

Расчет параметров фильтрационно-дренажного оттаивания с механическим рыхлением горных пород

Усовершенствованным вариантом известного фильтрационно-дренажного способа является фильтрационно-дренажное оттаивание с механическим рыхлением пород.

Сущность способа заключается в том, что распределительную и дренажную канавы соединяют бороздовыми оросителями путем периодического рыхления поверхностного слоя пород вдоль фильтрационного потока [100, 115, 184].

Рыхление осуществляют мощными рыхлителями с минимальным заглублением в мерзлоту зуба рыхлителя.

Шаг рыхления принимают 1...3 м, предельную глубину рыхления – в соответствии с техническими возможностями современных рыхлителей (для Д-9Н и ДЗ-141-ХЛ – 1,1...1,3 м).

Для теплофизической оценки этого способа разработана излагаемая ниже методика расчета глубины оттаивания, основанная на использовании метода элементарных балансов, который успешно применен для расчета глубины оттаивания пород фильтрационно-дренажным способом [23, 24, 25].

Разделим оттаиваемый массив глубиной H на слои мощностью так, что число слоев $i = 1, 2, 3, \dots, n$, причем при $\Delta z = const$ $n = H/\Delta z$ (рис.5.10, а).

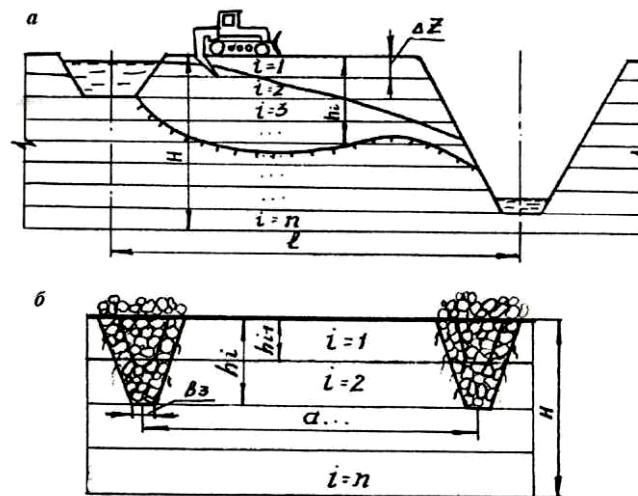


Рис. 5.10. Схема к расчету гидравлического оттаивания с механическим рыхлением пород: а) – параметры фильтрационно-дренажной сети; б) – параметры рыхления

Продолжительность оттаивания $(\Delta T_{\kappa})_i$ расчетного i -го слоя под действием кондуктивного потока солнечной радиации можно определить из формулы:

$$(\Delta T_{\kappa})_i = (i\Delta z / \beta)^2 - [(i-1)\Delta z / \beta]^2 = (\Delta z / \beta)^2 (2i - 1), \quad (5.22)$$

являющейся следствием известной формулы Стефана

$$\xi = \beta \sqrt{\tau}, \quad (5.23)$$

где β – коэффициент, характеризующий скорость оттаивания пород, м/(сутки)^{0,5}; ξ – глубина оттаивания пород за τ суток теплого периода, определяется методами, изложенными в (5.2...5.3), или экспериментальным путем.

После того, как под действием солнечной радиации глубина оттаивания составит 0,3...0,5 м, можно организовать фильтрационный поток, от теплоотдачи которого i -й слой оттаивает за период $(T_{\phi})_i$, определяемый из уравнения баланса тепла,

$$(T_{\phi})_i = l \Delta z (LG_i / t_{\text{вх}} \kappa_{\phi} + c_{II}) / (W_0)_i c_{\text{в}}, \quad i \in (0,3...0,5) / \Delta z, \quad (5.24)$$

где l – путь фильтрации, м; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, МДж/(м³·град); $(W_0)_i$ – единичный расход фильтрационного потока при оттаивании i -ого слоя, м³/(ч · м); L – теплота плавления льда, МДж/кг; G – льдистость i -ого слоя, кг/м³; $t_{\text{вх}}$ – температура воды на входе (в распределительной канаве), град; κ_{ϕ} – коэффициент теплоотдачи фильтрационного потока; c_{II} – объемная теплоемкость талых водонасыщенных пород, МДж/(м³ · град).

Расчет по (5.24) приемлем для однородного массива. После проведения бороздовых оросителей фильтрационный поток в них будет отличаться от потока в целике по гидравлическим характеристикам и коэффициенту теплоотдачи.

Предположим, что бороздовые оросители периодически углубляют на глубину оттаянного слоя (фактически оросители заглубляют в мерзлоту на 0,1...0,3 м, что отнесем в коэффициент запаса). Тогда сечение оросителя у распределительной канавы в начальный момент оттаивания i -ого слоя $(S_{pp})_{ni}$ определится из формулы (см. рис. 5.10, б):

$$(S_{pp})_{ki} = h_{i-1} (2e_3 + 2e_3 h_{i-1}) / 2 = e_3 (1 + h_{i-1}) h_{i-1}, \quad (5.25)$$

где e_3 – ширина зуба рыхлителя, м.

Тогда сечение потока в целике $(S_{up})_{ni}$

$$(S_{up})_{ni} = h_{i-1} a (S_{pp})_{ni}, \quad (5.26)$$

где a – расстояние между оросителями, м.

Сечение оросителя у распределительной канавы в конце оттаивания i -ого слоя

$$(S_{pp})_{ki} = e_3 (1 + h_i) h_i, \quad (5.27)$$

откуда сечение потока в целике

$$(S_{up})_{ki} = h_i a (S_{pp})_{ki} = h_i [a - e_3 (1 + h_i)]. \quad (5.28)$$

Из (5.25) и (5.27) с учетом $\Delta z = h_i - h_{i-1}$ получим среднее сечение потока в оросителе у распределительной канавы за период $(T_{\phi})_i$

$$(S_{pp})_i = e_3 [h_i (1 - \Delta z + h_i) - \Delta z (1 - \Delta z) / 2]. \quad (5.29)$$

Аналогично из (5.26) и (5.28) имеем среднее сечение потока в целике за период $(T_\phi)_i$

$$(S_{up})_i = a(h_i - \Delta z / 2) - (S_{pp})_i. \quad (5.30)$$

По экспериментальным данным сечение потока в оросителе на выходе в дренажную канаву составляет $(S_{pg})_i = 0,25 \epsilon_3$. Тогда среднее сечение потока в оросителе за период оттаивания i -ого слоя

$$(S_p)_i = 0,5\epsilon_3 [h_i(1 - \Delta z + h_i) - \Delta z(1 - \Delta z)/2 + 0,25]. \quad (5.31)$$

Среднее значение фильтрационного потока в целике за период оттаивания i -ого слоя

$$(S_y)_i = [(S_{up})_i + (a - \epsilon_3 0,1)]/2 = \{(h_i - \Delta z / 2)a - \epsilon_3 [h_i(1 - \Delta z + h_i) - \Delta z(1 - \Delta z)/2] + (a - \epsilon_3)0,1\}/2. \quad (5.32)$$

$$(Q_p)_i = \kappa_p (S_p)_i (h_i - 0,25) / l, \quad (5.33)$$

где K_p – коэффициент фильтрации взрыхленных пород в оросителе, м/сутки.

Фильтрационный расход в целике при оттаивании i -ого слоя

$$(Q_y)_i = (\kappa_y)_i (S_y)_i (h_i - 0,25) / l, \quad (5.34)$$

где $(K_y)_i = \Delta z \sum_{i=1}^{i=h_i/\Delta z} K_i / h_i$ – средний коэффициент фильтрации пород в целике при оттаивании i -ого слоя (здесь κ_i – коэффициент фильтрации i -ого слоя).

Количество тепла, поступающего по оросителю $(q_p)_i$ и по целику $(q_y)_i$ при оттаивании i -ого слоя, определим из формул:

$$(q_p)_i = (Q_p)_i C_\epsilon (t_{ex})_i K'_\sigma (T_\phi)_i, \quad (5.35)$$

$$(q_y)_i = (Q_y)_i C_\epsilon (t_{ex})_i K'_\sigma (T_\phi)_i, \quad (5.36)$$

где K'_σ и $(K'_\sigma)_i$ – коэффициенты теплоотдачи потока в оросителе и целике. Из экспериментальных данных $K'_\sigma = 0,54$ при $h_i \leq 1$ м; $K'_\sigma = 0,4$ при $1 \text{ м} < h_i \leq 2$ м и $K'_\sigma = 0,2$ при $h_i > 2$ м. Коэффициент теплоотдачи в целике определяется по формуле [101,148]:

$$(K'_\sigma)_i = 1 - 8 \exp(-\pi^2 F_{0i} / 4) / \pi, \quad F_{0i} > 0,1, \quad (5.37)$$

где $F_{0i} = l(\lambda + D \mathcal{G}_i) / \mathcal{G}_i C_\epsilon \left(\frac{h_i - 0,2}{2} \right)^2$ – критерий Фурье при оттаивании i -ого

слоя; λ – теплопроводность водонасыщенных пород, Вт/(м·град); D – коэффициент теплового рассеяния, Вт·ч/(м²·град); \mathcal{G} – скорость потока в целике, определяемая по формуле Дарси,

$$\mathcal{G}_i = (K_y)_i (K_i - 0,25) / l. \quad (5.38)$$

При $F_{0i} < 0,1$ коэффициент теплоотдачи $(K'_\sigma)_i = 2\sqrt{F_{0i} / \pi}$.

Количество тепла для оттаивания i -ого слоя с учетом теплоты фазового перехода и нагрева пород до температуры t_n определится из формулы

$$q_i = (LG_i + c_{ni}t_n)\Delta z l a, \quad (5.39)$$

где $t_n = (t_{ex})_i [(K_{\sigma})_i + K'_{\sigma}] / 2 + t_m$; t_m – температура мерзлых пород, °С.

Из уравнения баланса тепла $q_i = (q_p)_i + (q_u)_i$ с учетом (5.35), (5.36) и (5.39) получим

$$(T_{\phi}) = \frac{LG_i + c_{ni}(t_{ex})_i [(K_{\sigma})_i + K'_{\sigma}] / 2}{(h_i - 0,25)c_{\sigma}(t_{ex})_i [K_p(S_p)_i K'_{\sigma} + (K_u)_i(S_u)_i(K_{\sigma})_i]} \cdot \Delta z l^2 a \quad (5.40)$$

Продолжительность оттаивания i -ого слоя при кондуктивно-конвективном переносе тепла составит

$$T_i = (T_{\phi})_i (\Delta T_K)_i / [(T_{\phi})_i + (\Delta T_K)_i] \quad (5.41)$$

Разработанный метод расчета, достоверность результатов которого ограничивается глубиной 6...8 м, позволяет определять глубину и скорость оттаивания с учетом неоднородности тепловых и гидравлических свойств пород, параметров питания и дренирования фильтрационного потока, и глубины рыхления пород, изменения температуры теплоносителя и способов управления кондуктивного теплообмена в поверхностном слое.

Результаты расчетов, выполненных для условий россыпи р. Таен-Эльга (Софийский прииск), показывают, что в слабо фильтрующих породах с коэффициентом фильтрации около 10 м/сутки конвективный перенос тепла при обычной схеме питания и дренирования фильтрационно-дренажного способа крайне незначителен и поэтому неэффективен.

Так, например, при $l = 40$ м глубина оттаивания к концу сентября превышает глубину кондуктивного оттаивания всего на 0,37 м, а при $l = 20$ м – на 1,57 м, причем разность в скоростях оттаивания заметна только в июне (рис. 5.11, а).

Проведение бороздовых оросителей значительно ускоряет оттаивание, особенно при шаге рыхления $a = 1...3$ м.

С уменьшением водопроницаемости пород в целике несколько возрастает относительная эффективность рыхления. Например, при обычной схеме питания ($l = 40$ м) увеличение коэффициента фильтрации пород с 10 м/сутки до 20 м/сутки увеличивает глубину оттаивания на 0,36 м, а при рыхлении с шагом $a = 2$ м – на 0,5 м.

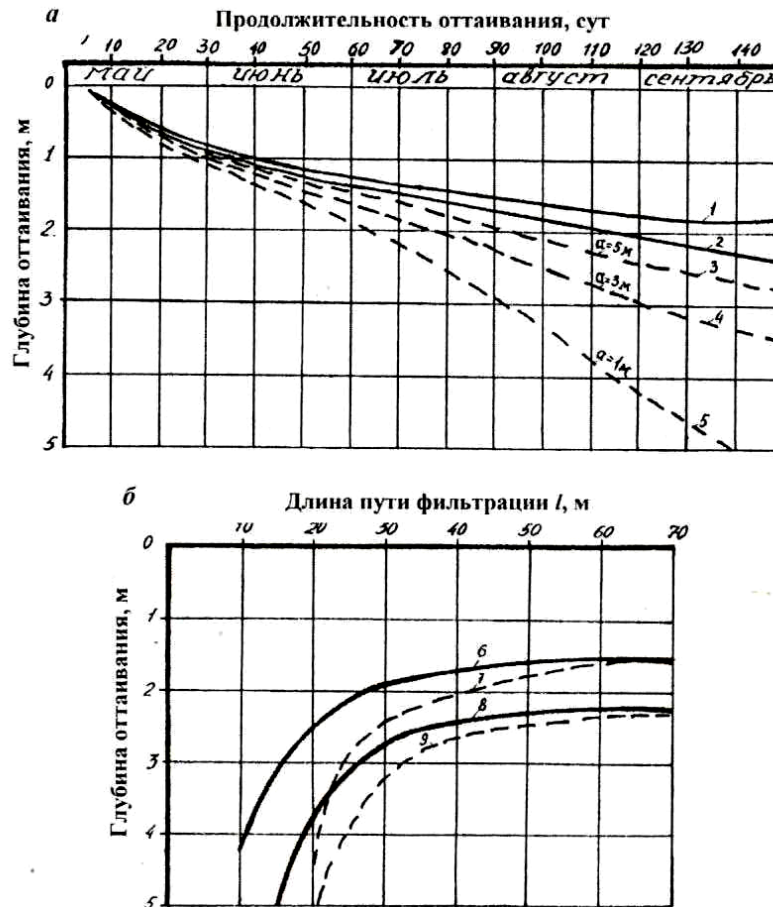


Рис. 5.11. Глубина кондуктивно-конвективного оттаивания пород дражных полигонов: а) - россыпь Таен-Эльга; б) – россыпь р.Малый Урюм (на 10 июня); - - - - - с рыхлением; ———— - без рыхления; 1 – оттаивание солнечной радиацией; 2-9 – гидравлическое оттаивание; 6, 7 – открытая поверхность; 8, 9 – под пленкой

Для участка россыпи р. Малый Урюм, характеризующегося незначительной льдистостью поверхностного слоя ($G = 150 \text{ кг/м}^3$), более высокими коэффициентом фильтрации ($k_{ц} = 50 \text{ м/сутки}$) и глубиной сезонного оттаивания ($\xi = 3,0 \text{ м}$), рыхление ускоряет оттаивание песков мощностью $H_g = 4,0 \text{ м}$ на 14 суток при $l = 20 \text{ м}$ и на 11 суток при $l = 40 \text{ м}$, так что в этих условиях оно также эффективно при отсутствии готовых к выемке запасов к началу промывочного сезона и при необходимости создания их в кратчайший срок или с целью уменьшения относительных объемов по проходке канав путем увеличения пути фильтрации.

Так, например, талые пески $H_g = 4 \text{ м}$ можно получить на 20 июня при $l = 20 \text{ м}$ без рыхления и при $l = 25...28 \text{ м}$ с рыхлением. Заметное ускорение оттаивания достигается при одновременном использовании рыхления и теплопрозрачных пленок. С помощью этого варианта можно оттаять пески на глубину $H_g = 4 \text{ м}$ к 5 июня при $l = 20 \text{ м}$ и к 25 июня при $l = 40 \text{ м}$.

Рыхление по эффекту ускорения оттаивания неравноценно с пленочными покрытиями. Так, на 10 июня глубина оттаивания с

рыхлением при $l \leq 25$ м больше, чем с использованием пленок, а при $l > 25$ м – наоборот (см. рис. 5.11, б).

С увеличением времени равенство глубин оттаивания отмечается при несколько меньших значениях l и, следовательно, можно считать, что в диапазоне наиболее приемлемых расстояний между распределительной и дренажной канавами $l = 30...40$ м использование пленок позволяет в сравнении с рыхлением ускорить оттаивание песков в 1,1...1,2 раза.

В 1979...1982 гг. были проведены первые испытания и внедрение кондуктивно-конвективного способа оттаивания мерзлых пород для подготовки дражного полигона россыпи р. Таен Эльга, при котором теплоноситель (подогретая за счет солнечной энергии вода) вводился самотеком в бороздовые оросители, соединяющие распределительные и дренажную канавы и создаваемые путем периодического рыхления поверхности механическими рыхлителями [100, 184].

На дражном полигоне были подготовлены 2 участка площадью 56,5 тыс. м², между которыми находился контрольный участок. Распределительные канавы глубиной 0,3...0,7 м были пройдены по левому и правому контуру полигона, дренажная канава глубиной 1,5...2,0 м и сечением 12 м² – по центру участков. Питание системы осуществлялось из канавных водосборников, пройденных вдоль сухого откоса плотины. Бороздовые оросители глубиной 0,4...1,2 м периодически проходились рыхлителем Д-9Н со средним шагом рыхления $a = 3,8$ м – на первом опытном участке и $a = 4,3$ м – на втором. На контрольном участке (без рыхления) были пройдены оросительные канавы глубиной 0,4...0,5 м на расстоянии 25...30 м и между ними. Чистая скорость рыхления составила 1100 м/ч. Глубина оттаивания на опытных участках в среднем составила 2,89 м, на контрольном – 2,2 м и на участках с естественным оттаиванием пород солнечной радиацией – 1,7...1,9 м. При наблюдениях с 20 июня по 25 июля 1979 г. установлено, что температура воды на входе в систему колеблется в суточном ходе от 4 до 14 °С, на выходе – от 2 до 7 °С; коэффициент теплоотдачи – от 0,5 до 0,6 и в среднем составил 0,54; коэффициент фильтрации пород в оросителе – 80 м/ч.

При наблюдениях с 16 июня по 18 июля на этом же полигоне, но при засушливом лете (система действовала только 33 дня) были выявлены колебания коэффициента теплоотдачи от 0,14 до 0,51 при среднем значении 0,35.

Установлены также расходы воды через оросители – в среднем они составляли от 0,12 до 0,33 л/с. Коэффициент фильтрации пород в оросителях постепенно снижается со 150...300 м/ч до 30...50 м/ч, что обусловлено недостаточной водостойкостью взрыхленных суглинистых пород и заиливанием путей фильтрации.

Таким образом, теоретические исследования, экспериментальные наблюдения и производственные испытания подтверждают высокую эффективность совместного действия кондуктивного и конвективного переноса тепла при оттаивании пород солнечной энергией.

Проведенные промышленные испытания способа ФДО с созданием бороздовых оросителей на поверхности подготавливаемых песков мощными рыхлителями показали следующие преимущества перед фильтрационно-дренажным способом с традиционной схемой питания и дренирования через канавные оросители:

- увеличивается скорость оттаивания за счет увеличения фильтрационного расхода через взрыхленную часть мерзлого массива;
- увеличивается глубина сезонного оттаивания (как минимум на глубину рыхления);
- упрощается регулирование фильтрационного потока;
- отсутствуют открытые водотоки;
- представляется возможность оттаивать слабофильтрующие породы с коэффициентом фильтрации менее 10 м/сут.

Механическое рыхление оттаянного слоя нетрудоемкий процесс, так как чистая скорость проходки бороздовых оросителей довольно высока – 900... 1100 м/ч.

Экспериментальные исследования и теплофизические расчеты показали, что в сложных горно-геологических и суровых климатических условиях дражных разработок Приморья (коэффициент фильтрации горных пород менее 10 м/сут – высокое содержание мелкодисперсных глинистых частиц, льдистость колеблется от 250 до 280 кг/м³, теплопроводность – 1,5...1,7 Вт/(м·град), теплоемкость – 650...700 Вт·ч/(м³·град) создание бороздовых оросителей механическим рыхлением мерзлых горных пород позволяет увеличить скорость сезонного оттаивания в 1,6 раза по сравнению с фильтрационно-дренажным способом и в два раза по сравнению с обычным естественным солнечно-радиационным оттаиванием, т.к. после проведения бороздовых оросителей фильтрационный поток в разрыхленных песках значительно отличается от фильтрационного потока в целике мерзлого массива горных пород, как по гидравлическим характеристикам, так и по коэффициенту теплоотдачи (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Сравнительная глубина оттаивания мерзлых горных пород при применении различных способов

Способ оттаивания	Глубина оттаивания, м				
	Дата				
	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10
Естественный, с удаленным растительным покровом	0,65	1,20	1,50	1,70	1,90
Фильтрационно-дренажный $K_{\phi} = 10$ м/сут, $l = 40$ м	0,75	1,25	1,60	1,96	2,30
Фильтрационно-дренажный с механическим рыхлением $K_{\phi} = 10$ м/сут,	0,85	1,50	2,30	3,00	3,60

$$l = 40 \text{ м, } a = 2 \text{ м}$$

Расчет скорости оттаивания мерзлых россыпей в Забайкальском крае (коэффициент фильтрации 50 м/сут, льдистость – 150...200 кг/м³, глубина естественного оттаивания – 3,0 м) показывает, что рыхление ускоряет оттаивание песков мощностью 4,0 м на 14 суток, т.е. оно эффективно при полном отсутствии готовых к выемке запасов на начало промывочного сезона и при необходимости создания их в кратчайший срок, а также с целью уменьшения объемов горно-подготовительных работ по проходке канав путем увеличения расстояний между распределительной и дренажной канавами.

Результаты проведенных расчетов показывают весьма существенное изменение сезонной глубины оттаивания в зависимости от физико-механических свойств горных пород и параметров фильтрационно-дренажного оттаивания (рис. 5.12).

Глубина оттаивания мерзлых пород линейно возрастает с увеличением коэффициента фильтрации горных пород и нелинейно уменьшается с ростом фильтрационного пути и расстояния между оросителями.

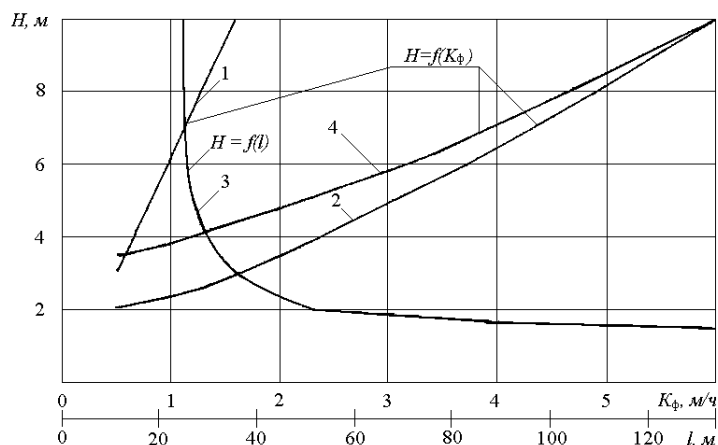


Рис. 5.12. Изменение сезонной глубины оттаивания мерзлых горных пород:

1, 2 – фильтрационно-дренажный способ оттаивания (без рыхления), $H=f(K_\phi)$ при $l=20$ м (1) и $l=40$ м (2); 3, 4 – фильтрационно-дренажный способ оттаивания (с рыхлением, $a=2$ м), $K_\phi=0,42$ м/ч (3); $l=40$ м (4)

Весьма большое значение имеет расстояние между распределительной и дренажной канавами.

Расчеты показывают, что при водопроницаемости пород $K_\phi=10$ м/сут увеличивать путь фильтрации более 20...40 м нецелесообразно, так как в

этом случае резко уменьшается скорость оттаивания. Проведение бороздовых оросителей на расстоянии между ними не более 1...3 м существенно ускоряет оттаивание мерзлых горных пород.

Однако механическое рыхление требует определенных затрат, увеличивающихся с уменьшением шага рыхления, при соответствующем уменьшении удельных затрат на проходку канав, поэтому поиск оптимальных параметров фильтрационно-дренажной сети и рыхления имеет важное значение для оценки и практического внедрения способа в конкретных условиях.

Приведенные затраты на подготовительные работы по оттаиванию фильтрационно-дренажным способом с использованием бороздовых оросителей включают затраты на проходку дренажной Z_d и питающей Z_n канав, отстойника-накопителя Z_{nl} , планировку песков после проходки канав Z_{nl} и проходку бороздовых оросителей рыхлением Z_6

$$\sum Z_d + Z_n + Z_{nl} + Z_6 \quad (5.42)$$

В формуле (5.42) соответствующие виды приведенных затрат определяются по формуле

$$Z = CV + EK, \quad (5.43)$$

где C – себестоимость соответствующего вида работ (например, при проходке дренажной канавы – C_d , питающей – C_n и т.д.), р/м³; V – объем соответствующего вида работ; $E = 0,15$ – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений; K – капитальные затраты соответствующего вида работ (определяют по загрузке машин на проходке канав, сооружении отстойника-накопителя, планировке песков и рыхлении).

Объемы подготовительных работ в пределах оттаиваемого блока определяется по формулам:

- проходка дренажной канавы и планировка после ее проходки

$$V_d = V_{nl} = 0,7(b_d + 0,5H)HL; \quad (5.44)$$

- проходка питающей канавы (при глубине канавы 0,5 м)

$$V_n = (b_p + 0,5)L; \quad (5.45)$$

- проходка питающего водосборника-накопителя

$$V_n = (b_p + 0,5)Ll; \quad (5.46)$$

- проходка бороздовых оросителей (рыхление)

$$V_6 = 2S_6lL/a. \quad (5.47)$$

При известных размерах оттаиваемого блока себестоимость оттаивания мерзлых пород с применением бороздовых оросителей определяется по формуле

$$C_{от} = 0,35(b_{\delta} + 0,7H)(C_{\delta} + C_{пл})/l + (l + 1)(b_p + 0,5)C_n/2Hl + S_{\delta}C_{\delta}/aH, \quad (5.48)$$

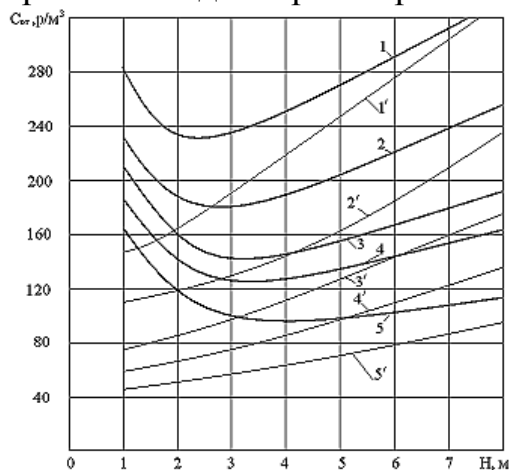
где l – расстояние между распределительной и дренажной канавами, м; b_{δ} , b_p – ширина дренажной и распределительной канав по дну, м; H – мощность оттаиваемого участка, м; L – длина оттаиваемого блока (длина дренажной канавы), м; a – шаг рыхления, м; S_{δ} – площадь сечения бороздового оросителя, м²; C_{δ} , C_n , C_{δ} , $C_{пл}$ – себестоимость проходки дренажной и распределительной канав, бороздовых оросителей и планировки песков, соответственно, р./м³.

При бульдозерной проходке канав и применении рыхлителей Д-9Н и ДЗ-141ХЛ необходимо использовать в расчетах следующие данные:

- ширина канав по дну равна ширине отвала бульдозера, м;
- $C_{\delta} = 1000 / (0,0369 - 0,0015 \cdot H)$ – себестоимость проходки дренажной канавы (р./м³);
- площадь сечения бороздового оросителя $S_{\delta} = 0,84$ м²;
- себестоимость проходки оросителя $C_{\delta} = 30 \dots 40$ р./м³ (в ценах 2006 года).

На основании вышеизложенного алгоритма разработана программа расчета себестоимости оттаивания на ЭВМ.

Результаты расчетов (шаг рыхления $a = 2$ м, длина блока $L = 200$ м, ширина по дну дренажной канавы $b_{\delta} = 4,2$ м, себестоимость проходки оросителя $C_{\delta} = 33$ р./м³, себестоимость планировки $C_n = 64$ р./м³, себестоимость сооружения питающей канавы $C_p = 28$ р./м³) показывают, что фильтрационно-дренажный способ оттаивания с проведением бороздовых оросителей при использовании бульдозеров на проходке канав является экономически целесообразным для глубины 2...5 м (рис. 5.13). С увеличением глубины оттаивания возрастают затраты на проходку канав и себестоимость обычного фильтрационно-дренажного способа приближается к себестоимости оттаивания с применением оросителей. Разница между себестоимостью канавного фильтрационно-дренажного оттаивания и ФДО с созданием на поверхности мерзлых горных пород бороздовых оросителей изменяется от 69 р./м³ при $H = 2$ м до 20 р./м³ при $H = 6$ м (в ценах 2006 года).



**Рис. 5.13. Изменение себестоимости
фильтрационно-дренажного способа оттаивания с применением
бороздовых
оросителей (жирные кривые, $a = 2$ м), без применения бороздовых
оросителей
(тонкие кривые):**

1, 1' – $l = 20$ м; 2, 2' – $l = 30$ м; 3, 3' – $l = 40$ м; 4, 4' – $l = 50$ м; 5, 5' – $l = 80$ м.

Разработанная методика расчета себестоимости оттаивания мерзлых пород фильтрационно-дренажным способом с проходкой бороздовых оросителей на поверхности подготавливаемых к выемке песков мощными рыхлителями позволяет определить наиболее выгодные условия его применения в технологиях горного производства при разработке мерзлых пород, в конкретных горнотехнических и геокриологических условиях Забайкальского края.

ОТВЕТИТЬ НА ВОПРОСЫ:

1. Основы теплопередачи.
2. Температурное поле.
3. Поверхностная тепловая мелиорация горных пород.
4. Классификация мерзлых горных пород.
5. Технология и расчеты естественной оттайки.
6. Структура теплового баланса.
7. Техника и технология игловой гидроотайки.