} = 576 \cdot 0,84 = 483,84 м^3 / смену \quad (8.7.)$$

Необходимое количество гидромониторов для работы в три смены в течение 6 месяцев определяется по формуле:

$$n = \frac{V_{ГР}}{m \cdot V_{РАС} \cdot k \cdot z}, \quad (8.8.)$$

где: m - число смен в сутки;

$V_{РАС}$ - расчетная выработка гидромонитора, $м^3/смену$;

k - рабочих дней в месяце;

z - срок выполнения работ.

$$\text{Тогда: } n = \frac{250000}{3 \cdot 483,84 \cdot 22 \cdot 6} = 1,3 \approx 2 \text{ шт.}$$

Лучше принять два гидромонитора марки например ГМН-250С, организовав их работу в две смены, и два насоса марки например 8-НДВ; этим будет обеспечена бесперебойная работа установки в случае необходимости текущего ремонта.

Состав бригады по обслуживанию установки следующий:

| | |
|------------------------------|---|
| гидромониторщик 4 разряда | 1 |
| гидромониторщик 3 разряда | 1 |
| гидромониторщик 2 разряда | 1 |
| машинист у насосов 4 разряда | 1 |
| помощник машиниста 3 разряда | 1 |
| Всего человек | 5 |

Задача 9. Определить трудоемкость работ при поверхностном уплотнении тяжелыми трамбовками просадочного лёссовидного суглинка с природной влажностью $\omega=11\%$; оптимальная влажность $\omega_{ОПТ}=21\%$. Работы ведутся в котловане размером $A \times B=15 \times 60$ м, глубиной $h=3$ м.

Решение.

Грунт с указанной природной влажностью при уплотнении должен увлажняться до оптимальной влажности. Поэтому сначала находим количество воды для увлажнения $1 м^3$ грунта:

$$A' = \frac{\gamma_{СК} \cdot (W_0 - W)}{\gamma_V^B \cdot 100} \cdot V, \quad A = \frac{1,75 \cdot (21 - 11)}{1 \cdot 100} \cdot 1 = 0,175 м^3 \quad (9.1.)$$

где: $\gamma_{СК}$ - плотность скелета уплотненного грунта, $т/м^3$;

W_0 - значение оптимальной влажности грунта, %;

W - природная влажность грунта в котловане, %;

γ_V^B - плотность воды, $\gamma_V^B = 1 т/м^3$;

V - объем грунта, $м^3$.

Глубину уплотнения грунта тяжелыми трамбовками принимаем равной 1 м.

Далее определяется расход воды для всей площадки, $м^3$:

$$B' = A' \cdot S_{КОТЛ.} = 0,175 \cdot 900 = 157,5 м^3. \quad (9.2.)$$

Работы ведутся в такой последовательности:

1. разравнивание грунта вручную, разрыхленного экскаватором при рытье котлована;
2. обвалование отдельных участков, подлежащих заливу водой и уплотнению;
3. залив участков водой;
4. засыпка участков сухим грунтом и его разравнивание;
5. уплотнение грунта;
6. удаление разрыхленного грунта после трамбования.

$$\text{Разравниванию подлежит площадь: } S_{\text{котл.}} = A \cdot B = 60 \cdot 15 = 900 \text{ м}^2 \quad (9.3.)$$

На основании ЕНиР (Е2-1-47, табл.1) выписываются затраты труда на разравнивание вручную 100 м² грунта II группы. После этого находится трудоемкость на весь объем работ:

$$T = H_{\text{вр}} \frac{V}{\text{УП}}, \text{ чел.-часы, или } \frac{T}{8} \text{ чел.-дни.} \quad (9.4.)$$

$$T_1 = 1,8 \cdot \frac{S_{\text{котл.}} \cdot h}{100} = 1,8 \cdot \frac{900 \cdot 3}{100} = 48,6 \text{ чел-часа или } 6,075 \text{ чел.-дн.}$$

На основании ЕНиР (Е2-1-53) выписываются затраты труда на 1 м³ обвалования и находится трудоемкость на весь объем работ.

Обвалование осуществляется на высоту 0,5 м; объем обвалования на участке 15м составляет 3,75м³.

$$T_2 = 0,12 \cdot \frac{3,75}{1} = 0,45 \text{ чел-часа или } 0,056 \text{ чел.-дн.}$$

После подготовки площадки производят залив участков водой. На основании ЕНиР (Е2-1-28) выписываются затраты труда на 10 м² и находится трудоемкость на весь объем работ.

После залива участков водой необходимо покрыть их поверхность слоем сухого грунта толщиной 10 см и разровнять его бульдозером. На основании ЕНиР§2 выписываются затраты труда на 1 м² и определяется также трудоемкость на весь объем работ.

При уплотнении поверхности тяжелыми трамбовками количество ударов по одному месту принимается обычно от 10 до 14. Работы ведутся экскаватором с подвесной ж/б трамбовкой весом 2,5-3 т. На основании ЕНиР§2 выписываются затраты труда на 100 м³ уплотнения отдельно машинистов и рабочих и определяется суммарная трудоемкость на весь объем работ.

$$T_3 = 0,84 \cdot \frac{S_{\text{котл.}} \cdot h}{100} = 0,84 \cdot \frac{900 \cdot 3}{100} = 22,68 \text{ чел-часа или } 2,84 \text{ чел.-дн.}$$

При уплотнении на поверхности грунта остается частично разрыхленный слой. Рыхлый грунт зачищают бульдозером на глубину 10 см перемещаясь при этом на расстояние до 10 м. На основании ЕНиР (Е2-1-31, табл.2) выписываются так же затраты труда на 100 м³ и определяется трудоемкость на весь объем работ.

$$T_4 = 0,58 \cdot \frac{S_{\text{котл.}} \cdot h}{100} = 0,58 \cdot \frac{900 \cdot 3}{100} = 15,66 \text{ чел-часа или } 1,96 \text{ чел.-дн.}$$

$$T_5 = V \cdot H_{\text{вр}} = 900 \cdot 1,8 \cdot \frac{1,1}{100} = 17,82 \text{ чел-часа или } 2,23 \text{ чел.-дн.}$$

Общие затраты труда составят: $T_{\text{общ.}} = T_1 + T_2 + \dots + T_n$.

$$T_{\text{общ.}} = T_1 + T_2 + \dots + T_5 = 48,6 + 0,45 + 22,68 + 15,66 + 17,82 = 105,21 \text{ чел-часа}$$

Буровые работы предназначены для получения в грунте вертикальных, горизонтальных или наклонных выработок цилиндрической формы с целью проведения гидрогеологических изысканий при инженерной подготовке строительной площадки; для рыхления скальных пород или мерзлых грунтов взрывными методами; для выполнения понижения уровня грунтовых вод; для устройства свайных фундаментов, артезианских колодцев и т.д.

Буровые выработки устраивают в виде шпуров или скважин.

Существуют механические, физические и ручные способы бурения.

К физическим способам бурения относятся: термический, гидравлический, электрогидравлический, ультразвуковой и т.д.

При устройстве шпуров (шурфов) или скважин при механическом воздействии на грунт используют вращательный, ударный, ударно-вращательный, вращательный, вибрационный и др. способы бурения. Вращательный способ получил большее распространение.

Задача 10. Для производства взрывных работ в карьере необходимо пробурить $n=50$ скважин $d=150$ мм, глубиной $h_{СКВ}=15$ м в скальной породе VII группы. Промежутки между скважинами $b=15$ м.

Выбрать механизм для бурения, определить продолжительность бурения и число бурильщиков; составить производственную калькуляцию заработной платы трудовых затрат.

Решение:

По таблице 10.1. или ЕНиР§2-3 принимается станок для бурения скважин, например: СВБ-2.

Таблица 15.

| п.п. | Наименование установки | Диаметр скважины, мм | Максимальная глубина бурения, м |
|----------------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| <i>Станки вращательного бурения</i> | | | |
| | Буровой станок СБУД-1 150-ЗИВ | 150 | 150 |
| | Буровой станок СВБ-2 | 150; 160 | до 25 |
| | Буровой станок БТС-60 | 60 | 2,0 |
| | Буровой станок УГБ-50М | 135; 190 | 50 |
| | Буровой станок БМ-251 С-1035"С" | 60; 80 ;110 | 2,0 |
| | Буровой станок М-1 "С" | 80; 120 | 6,0 |
| <i>Станки шарошечного бурения</i> | | | |
| | Буровой станок БТС-2 | 125; 146 | 15 |
| | Буровой станок БТС-150 | 146 | 15 |
| | Буровой станок БСВ-3 | 216 | 21 |
| 0 | Буровой станок 2СБШ-200 | 216; 244,5 | 16 |
| 1 | Буровой станок СБШ-250МН | 244,5 | 16 |
| <i>Станки ударно-канатного бурения</i> | | | |
| 2 | Буровой станок БС-1 и БС-1М | 250; 400 | 100 |
| 3 | Буровой станок УКС-22М | 600 | 300 |
| 4 | Буровой станок УКС-30М | 900 | 500 |
| 5 | Буровой станок БС-1М | 900 | 300 |
| <i>Буровые машины и механизмы</i> | | | |
| 6 | Буровая машина БМ4001 | 1200-1500 | 24 |
| 7 | Буровая машина РМ-25 ЮНТТАН | 800-1200 | 26-28 |
| 8 | Буровая машина 50ТНС КАТО | 1500-1700 | 30 |
| 9 | Буровая машина РМ-26 ЮНТТАН | 1200-1500 | 30 |
| 10 | Буровая машина БГ-14 БАУЭР | 1000-1500 | 30 |
| 11 | Буровая машина РМ-26ЛС ЮНТТАН | 1200-1500 | 36 |

| | | | |
|----|------------------------------|-----------|----|
| 12 | Буровая машина БГ-30 БАУЭР | 1000-1500 | 36 |
| 13 | Буровая машина БГ-25 БАУЭР | 1000-1500 | 36 |
| 14 | Буровая машина БГ-36 БАУЭР | 1500-2000 | 44 |
| 15 | Буровая машина НС-883 ЛЕФФЕР | 1500-2000 | 70 |

Затраты труда на 1 м бурения скважины выбираются из ЕНиР (Е2-3, вводная часть, табл.4) в зависимости от диаметра скважины, а далее находятся затраты труда на общее количество скважин по формуле:

$$T = H_{BP} \cdot h_{СКВ} \cdot n \text{ чел.-час} \quad (10.1)$$

где: $H_{BP}=0,46$ - затраты труда на 1 м скважины $d=150$ мм, чел.-час; $h_{СКВ}$ - глубина скважины, м; n - количество скважин, шт.

$$T_1 = 0,46 \cdot 15 \cdot 50 = 345 \text{ чел.-час.}$$

Затем выписывается состав звена по ЕНиР:

машинист -5р-1; помощник машиниста – 4р-1. Всего - 2 чел.

После этого определяется продолжительность бурения общего количества скважин при двухсменной работе:

$$П_1 = \frac{T_1}{m \cdot k \cdot t}, \text{ дни} \quad П_1 = \frac{345}{2 \cdot 2 \cdot 8} = 10,75 \text{ дней} \quad (10.2)$$

где: m - число смен (см. в дано), шт.;

k - число рабочих в смену, чел.;

t – продолжительность смены, час.

Далее из ЕНиР (Е2-3) выписываются трудовые затраты на одно перемещение бурового станка, чел.-часа, после чего по формуле 10.3 определяется общая продолжительность перемещения бурового станка на $(n-1)$ передвижек:

$$T_2 = H_{BP} \cdot (n-1) = 0,6 \cdot (50-1) = 29,4 \text{ чел.-час.}$$

H_{BP} – затраты труда на одно перемещение бурового станка (можно принимать как на 1 м бурения).

$$П_2 = \frac{T_2}{m \cdot k \cdot t} = \frac{29,4}{2 \cdot 1 \cdot 8} \approx 2,0 \text{ дня.} \quad (10.3)$$

Зная продолжительность бурения и продолжительность перемещения бурового станка, определяется полная продолжительность буровых работ:

$$n = n_1 + n_2, \text{ дней} \quad П = 10,75 + 2,0 = 12,75 \text{ дней} \quad (10.4)$$

Результаты расчетов сводятся в производственную калькуляцию трудовых затрат:

Таблица 16.

| Наименование работ | Количество | Норма времени, чел.-часы | Трудоемкость, чел.-дни | Расценка на 1 м скважины, руб. | Общая заработ. плата (в ценах 1984г), руб. |
|-------------------------------|------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| Бурение скважин станком СВБ-2 | 750 м | 0,46 | 43,125 | 0,391 | 293,25 |
| Перемещение станка | 49 раз | 0,6 | 3,675 | 0,0315 | 1,54 |
| | | Всего | $\Sigma T = 46,8$ | - | $\Sigma ЗПЛ = 294,79$ |

Далее определяются затраты труда на одну скважину:

$$T_{СКВ} = \frac{\Sigma T}{n}, \text{ чел.-дн.} \quad T_{СКВ} = \frac{46,8}{50} = 0,936 \text{ чел.-дня} \quad (10.5)$$

После этого определяется заработная плата на бурение одной скважины:

Об.Зпл. бурение = $N_{\text{вп}} \cdot (n - 1) \cdot h_{\text{СКВ}} = 0,46 \cdot (50 - 1) \cdot 15 = 338,1$ руб

Об.Зп. перемещение = $N_{\text{вп}} \cdot (n - 1) = 0,6 \cdot (50 - 1) = 29,4$ руб

$$Z_{\text{пл.СКВ}} = \frac{\Sigma Z_{\text{пл}}}{n}, \text{ руб.} \quad Z_{\text{пл.СКВ}} = \frac{338,1 + 29,4}{50} = 7,35 \text{ руб.} \quad (10.6)$$

Задача 11. Определить число зарядов, вес взрывчатого вещества и объем выброшенного грунта при разработке котлована размером по низу $A \times B = 40 \times 10$ м, глубиной $h = 3$ м (рис.11.1). Грунт - мерзлая глина. Откосы котлована 1: $m = 1: 0,25$.

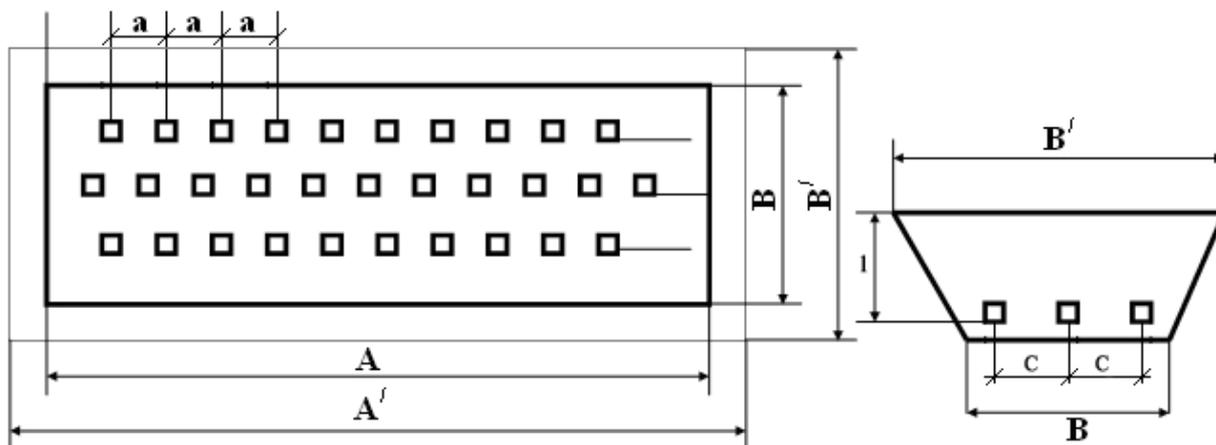


Рис.11.1. Схема расположения зарядов при разработке котлована взрывным способом

Решение.

Рельеф площадки – спокойный, площадка в районе котлована - горизонтальна. После этого определяется объем грунта, подлежащий выбросу по формуле

11.1:

$$V = \frac{h}{6} [(B' + B)(A' + A) + B' \cdot A' + B \cdot A], \text{ м}^3. \quad (11.1)$$

$$A' = A + 1,5 = 40 + 1,5 = 41,5 \text{ м}$$

$$B' = B + 1,5 = 10 + 1,5 = 11,5 \text{ м}$$

$$V = \frac{3}{6} \cdot [(11,5 + 10) \cdot (41,5 + 40) + 11,5 \cdot 41,5 + 10 \cdot 40] = 1314,75 \text{ м}^3.$$

Далее, по формуле 11.2 определяется расстояние между зарядами в продольном направлении котлована:

$$a = 0,5 \cdot W(n + 1), \text{ м} - \text{расстояние между зарядами в продольном направлении}$$

$$a = 0,5 \cdot 2,5 \cdot (2 + 1) = 3,75 \text{ м}, \quad (11.2)$$

где: W - линия наименьшего сопротивления, определяемая по формуле:

$$W = \frac{h}{0,4(2 \cdot n - 1)}, \text{ м}, \quad W = \frac{3}{0,4 \cdot (2 \cdot 2 - 1)} = 2,5 \text{ м}, \quad (11.3)$$

где: n – усредненный показатель действия взрыва, равный 2 (см. в дано).

После этого определяется расстояние между рядами зарядов, размещаемых в шахматном порядке:

$$c = 0,435 \cdot W(n + 1), \text{ м}, \quad c = 0,435 \cdot 2,5 \cdot (2 + 1) = 3,26 \text{ м}. \quad (11.4)$$

Далее намечается количество рядов расположения зарядов, в зависимости от ширины котлована по низу B и расстояния между рядами зарядов c .

Расположение зарядов при ширине котлована 10 м намечено в 3 ряда (см. рис.11.1.)

Тогда число зарядов в одном ряду определяется по формуле:

$$z_1 = \frac{A}{a}, \text{ шт.}, \quad z_1 = \frac{40}{3,75} \approx 10 \text{ шт.} \quad (11.5)$$

Определяем количество зарядов в одном ряду:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B}{c}, \text{ шт (округлять до меньшего целого)} \quad n_{\text{ряд}} = \frac{10}{3,26} = 3,06 \approx 3 \text{ шт.}$$

После этого определяется число зарядов на весь котлован:

$$z_{\text{ОБЩ}} = \frac{n_{\text{ряд}}}{2} \cdot z_1 + \frac{n_{\text{ряд}}}{2} \cdot (z_1 + 1), \quad z_{\text{ОБЩ}} = \frac{3}{2} \cdot 10 + \frac{3}{2} (10 + 1) = 31,5 \approx 31 \text{ шт.} \quad (11.6)$$

Вес одного заряда находится по формуле:

$$Q = K \cdot W^3 (0,4 + 0,6 \cdot n^3) \text{ кг}, \quad Q = 1,75 \cdot 2,5^3 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot 2^3) \approx 142 \text{ кг}, \quad (11.7)$$

где: K - удельный расход взрывчатого вещества (аммонита) для мерзлого глинистого грунта ($1,75 \text{ кг/м}^3$).

Далее определяется полный расход взрывчатого вещества:

$$Q_{\text{ОБЩ}} = Q \cdot z_{\text{ОБЩ}}, \quad Q_{\text{ОБЩ}} = 142 \cdot 31 = 4402 \text{ кг}, \quad (11.8)$$

Глубина воронки определяется по формуле:

$$h_B = 0,35 \cdot W (2 \cdot n - 1), \quad h_B = 0,35 \cdot 2,5 \cdot (2 \cdot 2 - 1) = 2,6 \text{ м}, \quad (11.9)$$

Зная полный расход и удельный расход взрывчатого вещества, определяется объем выброшенного грунта:

$$V_{\text{В.ГР}} = 0,39 \frac{Q_{\text{ОБЩ}}}{K}, \text{ м}^3, \quad V_{\text{В.ГР.}} = 0,39 \cdot \frac{4402}{1,75} \approx 981 \text{ м}^3, \quad (11.10)$$

Далее находится остаток грунта в котловане:

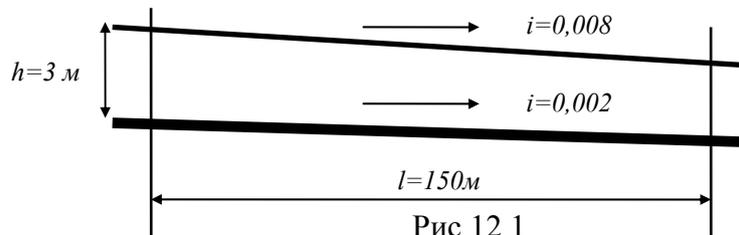
$$V_O = V - V_{\text{е.от}}, \text{ м}^3, \quad V_O = 1314,75 - 980 = 334,75 \text{ м}^3. \quad (11.11)$$

этот остаток вынимается перед кладкой фундамента.

Задача 12. Определить объем траншеи длиной $\ell = 150 \text{ м}$, шириною по дну $a = 1,5 \text{ м}$. Глубина траншеи в её начале $h_1 = 3,0 \text{ м}$. Продольный уклон траншеи $i_1 = -0,002$; продольный уклон поверхности земли $i_2 = -0,008$. Крутизна откосов траншеи $1:t = 1:1,5$. Продольный профиль траншеи изображён на рис. 12.1.

В поперечном направлении к траншее поверхность земли горизонтальна.

Объем следует подсчитать дважды: по точным и приближенным формулам, а также определить ошибку в процентах, получаемую в последнем случае.



Решение.

1. Определяется глубина траншеи в конце участка:

$$h_2 = h_1 - \ell \cdot i_1 + \ell \cdot i_2, \text{ м}, \quad (12.1)$$

где: h_1 - глубина траншеи в её начале, м; ℓ - длина траншеи, м; i_1 - продольный уклон траншеи; i_2 - продольный уклон поверхности земли.

$$h_2 = 3 + 150 \cdot 0,002 - 150 \cdot 0,008 = 2,1 \text{ м}$$

Далее определяется ширина траншеи по верху в начале участка:

$$b_1 = a + 2 \cdot h_1 \cdot m = 1,5 + 2 \cdot 3 \cdot 1,5 = 10,5 \text{ м} \quad (12.2)$$

то же в конце участка:

$$b_2 = a + 2 \cdot h_2 \cdot m = 1,5 + 2 \cdot 2,1 \cdot 1,5 = 7,8 \text{ м} \quad (12.3)$$

где: a - ширина траншеи по дну, м; m - заложение откосов.

2. Определяем объём траншеи по точной формуле (формула Винклера):

$$V_1 = \left[\frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{(h_2 - h_1)^2 \cdot m}{6} \right] \cdot \ell, \quad (12.4)$$

где: F_1 - площадь поперечного сечения траншеи в начале участка, м^2 ; F_2 - площадь поперечного сечения траншеи в конце участка, м^2 .

Из условий решения задачи определяются площади поперечного сечения траншеи:

$$F_1 = \frac{a + b_1}{2} \cdot h_1 = \frac{1,5 + 10,5}{2} \cdot 3 = 18,0 \text{ м}^2 \quad (12.5)$$

$$F_2 = \frac{a + b_2}{2} \cdot h_2 = \frac{1,5 + 7,8}{2} \cdot 2,1 = 9,76 \text{ м}^2 \quad (12.6)$$

$$\text{Тогда: } V_1 = \left[\frac{18 + 9,76}{2} - \frac{(2,1 - 3)^2 \cdot 1,5}{6} \right] \cdot 150 = 2052 \text{ м}^3$$

3. Определяется объём траншеи по другой точной формуле (формула Мурзо):

$$V_2 = \left[F_0 + \frac{(h_2 - h_1)^2 \cdot m}{12} \right] \cdot \ell, \text{ м}^3 \quad (12.7)$$

где: F_0 - площадь поперечного сечения траншеи в середине участка:

$$F_0 = \frac{a + (a + 2 \cdot h_0 \cdot m)}{2} \cdot h_0, \text{ м}^2; \quad (12.8)$$

в этом месте глубина траншеи будет равна:

$$h_0 = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{3 + 2,1}{2} = 2,55 \text{ м, тогда} \quad (12.9)$$

$$F_0 = \frac{1,5 + (1,5 + 2 \cdot 2,55 \cdot 1,5)}{2} \cdot 2,55 = 13,58 \text{ м}^2$$

$$\text{Тогда: } V_2 = \left[13,58 + \frac{(2,1 - 3)^2 \cdot 1,5}{12} \right] \cdot 150 \approx 2052 \text{ м}^3$$

Полученные по точным формулам значения V_1 и V_2 равны между собой.

4. Далее определяем объём траншеи по приближенной формуле:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot \ell, \text{ м}^3 \quad V = \frac{18 + 9,76}{2} \cdot 150 = 2082 \text{ м}^3 \quad (12.10)$$

Ошибка, получаемая при применении приближенной формулы будет равна:

$$\frac{V - V_1}{V_1} \times 100 = \frac{2082 - 2052}{2052} \cdot 100 = 1,5\% \quad (12.11)$$

Задача 13. Определить объём траншеи на участке длиной $\ell = 80$ м при ширине траншеи по дну в начале и в конце участка $a = 1,0$ м и крутизне откосов $1:t = 1:0,67$. Глубина траншеи в начале участка $h_1 = 2,0$ м, в конце участка $h_2 = 3,1$ м. Местность имеет поперечный уклон $i = 0,12$.

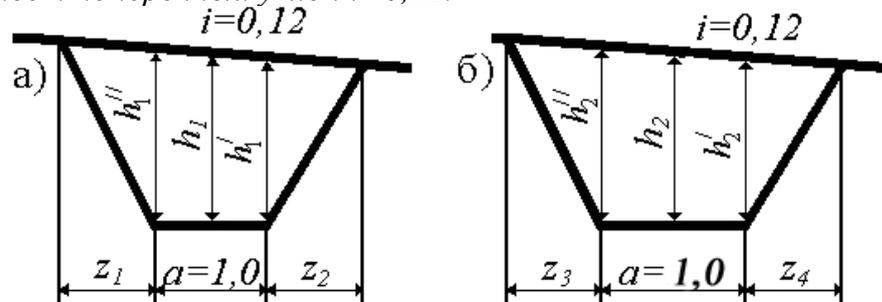


Рис.13.1 Поперечные сечения траншеи

Решение.

1. Площадь поперечного сечения в начале участка (рис.13.1.(а)) определяется по формуле:

$$F_1 = \frac{h_1' \cdot z_2}{2} + \frac{h_1'' \cdot z_1}{2} + \frac{h_1' + h_1''}{2} \cdot a, \quad (13.1)$$

где: h_1', h_1'' - глубина траншеи в начале участка, с учетом поперечного уклона местности, м; z_1, z_2 - ширина откосов в начале траншеи, м; a - ширина траншеи по дну, м.

Значения h_1', h_1'', z_1 и z_2 в начале участка определяются из условий задачи:

$$h_1' = h_1 - 0,5 \cdot i = 2,0 - 0,5 \cdot 0,12 = 1,94, \text{ м}; \quad (13.2)$$

$$h_1'' = h_1 + 0,5 \cdot i = 2,0 + 0,5 \cdot 0,12 = 2,06, \text{ м}; \quad (13.3)$$

$$z_1 = \frac{h_1''}{\frac{a}{m} - i} = \frac{2,06}{\frac{1}{0,67} - 0,12} = 1,51 \text{ м}; \quad z_2 = \frac{h_1'}{\frac{a}{m} + i} = \frac{1,94}{\frac{1}{0,67} + 0,12} = 1,21 \text{ м}. \quad (13.4)$$

где: h_1 - глубина траншеи в начале участка, м; m - величина заложения откосов; i - поперечный уклон местности.

$$\text{Тогда: } F_1 = \frac{1,94 \cdot 1,21}{2} + \frac{2,06 \cdot 1,51}{2} + \frac{1,94 + 2,06}{2} \cdot 1,0 = 4,73 \text{ м}^2$$

2. Далее определяется площадь поперечного сечения в конце участка (рис.13.1.(б)):

$$F_2 = \frac{h_2' \cdot z_4}{2} + \frac{h_2'' \cdot z_3}{2} + \frac{h_2' + h_2''}{2} \cdot a, \text{ м}^2, \quad (13.5)$$

где h_2', h_2'' - глубина траншеи в конце участка, с учетом поперечного уклона местности, м; z_3, z_4 - ширина откосов в конце траншеи, м; a - ширина траншеи по дну, м.

Далее определяются значения h_2', h_2'', z_3 и z_4 в конце участка (рис.13.1.(б)):

$$h_2' = h_2 - 0,5 \cdot i = 3,1 - 0,5 \cdot 0,12 = 3,04 \text{ м}; \quad (13.6)$$

$$h_2'' = h_2 + 0,5 \cdot i = 3,1 + 0,5 \cdot 0,12 = 3,16 \text{ м}; \quad (13.7)$$

$$z_3 = \frac{h_2''}{\frac{a}{m} - i} = \frac{3,16}{\frac{1}{0,67} - 0,12} = 2,3 \text{ м}; \quad z_4 = \frac{h_2'}{\frac{a}{m} + i} = \frac{3,04}{\frac{1}{0,67} + 0,12} = 1,89 \text{ м}. \quad (13.8)$$

где: h_2 - глубина траншеи в начале участка, м; m - величина заложения откосов; i - поперечный уклон местности.

$$\text{Тогда: } F_2 = \frac{3,04 \cdot 1,89}{2} + \frac{3,16 \cdot 2,3}{2} + \frac{3,04 + 3,16}{2} \cdot 1,0 \approx 9,61 \text{ м}^2$$

3. Объем траншеи V находится по приближенной формуле:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot \ell, \text{ м}^3, \quad V = \frac{4,73 + 9,61}{2} \cdot 80 = 573,6 \text{ м}^3 \quad (13.9)$$

где: ℓ - длина траншеи, м.

Задача 14. Определить объем котлована, имеющего размеры по дну $A \times B = 12 \times 30$ м и глубину посередине $h = 4,0$ м (см. рис.14.1.). Крутизна откосов $1:m = 1:0,67$. Местность имеет поперечный уклон $i = 0,04$.

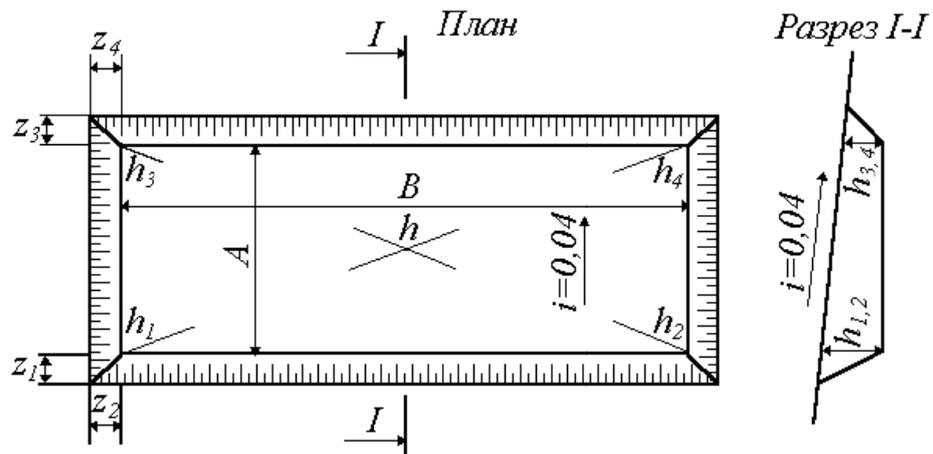


Рис.14.1. План котлована и его разрез

Решение.

1. Определяется глубина котлована по углам:

$$h_1 = h_2 = h + \frac{A}{2} \cdot i, \text{ м} \quad h_1 = h_2 = 4 + \frac{12}{2} \cdot 0,04 = 4,24 \text{ м} \quad (14.1)$$

$$h_3 = h_4 = h - \frac{A}{2} \cdot i, \text{ м} \quad h_3 = h_4 = 4 - \frac{12}{2} \cdot 0,04 = 3,76 \text{ м} \quad (14.2)$$

где: h - глубина котлована посередине, м; a - ширина котлована, м; i - поперечный уклон местности.

Далее находятся величины заложения откосов:

$$z_1 = \frac{h_1}{\frac{1}{m} - i}, \text{ м}; \quad z_1 = \frac{4,24}{\frac{1}{0,67} - 0,04} = 2,97 \text{ м}$$

$$z_2 = \frac{h_2}{1:m}, \text{ м}; \quad z_2 = \frac{4,24}{1/0,67} = 2,84 \text{ м} \quad (14.3)$$

$$z_3 = \frac{h_3}{\frac{1}{m} + i}, \text{ м}; \quad z_3 = \frac{3,76}{\frac{1}{0,67} + 0,04} = 2,46 \text{ м}$$

$$z_4 = \frac{h_4}{1:m}, \text{ м}; \quad z_4 = \frac{3,76}{1/0,67} = 2,52 \text{ м} \quad (14.4)$$

где: m - величина заложения откосов;

2. Объем котлована разбивается на несколько объемов простых геометрических фигур (рис.14.2.).

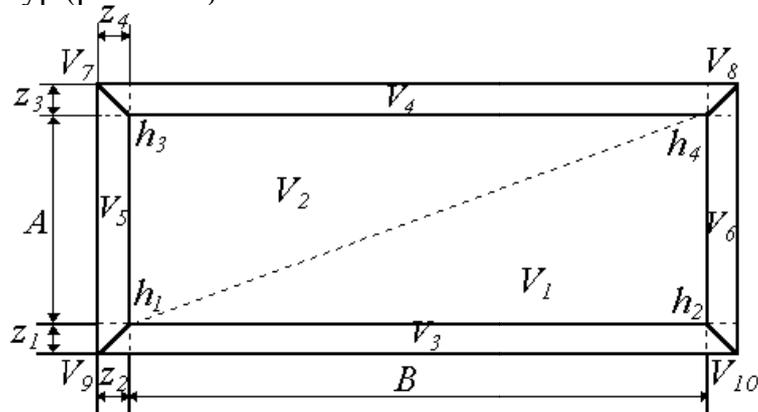


Рис.14.2. Схема разбивки котлована на простые геометрические фигуры

а). Объемы треугольных призм, усеченных не параллельно основанию (у основания котлована), находятся по формулам:

$$V_1 = \frac{A \cdot B}{2} \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_4}{3}, \text{ м}^3; V_1 = \frac{12 \cdot 30}{2} \cdot \frac{4,24 + 4,24 + 3,76}{3} = 734,4 \text{ м}^3 \quad (14.5)$$

$$V_2 = \frac{A \cdot B}{2} \cdot \frac{h_3 + h_4 + h_1}{3}, \text{ м}^3; V_2 = \frac{12 \cdot 30}{2} \cdot \frac{3,76 + 3,76 + 4,24}{3} = 705,6 \text{ м}^3 \quad (14.6)$$

где: a, b - размеры котлована по дну, м.

б). Объёмы треугольных призм (у откосов продольных сторон котлована) находятся по формулам:

$$V_3 = \frac{h_1 \cdot z_1}{2} \cdot B, \text{ м}^3; V_3 = \frac{4,24 \cdot 2,97}{2} \cdot 30 = 188,9 \text{ м}^3 \quad (14.7)$$

$$V_4 = \frac{h_3 \cdot z_3}{2} \cdot B, \text{ м}^3; V_4 = \frac{3,76 \cdot 2,46}{2} \cdot 30 = 142,14 \text{ м}^3 \quad (14.8)$$

в). Далее находятся объёмы усеченных треугольных призм (у откосов поперечных сторон котлована) по приближенной формуле:

$$V_5 = V_6 = \left(\frac{h_1 \cdot z_2}{2} + \frac{h_3 \cdot z_4}{2} \right) \cdot \frac{A}{2}, \text{ м}^3; V_5 = V_6 = \left(\frac{4,24 \cdot 2,84}{2} + \frac{3,76 \cdot 2,52}{2} \right) \cdot \frac{12}{2} = 75,84 \text{ м}^3 \quad (14.9)$$

г). Приближенные объемы четырехугольных пирамид (в углах котлована) находятся по формулам:

$$V_9 = V_{10} = z_1 \cdot z_2 \cdot \frac{h_1}{3}, \text{ м}^3; V_9 = V_{10} = 2,97 \cdot 2,84 \cdot \frac{4,24}{3} = 11,92 \text{ м}^3 \quad (14.10)$$

$$V_7 = V_8 = z_3 \cdot z_4 \cdot \frac{h_3}{3}, \text{ м}^3; V_7 = V_8 = 2,46 \cdot 2,52 \cdot \frac{3,76}{3} = 7,76 \text{ м}^3 \quad (14.11)$$

Далее находится общий объём котлована как сумма частных объёмов:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9 + V_{10}, \text{ м}^3 \quad (14.12)$$

$$V = 734,4 + 705,6 + 188,9 + 142,14 + 75,84 \times 2 + 11,92 \times 2 + 7,76 \times 2 = 1962 \text{ м}^3$$

Зимними называются такие условия, когда среднесуточная температура ниже $+5^{\circ}\text{C}$ и в течение суток возможно понижение температуры ниже нуля градусов Цельсия. Сущность предохранения грунтов от промерзания заключается в создании на поверхности термоизоляционного слоя различными способами. Меры по предохранению от промерзания осуществляют в осенний период перед наступлением заморозков.

* *Рыхление грунта* - вспашка плугами на глубину до 35 см, с последующим боронованием верхнего слоя на глубину 10...15 см.

* *Укрытие поверхности грунта* - выполняют обычно на небольших площадях местными теплоизоляционными материалами (сухие листья, древесные опилки, солома, торф и т.д.).

* *Пропитка грунта соевыми растворами* - применяют при температуре поверхности грунта под слоем снега не ниже -15°C . Для пропитки используют технический NaCl или CaCl . Спланированный участок посыпают солью и вспахивают, чтобы соль под действием атмосферных осадков растворилась и впиталась.

Создание ледозащитной оболочки - применяют для защиты от промерзания глинистых водоудерживающих грунтов. Площадку планируют, обваловывают, заливают водой и после образования ледяной корки толщиной 10...15 см воду спускают.

Задача 15. *Требуется определить глубину заложения труб временного построечного водопровода при условии, что водопровод должен функционировать в течение всего зимнего периода.*

Грунт - супесок. Наибольшая глубина промерзания грунта в данной местности $H = 1,5$ м. Трубопровод утепляется слоем шлака толщиной $h_1 = 40$ см.

При расчете следует учесть дополнительное утепление в виде уплотненного снега, слоем толщиной $h_2=0,25$ м.

Решение.

Ширину траншеи для временного водопровода принимаем равной 0,5 м.

Толщина слоя супесчаного грунта, эквивалентного по сопротивлению теплопередаче слою шлака толщиной $h_1=0,4$ м и снега, толщиной $h_2=0,25$, определяется по формуле:

$$h_{\text{экв}} = h_1 K'_{\text{ут}} + h_2 K''_{\text{ут}}, \quad (15.1)$$

где: $K'_{\text{ут}}$ и $K''_{\text{ут}}$ - значение эквивалентной толщины шлака и уплотненного снега по отношению к глинистому грунту. По данным табл. 11 «МУ» значение $K_{\text{ут}}$ по отношению к супеску для влажного шлака равно 1,5, а для уплотненного снега - 2,0.

Водопроводные трубы должны быть уложены на 0,20 м ниже глубины промерзания. В случае не утепленного грунта глубина их заложения должна составлять: $h_3=1,5 + 0,20 = 1,70$ м.

$$h_{\text{экв}} = 0,4 \cdot 1,5 + 0,25 \cdot 2 = 1,1 \text{ м}$$

Но так как слой шлака толщиной 0,40 м и слой снега толщиной 0,25 м в сумме эквивалентны толщине 1,1 м супесчаного грунта, то необходимая глубина заложения труб в грунте будет равна: $1,7 - 1,1 = 0,6$ м.

Утеплить грунт можно по двум схемам, изображенным на рис. 15.1.

а) б)

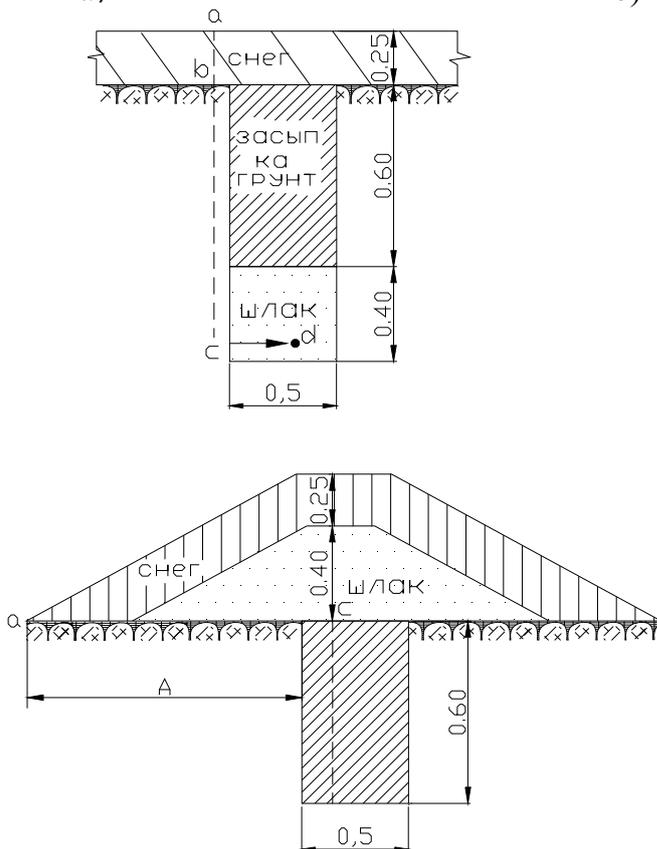


Рис.15.1. Схемы утепления труб временного водопровода.

При утеплении по схеме рис.15.1(а) следует проверить возможность промерзания по грунту. Кратчайший путь теплового потока будет направляться по линии $abcd$. Длина отрезков этой линии, приведенная к супесчаному грунту, будет равна:

$$ab = 0,25 \times 2 = 0,50 \text{ м}; bc = 1,0 \text{ м}; cd = 0,5 \times 1,5 = 0,75 \text{ м}.$$

Приведенная линия промерзания будет равна: $L_{np} = ab + bc + cd$; $L_{np} = 2,25$ м, что значительно больше 1,70 м, и поэтому возможность промерзания по линии $abcd$ исключена.

При утеплении по схеме рис.15.1.(б) следует определить ширину отсыпки утепления A с тем, чтобы не могло произойти промерзания от точки a до дна траншеи.

Эта длина должна быть равна 1,70 м.

Длина отрезка A определяется из прямоугольного треугольника:

$$A = \sqrt{h_3^2 - 0,6^2} = \sqrt{1,70^2 - 0,60^2} = 1,59 \text{ м}.$$

Задача 16. В целях предохранения грунта от промерзания на месте разработки котлована предварительно распахана земля на глубину $h_1 = 25$ см и затем покрыта слоем опилок. Грунт глинистый.

Определить, на какую толщину следует насыпать слой опилок с тем, чтобы к началу земляных работ грунт не подвергся промерзанию. По проекту организации строительства производство земляных работ на данном объекте намечено начинать 3 января. В районе строительства начало периода отрицательных температур с 4 ноября. Среднемесячные температуры в ноябре - $2,1^\circ\text{C}$; в декабре - 8°C .

Средняя толщина снегового покрова $h_{сн} = 0$ (снеговой покров не учитывается).

Решение.

Наибольшая глубина промерзания грунта в (см) к какому-нибудь сроку от начала зимы ориентировочно определяется по эмпирической формуле [1]:

$$H_{i0} = 60 \cdot (4 \cdot P - P^2) \cdot K_{\text{ЭЭА}}, \text{ где} \quad (16.1.)$$

$$P = \frac{t_z}{1000}; \quad (16.2.)$$

где t_z - градусо-дни в течение периода, за который определяется глубина промерзания; $K_{\text{ЭКВ}}$ - коэффициент эквивалентности глубины промерзания по отношению к глинистому грунту.

Для условия задачи по местным условиям количество градусо-дней t_z составит:

в ноябре $2,1 \times 28 = 59$ градусо-дней,

в декабре $8,0 \times 31 = 248$ градусо-дней,

в январе $8,0 \times 2 = 16$ градусо-дней.

Следовательно $t_z = 323$ градусо-дней.

Коэффициент P будет в этом случае равен: $P = \frac{t_z}{1000} = \frac{323}{1000} = 0,323$.

Значение $K_{\text{ЭКВ}}$, для глинистого грунта, по данным табл. 10. МУ, принимаем 1.

Тогда глубина промерзания не утепленного грунта будет равна:

$$H_{np} = 0,6 \cdot (4 \cdot 0,323 - 0,323^2) \cdot 1 = 0,71 \text{ м}.$$

Слой распаханной и забороненной земли толщиной 25 см эквивалентен слою глинистого грунта толщиной

$$\frac{h_1}{K_{\text{ЭКВ}}} = \frac{0,25}{0,8} = 0,31 \text{ м}, \text{ где}$$

Таким образом, глубина промерзания грунта при его распашке будет равна: $0,71 - 0,31 + 0,25 = 0,65$ см.

Искомая толщина слоя опилок h_2 определится из уравнения: $h_2 \cdot K_{\text{ym}} = 0,65$ м ;

где $K_{\text{экв}}$ - коэффициент эквивалентности толщины различных утеплителей по отношению к грунту, принимаем по табл. 11.МУ., $K_{\text{ут}}=1.9$

$$\text{Откуда: } h_2 = \frac{0,65}{1,9} = 0,34 \text{ м.}$$

Задача 17. На одной из строек в январе месяце произошел перерыв между земляными работами и укладкой фундаментов на период $Z=5$ суток.

Какой толщины следует уложить слой утеплителя из шлака на поверхность грунта, чтобы предохранить грунт от замерзания. Грунт - супесчаный. Средняя температура наружного воздуха $t=-20^\circ\text{C}$.

Решение.

Глубину промерзания супесчаного грунта в (м) можно определить по формуле:

$$H_{\text{пр}} = 0,6 \cdot (4 \cdot P - P^2) \cdot K_{\text{экв}}, \text{ где} \quad (17.1.)$$

$$P = \frac{t_z}{1000}. \quad (17.2.)$$

Для условий настоящей задачи: $t = 20^\circ$; $Z = 5$ суток;

$$P = \frac{20 \cdot 5}{1000} = 0,1, \text{ по табл. 10.МУ; } K_{\text{экв}} = 0,92.$$

$$\text{Тогда: } H_{\text{пр}} = 0,6 \cdot (4 \cdot 0,1 - 0,1^2) \cdot 0,92 = 0,22 \text{ м.}$$

Толщина слоя шлака h_1 (эквивалентная слою супесчаного грунта) 0,22 м, согласно данным табл. 11.МУ, определяется по формуле:

$$K_{\text{ут}} \cdot h_1 = 0,22; K_{\text{ут}} = 1,5 \quad (17.3.)$$

$$\text{Откуда: } h_1 = \frac{0,22}{1,5} = 0,15 \text{ м.}$$

Задача 18. Определить величину заряда, расположение шпуров и общую потребность в аммоните №7 для разрыхления мерзлого грунта перед его разработкой.

Участок (см. рис. 18.1.) имеет ширину $a=8$ м, длину $l=100$ м, глубина промерзания $h=1,8$ м, грунт - суглинок.

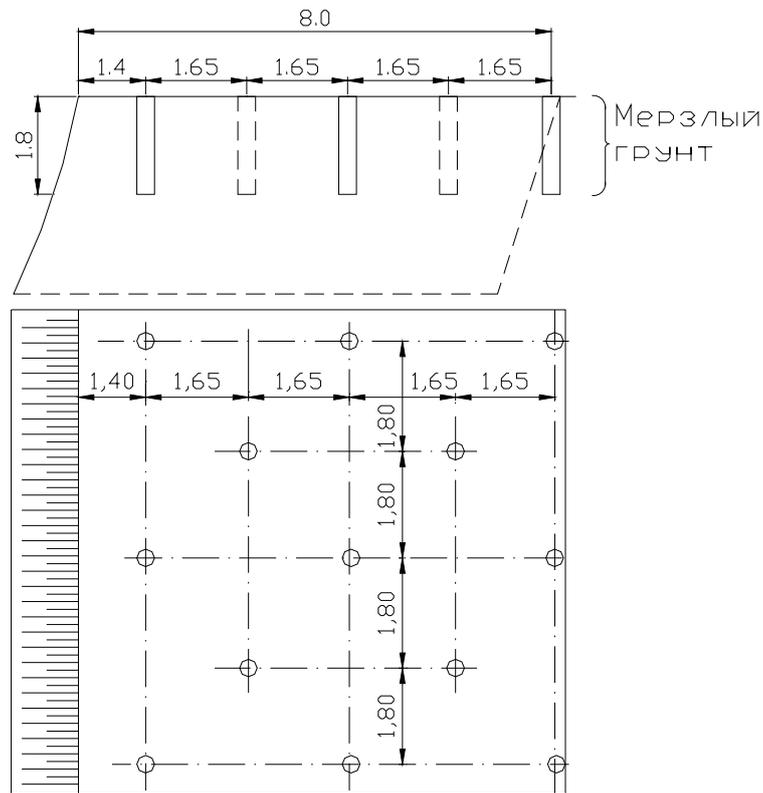


Рис. 18.1. Схема расположения шпуров при разрыхлении мерзлого грунта взрывным способом.

Решение.

Глубина шпура, согласно данным таблицы 17. МУ, при глубине промерзания грунта 1,80 м равна $h_1 = 1,40$ м.

Таблица 17. Глубина шпуров и скважин h_1 в зависимости от толщины мерзлого слоя грунта

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Толщина мерзлого слоя, м | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| Глубина шпура, м | 0,4 | 0,45 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,75 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |

Таблица 18. Значение коэффициента K_0 , зависящего от применяемого взрывчатого вещества

| Наименование ВВ | K_0 | Наименование ВВ | K_0 |
|--------------------|-------|--------------------|-------|
| Аммонит № 6 | 0,9 | Динамит (62%) | 0,75 |
| Аммонит № 7 | 1,0 | Тротил | 0,86 |
| Аммонит № 8 | 1,2 | Тол | 0,68 |
| Аммонит № 9 (ДТА) | 1,0 | Аммиачная кислота | 1,35 |
| Аммонит № 10 (ДМА) | 0,94 | Пикриновая кислота | 0,86 |
| Динамит (КТЖ) | 1,0 | Черный порох | 2,0 |

Таблица 19. Значение K – удельного расхода ВВ для зарядов в $кг/м^3$

| ВВ - Аммонит | Для грунтов | Расход, $кг/м^3$ |
|--------------|--------------------------|------------------|
| №7 и №9 | Растительных и песчаных | 0,4-0,5 |
| | Супесчаных и суглинистых | 0,5-0,6 |
| | Глинистых | 0,6-0,7 |
| | Щебенистых | 0,7-0,8 |

Расстояние первого ряда от стенки забоя принимается равной линии наименьшего сопротивления h_1 , т. е. 1,4 м.

Расстояние между шпурами «с» принимается $1,2 h$, где h -толщина мерзлого слоя.

Для данной задачи $c = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 1,80 = 2,16 \text{ м}$.

Скважины располагаем в шахматном порядке. При этом расстояние между рядами в продольном направлении $b = \sqrt{c^2 - (c/2)^2} = \sqrt{2,16^2 - 1,08^2} = 1,8 \text{ м}$.

Расположение шпуров показано на рис. 18.1.МУ. При числе шпуров в одном ряду $100/1,8=56$ и числе рядов равном «5» общее количество шпуров будет равно $57 \cdot 5 = 280$.

Величина заряда в каждом шпуре определяется по формуле:

$$Q = K \cdot h_1^3, \text{ кг} \quad (18.1.)$$

где: h_1 - расчетная линия сопротивления в м; $h_1 = 1,4 \text{ м}$; K - расчетный коэффициент, зависящий от свойств взрывчатого вещества и категории грунта.

Значение K согласно данным таблицы 19.МУ, равно 0,6.

Тогда $Q = 0,6 \cdot 1,40^3 = 1,65 \text{ кг}$.

Общая потребность в аммоните №7 составит $1,65 \cdot 280 = 462 \text{ кг}$.

Примечание: При употреблении другого взрывчатого вещества следует применять коэффициент K_0 , приведенный в таблицы 18.МУ.

Задача 19. Определить расход пара для отогревания 1 м^3 мерзлого грунта паровыми иглами.

Глубина промерзания грунта $h = 1,60 \text{ м}$.

Температура наружного воздуха $t_{\text{нв}} = -20^\circ \text{ C}$.

Конечная средняя температура грунта $t_{\text{нв}} = +5^\circ \text{ C}$.

Влажность грунта $p = 20\%$ (по весу к сухому состоянию).

Общая длительность прогрева, включая выдерживание грунта после прекращения пуска пара $Z = 38$ часов.

Поверхность грунта утеплена слоем соломенных матов толщиной 10 см.

Решение.

Общее количество грунта, подлежащего отогреву,

$$W = 100 \cdot 1,60 = 160 \text{ м}^3.$$

Вес 1 м^3 сухого грунта $q = 1400 \text{ кг}$.

Температура грунта у его поверхности равна $t_{\text{нв}} = -20^\circ \text{ C}$, у границы промерзания - 0° . Ввиду того, что кривая температур по глубине в грунте имеет вид параболы, принимаем приближенно среднюю начальную температуру грунта равной

$$t_n = \frac{-20 + 0}{3} \cong -7^\circ.$$

В дальнейшем при расчетах принимаем, что вся вода в грунте находится в замершем состоянии, пренебрегая тем обстоятельством, что в капиллярах грунта часть воды (примерно $8 \div 15\%$) находится в жидком состоянии.

При влажности грунта 20% вес воды в 1 м^3 его составляет:

$$q_B = 1400 \times 0,20 = 280 \text{ кг}.$$

Общий расход тепла Q складывается из следующих составляющих:

1) расхода тепла на нагрев 1 м^3 сухого грунта от температуры $t_n = -7^\circ$ до $t_k = +5^\circ$, равного

$$Q_1 = c_{\text{сп}} \cdot (t_k - t_n) \cdot q = 0,2 \cdot (5 + 7) \cdot 1400 = 3360 \text{ ккал} \quad (19.1.)$$

($c_{\text{сп}}$ - удельная теплоемкость грунта, равная 0,2);

2) расхода тепла на нагрев льда от температуры $t_n = -7^\circ$ до 0° ;

$$Q_2 = c_l \cdot (t_k - t_n) \cdot q_B = 0,5 \cdot (0 + 7) \cdot 280 = 980 \text{ ккал};$$

(c_l - удельная теплоемкость льда, равная 0,5);

3) расхода тепла на таяние льда (скрытая теплота плавления 80 ккал/кг);

$$Q_3 = 80 \cdot 280 = 22400 \text{ ккал}$$

4) расхода тепла на нагрев воды, образовавшейся после таяния, от 0° до $+5^\circ$

$$Q_4 = 1,0 \cdot 5 \cdot 280 = 1400 \text{ ккал} .$$

Тогда общий расход тепла на оттаивание 1 м^3 грунта будет равен:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 3360 + 980 + 22400 + 1400 = 28140 \text{ ккал} . \quad (19.2.)$$

Следует обратить внимание на то, что из общего количества тепла около 88% его расходуется на оттаивание льда и обогрев воды, содержащейся на грунте.

Кроме расхода тепла на нагрев грунта, необходимо компенсировать потери тепла от нагретой поверхности грунта в воздух через отопление (потерями тепла вследствие нагрева слоев грунта ниже глубины промерзания пренебрегаем вследствие их незначительности).

Принимаем, что теплопотери происходят во все время прогрева, т.е. в течение 38 часов при температуре грунта $+5^\circ\text{C}$ (эти потери необходимо учитывать при определении требуемого количества тепла).

Расход тепла вследствие теплопотерь в воздух определяется по формуле:

$$Q_1 = \frac{F \cdot (t_{\text{сп}} - t_{\text{нв}}) \cdot Z \cdot \beta}{0,05 + \frac{\delta}{\lambda}}, \text{ где} \quad (19.3.)$$

F - поверхность охлаждения, приходящаяся на 1 м^3 оттаиваемого грунта;

$$F = \frac{1}{1,6} = 0,63 \text{ м}^2; \quad (19.4.)$$

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{к}} = +5^\circ; t_{\text{нв}} = -20^\circ; Z = 38 \text{ час}; \delta = 0,10 \text{ м}$$

где λ - теплопроводность утеплителя.

Согласно данным таблицы 20. и 21. МУ или СНиП 23-02-03 «Тепловая защита зданий» $\lambda = 0,09 \text{ ккал} / \text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}$; $\beta = 2,60$; ($1 \text{ ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) \approx 1,163 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$).

$$\text{Тогда: } Q_1 = \frac{0,63 \cdot (5 + 20) \cdot 38 \cdot 2,6}{0,05 + \frac{0,10}{0,09}} = 516 \text{ ккал} .$$

Общий расход тепла с учетом теплопотерь в воздух составит:

$$Q_0 = Q + Q_1 = 28140 + 516 = 28656 \text{ ккал} . \quad (19.5.)$$

Теплопотери в окружающий воздух составляют 2% общего расхода тепла, и поэтому для упрощения расчетов ими можно пренебречь.

Количество тепла, получаемого от 1 кг пара, приближенно рассчитывается следующим образом:

а) тепло, выделяемое при конденсации пара, 540 ккал ;

б) тепло при охлаждении воды от температуры $+100$ до температуры $+5 - 95 \text{ ккал}$, а всего $540 + 95 = 635 \text{ ккал}$.

При определении потребности в паре следует учитывать его потери через отверстия в укрытии скважины; ориентировочно эти потери можно принять равными 25%,

тогда общая потребность в паре на 1 м^3 грунта составит:

$$P = \frac{28656}{635} \cdot 1,25 \approx 56 \text{ кг} . \quad (19.6.)$$

Таблица 20. Коэффициенты теплопроводности « λ » и удельной теплоемкости « c » для основных строительных материалов, применяемых в качестве утеплителя

| Наименование материала | Характеристика | γ (объемный вес), т/м ³ | λ , ккал/м ² · час·град. | c , ккал/кг· град. |
|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| Асбестовый картон | Листы толщ. 1-5 мм | 900 | 0,15 | 0,20 |
| Войлок строит. | Смесь шерсти и растит. волокон | 150-250 | 0,04-0,05 | 0,45 |
| Камышит | Плиты из стеблей камыша толщ. 7,5 и 10 см | 260-360 | 0,05-0,09 | 0,36 |
| Морозин | Плиты из льна костры толщ. 1; 2; 3; и 4 см | 250-350 | 0,05-0,065 | 0,45 |
| Опилки древесные | Воздушно-сухие | 150-250 | 0,05-0,08 | 0,60 |
| Пакля | Отходы при обработке пеньки и льна | 160 | 0,04 | 0,40 |
| Соломит | Плиты толщ. 5,7 и 10 см | 220-360 | 0,05-0,09 | 0,36 |
| Древесина | Воздушно-сухая | 600 | 0,15 | 0,65 |
| Вата шлаковая | То же | 200-300 | 0,05-0,06 | 0,38 |
| Шевелин | Толщ. 12,5 и 25 мм | 100-260 | 0,04-0,045 | 0,45 |
| Шлак котельный | Сухой | 700-1000 | 0,06-0,25 | 0,18 |
| Песок | Сухой | 1600-1800 | 1,7-2,1 | 0,20 |

Таблица 21. Значение поправочного коэффициента β , характеризующего конструкцию утепления

| Характеристика ограждения | β_1 | β_2 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Ограждение состоит только из легкопроницаемых утеплителей | 2,60 | 3,00 |
| То же, но с защитой со стороны бетона слоем труднопроницаемого утеплителя | 2,00 | 2,30 |
| То же, но с защитой с внешней стороны слоем труднопроницаемого утеплителя | 1,60 | 1,90 |
| То же, но с защитой как с внешней, так и внутренней стороны слоями труднопроницаемого утеплителя | 1,30 | 1,50 |
| Ограждения состоят только из труднопроницаемых утеплителей | 1,30 | 1,50 |
| Примечание: β_1 - значения для обычных условий, β_2 - условий сильного обветривания. | | |

Задача 20. Определить расход электроэнергии и требуемую мощность для отогревания мерзлого глинистого грунта электрическим током методом глубинного электропрогрева на участке площадью $F=300 \text{ м}^2$.

Глубина промерзания грунта $h=1,20 \text{ м}$ температура наружного воздуха $t_{\text{нв}} = -15^\circ \text{ С}$.

Конечная средняя температура нагрева грунта $t_1 = +5^\circ \text{ С}$. Влажность грунта $p=20\%$. Общая длительность отогрева грунта (включая выдерживание грунта после окончания электропрогрева) $Z=30$ час. Поверхность грунта утеплена слоем соломенных матов толщиной 10 см.

Решение.

I. Общее количество отогреваемого грунта, составляет $300 \cdot 1,2 = 360 \text{ м}^3$. Вес сухого грунта, составляет $q = 1600 \text{ кг}$.

При влажности грунта 20% вес воды в 1 м^3 грунта будет равен:

$$q_B = 1600 \cdot 0,20 = 320 \text{ кг}.$$

II. Определяем количество воды, находящейся в грунте в замершем состоянии. Температура грунта у его поверхности равна температуре наружного воздуха $t_{нв} = -15^\circ \text{C}$. Среднюю температуру грунта приближенно можно принять равной $\frac{1}{3}t_{нв} = -\frac{15}{3} = -5^\circ \text{C}$ (кривая температура в грунте параболического характера).

По графику (см. рис.5.1.МУ) находим, что при температуре -5° в глинистом грунте содержится воды в замершем состоянии около 75%.

Таким образом, из общего количества воды $q_B = 320 \text{ кг}$ в виде льда будет находиться $q'_B = 320 \times 0,75 = 260 \text{ кг}$.

III. Определяем общий расход тепла на отопление 1 м^3 грунта:

$$Q = c_{cp} \cdot (t_1 - t_{cp}) \cdot q;$$

1. Расход тепла на нагрев 1 м^3 сухого грунта от температуры -5° до $+5^\circ$ будет равен:

$$Q_1 = 0,2 \cdot (5 + 5) \cdot 1600 = 3200 \text{ ккал},$$

где: c_{cp} - удельная теплоемкость грунта, равная 0,2;

2. Расход тепла на нагрев льда от температуры -5° до $+0^\circ$ составляет:

$$Q_2 = 0,5 \cdot (0 + 5) \cdot 260 = 650 \text{ ккал},$$

где: c_{cp} - удельная теплоемкость льда, равная 0,5;

3. Расход тепла на таяние льда (скрытая теплота плавления $- 80 \text{ ккал}$) равен

$$Q_3 = 80 \cdot 260 = 20800 \text{ ккал}.$$

3. Расход тепла на нагрев воды, образовавшейся вследствие таяния льда от 0° до $+5^\circ$:

$$Q_4 = 1,0 \cdot 5 \cdot 260 = 1300 \text{ ккал}.$$

где: c_{cp} - удельная теплоемкость воды, равная 1,0;

4. Расход тепла на нагрев воды, находившейся в капиллярах грунта в жидком состоянии в количестве $360 - 260 = 100 \text{ кг}$ от температуры -5° до $+5^\circ$, составляет:

$$Q_5 = 1,0 \cdot (5 + 5) \cdot 100 = 1000 \text{ ккал}.$$

Общий расход тепла на отопление 1 м^3 грунта составит:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 3200 + 650 + 20800 + 1300 + 1000 = 26950 \text{ ккал} \quad (20.1.)$$

IV. Расход тепла для нагрева всего грунта (360 м^3) составляет:

$$26950 \cdot 360 = 9702000 \text{ ккал}.$$

Кроме расхода тепла на нагрев грунта, необходимо компенсировать потери тепла от нагретой поверхности грунта в воздух через отапливаемый слой. Потерями тепла вследствие нагрева слоев грунта ниже глубины промерзания пренебрегаем вследствие их незначительности.

Так как при глубинном электропрогреве оттаивание грунта происходит снизу вверх, и верхние слои грунта отогреваются в последнюю очередь уже после прекращения подачи тока за счет распространения тепла от нижележащих слоев грунта, то можно принять, что теплопотери при температуре грунта $+5^\circ \text{C}$ имеют место в течение $z=10$ часов.

V. Расход тепла вследствие теплопотерь в воздух определится по формуле:

$$Q_m = F \cdot (t_1 - t_{нв}) \cdot \frac{1}{R} \cdot \alpha \cdot z = 300 \cdot (5 + 15) \cdot \frac{1}{2,05} \cdot 2,3 \cdot 10 = 67500 \text{ ккал} \quad (20.2.)$$

где: F - площадь отогреваемого участка $F=300 \text{ м}^2$;

$$t_1 = +5^\circ \text{C}; t_{нв} = -15^\circ \text{C};$$

R - общий коэффициент термического сопротивления;

$$R = 0,05 + \frac{\delta}{\lambda} = 0,05 + \frac{0,10}{0,05} = 2,05 \text{ м}^2 / \text{ккал} \cdot \text{град} \cdot \text{час}; \quad (20.3.)$$

где: α - поправочный коэффициент учитывающий ветер; согласно ТУ на производство и приемку общестроительных работ $\alpha = 2,30$.

VI. Общий расход тепла на отопление 360 м^3 грунта, учитывая теплопотери, составит:

$$9702000 + 67500 = 9769500 \text{ ккал.}$$

Следует обратить внимание на то, что из общего количества тепла около 76% тепла расходуется на оттаивание льда и 12% - на нагревание воды, содержащейся в грунте.

Пересчитываем килокалории на *квт·часы*. Тогда общий расход электроэнергии на отопление всего грунта будет равен:

$$W = \frac{9769500}{864} = 11340 \text{ кВт} \cdot \text{час} . \quad (20.4.)$$

При этом расход электроэнергии на 1 м^3 отапливаемого грунта составит:

$$W_1 = \frac{11340}{360} = 31,5 \text{ кВт} \cdot \text{час} . \quad (20.5.)$$

VII. Определение мощности электродвигателя.

При отоплении всей площади одновременно наибольшая мощность требуется на шестой час прогрева, а именно,

$$\frac{31,5 \cdot 360}{6} = 1890 \text{ кВт} . \quad (20.6.)$$

Эту мощность можно значительно снизить, если разбить всю отапливаемую площадь на несколько участков, отапливаемых последовательно, причем также последовательно ведется и их разработка.

Если разбить всю прогреваемую площадь на 3 участка и прогревать грунт током в течение 20 часов и, кроме того, оставлять участки под утеплением еще на 10 часов, то требуемая мощность уменьшится в 3 раза и будет равна:

$$\frac{1890}{3} = 630 \text{ кВт} . \quad (20.7.)$$

Задача 21. *Определить время «z», необходимое для оттаивания грунта под местным тепляком (утепление паровые регистры) при следующих условиях: средняя начальная температура грунта $t_n = -6^\circ$; температура источника тепла $t_{нт} = +80^\circ$; теплопроводность грунта:*

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma} = 0,0008 ; \quad (21.1.)$$

требуемая глубина оттаивания: $x = 0,6 \text{ м}$.

Решение.

Для решения задачи используем уравнение:

$$f\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}}\right) = 1 + \frac{t_n}{t_{нт} - t_n} , \quad (21.2.)$$

где: $x = 0,6 \text{ м}$; $t_n = -6^\circ \text{ C}$; $t_{нт} = +80^\circ \text{ C}$; $a = 0,0008$.

$$\text{Тогда: } f = \left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}}\right) = 1 - \frac{6}{80 + 6} = 0,93 .$$

По графику функции Крампа (см. рис. 5.2.МУ) для функции:

$$f\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}}\right) = 0,93$$

имеем значения аргумента:

$$\eta = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}} = 1,30 . \quad (21.3.)$$

$$\text{Откуда: } z = \frac{x^2}{4 \cdot a \cdot \eta^2} = \frac{0,6^2}{4 \cdot 0,0008 \cdot 1,3^2} \approx 67 \text{ час} . \quad (21.4)$$

Задача 22. Определить время оттаивания грунта глубинными электродами. Требуемая толщина оттаивания грунта $h = 1,10 \text{ м}$. Средняя начальная температура грунта $t_n = -5^\circ$. Температура разогрева слоя талого грунта между глубинными электродами по сечению $a-b$ (рис. 22.1.) по практическим данным равна $t_{HT} = 15 \div 25^\circ$; принимаем $t_{HT} = +20^\circ$.

Усредненная температуропроводность грунта $a = 0,0008$.

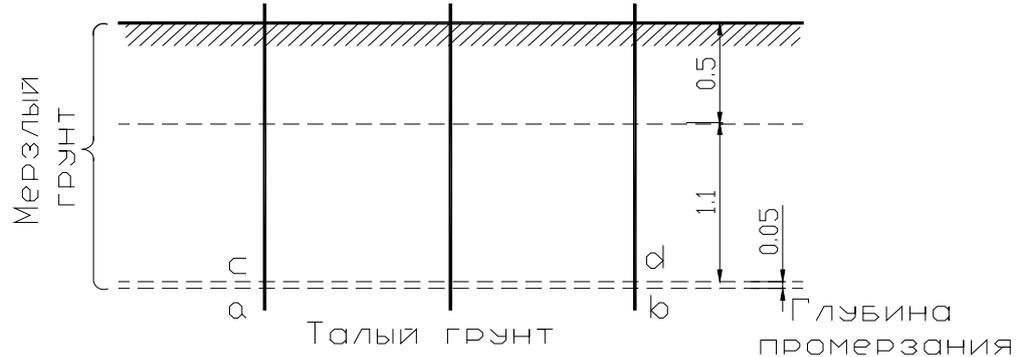


Рис. 22.1. Разрез по грунту при его оттаивании глубинными электродами.

Решение.

Определяем продолжительность оттаивания нижнего слоя грунта (a, b, c, d - рис. 22.1) толщиной $0,05 \text{ м}$, тогда $x = 0,05 \text{ м}$. По формуле:

$$f\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}}\right) = 1 + \frac{t_n}{t_{HT} - t_n} \quad (22.1.)$$

определяем значение функции

$$f\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}}\right) = 1 - \frac{5}{20 + 5} = 0,8$$

По графику функции Крампа (см. рис. 5.2.МУ) для значения

$$f = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}} = 0,8$$

(по оси ординат), находим значение аргумента

$$\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot z}} = 0,88 \quad (22.2)$$

(по оси абсцисс)

Из уравнения (22.2) находим значение z :

$$z = \frac{x^2}{4 \cdot a \cdot 0,88^2} = \frac{0,05^2}{4 \cdot 0,0008 \cdot 0,88^2} = 0,9 \text{ час} \quad (22.3)$$

Продолжительность оттаивания мерзлого грунта толщиной $1,10 \text{ м}$ составит:

$$0,9 \cdot \frac{1,1}{0,05} \approx 20 \text{ час} .$$