

Тема. Предмет общего и инженерного мерзлотоведения

Разработка россыпных месторождений – специфическая отрасль горного производства. Наиболее ярко это проявляется при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений, т.к. технология их разработки совершенно отлична от технологии разработки талых россыпей.

Многолетнемерзлые россыпи необходимо предварительно разупрочнять, т.е. переводить в рыхлое состояние. Сегодня самый эффективный способ разупрочнения мерзлых пород – оттаивание.

В северных районах страны огромное распространение получила открытая разработка многолетнемерзлых россыпей с ежедневным удалением слоя оттаявших пород под воздействием тепла солнечной радиации. Такая разработка производится по существу одними бульдозерами. Для экскаваторов, которые приходят к ним на смену, нужна достаточно большая мощность пород разрабатываемого уступа. Поэтому в этом случае становится неприемлемой естественная оттайка. Приходится применять буровзрывное рыхление мерзлого массива горных пород или искусственное оттаивание.

Искусственная оттайка мерзлых пород весьма перспективна, и ее применение – одно из основных направлений повышения эффективности открытой разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений.

Изучением закономерностей строения, развития и распространения мерзлых пород, а также их свойств занимается наука мерзлотоведение или геокриология, основоположником которой является Михаил Иванович Сумгин (Учение о вечной мерзлоте и мерзлых грунтах).

Инженерное мерзлотоведение – раздел этой науки, связанный с разработкой мерзлых горных пород, а также с использованием мерзлых грунтов, как оснований в строительном деле.

Сведения о способах и технологии теплового воздействия на мерзлые породы составляют часть инженерного мерзлотоведения.

С необходимостью разработки мерзлых россыпей столкнулись еще в прошлом столетии, когда началось промышленное освоение золотоносных россыпей в нашей стране – на Урале, Сибири и Якутии.

Впервые, в 1640 году из Сибири в Москву стали поступать сведения о мерзлых породах. «Земля среди лета не растаивает» сообщали Ленские воеводы П. Головин и И. Глебов.

М.В. Ломоносов в 1757 году дал научное объяснение мерзлоты и выдвинул идею о холодной мерзлой оболочке Земли – «Криосфере», характеризующейся отрицательной температурой – «Особая подвижная оболочка Земли – сфера мороза и льда, сфера отрицательных температур, в которой одна часть находится в атмосфере, другая часть – в гидросфере, третья часть – на поверхности Земли и четвертая – в Земной коре».

К 1945 г. мерзлотоведение оформилась и выкристаллизовалась как наука (школа М.И. Сумгина).

В 1930 г. создается комиссия по изучению вечной мерзлоты (КИВМ), которая в 1939 г. реорганизована в институт мерзлотоведения им. Обручева АН СССР. Необходимость подготовки кадров побудила М.И. Сумгина к чтению лекций в ЛГИ по мерзлотоведению.

С 1927 создаются научно-исследовательские мерзлотные станции: Сковородино, Петровск-Забайкальский, Анадырь, Игарка, Якутск, Воркута, Норильск и Братск.

Верхние слои Земной коры на территории средних и высоких широт в зимний период года охлаждаются до отрицательной температуры, и если, слагающие их горные породы содержат воду в капиллярно-жидком виде, то она замерзает, переходя в твердую фазу – лед.

Замерзание воды в почвах и горных породах существенно изменяет их физико-механические, фильтрационные, тепловые, электрические и другие свойства. Цементированные льдом рыхлые породы становятся более плотными и крепкими, поэтому их необходимо перевести из мерзлого состояния в талое путем оттаивания.

В прошлом столетии при разработке мерзлых россыпей каких-либо других способов для оттаивания мерзлого массива кроме открытого огня и нагретых камней (бута), не существовало. Открытый огонь (пожоги), а также бут широко использовались на старательских разработках в шурфах при подземной добыче золота, а также непосредственно на поверхности при открытом способе разработки. Этот первобытный метод используют иногда и в наше время, когда, например, необходимо срочно пройти канаву или траншею в мерзлых породах.

Необходимость в оттайке крупных объемов мерзлых пород возникла, когда стали применять дражный способ разработки россыпей в суровых климатических условиях. Первые опыты по игловой оттайке мерзлых пород проводились на Аляске Д.Х. Майлсом в районе г. Нома в 1917-1918 гг. В 1921 г. американец Пирс проводил опыты оттаивания галечников фильтрационно-дренажным способом. В последствии большой вклад по совершенствованию техники и технологии оттаивания мерзлых пород внесли специалисты Магаданского ВНИИ-1, сотрудники ИРГИРЕДМЕТа, В.Г. Гольдтман, С.Д. Чистопольский, В.В. Знаменский, Г.З. Перльштейн, Э.И. Богуславский, А.В. Рашкин, В.Г. Пятаков и др.

Как правило, протаивание мерзлых и промерзание талых пород – это процессы теплофизические, т.к. связаны с теплообменом между мерзлыми породами и теплоносителем. В качестве теплоносителя могут быть: вода, воздух, лучистая энергия солнца, электроэнергия и др.

Исследование пород и почв при их промерзании и оттаивании является одной из главнейших задач мерзлотоведения. Для решения этой теоретической задачи необходимо изучить:

1. Термодинамические условия развития процессов промерзания и протаивания.
2. Физические и физико-химические процессы в замерзающих, мерзлых и протаивающих породах.
3. Состав, строение, состояние и свойства мерзлых пород и почв.

4. Мерзлотные физико-геологические явления и процессы их обуславливающие.

Поэтому прежде чем говорить о методах и технологии оттаивания мерзлых пород необходимо остановиться на основных понятиях и терминах теплофизики и мерзлотоведения, которые широко применяются в теории и практике оттаивания и будут широко использованы при дальнейшем изучении дисциплины «Термодинамика».

В мерзлотоведении все породы подразделяют по агрегатному состоянию содержащейся в них воды и по температуре:

1. Мерзлые породы – это горные породы, имеющие отрицательную температуру, в которых хотя бы часть воды находится в виде льда, цементирующего минеральные частицы.

2. Морозные породы – это горные породы, имеющие отрицательную температуру, но не содержащие льда. Свойства морозных пород не отличаются от свойств этих же пород, но в талом состоянии, но их тепловое воздействие на соседние породы, а также на подземные выработки и коммуникации будет такое же, как и воздействие мерзлых пород.

3. Талые породы – это горные породы, которые некоторое время находились в мерзлом состоянии, а затем оттаяли, они имеют положительную температуру. Там, где распространена толща мерзлых пород (криолитозона), участки талых пород называют «таликами».

4. Все остальные породы, имеющие положительную температуру называют не мерзлыми.

Лед в мерзлотоведении рассматривается как специфический породообразующий минерал мерзлых пород.

По времени нахождения в мерзлом состоянии породы бывают:

1. Кратковременно-мерзлые (часы, сутки) – возникают во время ночных заморозков.

2. Сезонно-мерзлые (месяцы) – появляются с наступлением зимних холодов и исчезают весной или летом.

3. Многолетнемерзлые (вечномерзлые, сотни, тысячи лет) – толщи многолетнемерзлых пород составляют $\frac{1}{4}$ часть суши Земного шара, а в России они покрывают почти 47 % территории.

Наличие мерзлых пород зависит от температуры окружающего воздуха. Если она отрицательна только в зимнее время, то образуется корка сезонно-мерзлых пород, если же отрицательна среднегодовая температура воздуха, то чаще всего присутствуют многолетнемерзлые породы. Чем выше среднегодовая температура атмосферного воздуха, тем тоньше слой мерзлых пород, тем больше в них включений таликов.

Слой сезонно-мерзлых пород называют «деятельным» слоем.

Поверхность, с которой начинается на той или иной глубине мерзлая зона называется верхней поверхностью мерзлой зоны, поверхность, где в глубине литосферы мерзлая зона кончается, т.е. породы имеют положительную температуру – нижней поверхностью мерзлой зоны, а линии пересечения поверхностей с вертикальной плоскостью соответственно – верхней и нижней границами мерзлой зоны. Расстояние по вертикали между границами называется мощностью мерзлой зоны.

Мощность толщи многолетнемерзлых пород колеблется от нескольких метров до 1000 м. Она увеличивается в направлении на Север и Северо-восток и занимает весь европейский Север и территорию от Урала до Беренгова пролива. Под возвышенностями мощность мерзлых пород больше, чем на низменных участках рельефа.

Талики распространяются в руслах крупных рек – подрусловые талики:

1. Сквозные. Они пронизывают всю толщу мерзлых пород, соединяясь с подстилающими их тальми горными породами.

2. Не сквозные – надмерзлотные.

3. Межмерзлотные – ограничены мерзлотой со всех сторон.

Криолитозона (мерзлота) может быть сплошной (без включений таликов) и прерывистой, когда мерзлые породы чередуются с участками тальных пород. Прерывистая мерзлота может быть «островной» и «пятнистой».

3.4. Расчет фильтрационно-дренажного оттаивания с канавным питанием

Оттаивание мерзлых горных пород фильтрационно-дренажным способом (канавное питание фильтрационного потока) связано с теплообменом между мерзлыми горными породами и теплоносителем, в качестве которого служит вода, подаваемая из естественных водотоков в питающие и оросительные каналы либо самотеком, либо с помощью насосов.

Также как и при естественном солнечно- радиационном оттаивании распространение талика происходит сверху вниз вглубь массива по вертикали. При этом теплоноситель подается в мерзлый массив только за счет сил гравитации. Этот способ наиболее простой, не требует значительных материальных затрат. Он характеризуется незначительной интенсивностью оттаивания мерзлого массива, поэтому применяется при оттайке мерзлых горных пород на дражных полигонах при достаточно ровном рельефе поверхности оттаиваемого участка и хорошо фильтрующих горных породах с коэффициентом фильтрации не ниже 10...20 м / сут и при относительно небольшой глубине оттаивания.

Питание фильтрационного потока при ФДО может осуществляться по открытым канавам и путем орошения (дождевания).

При канавном питании питающие и оросительные каналы шириной 3,5...4,0 м и глубиной 0,2...0,5 м проводят, как правило, по мере оттайки горных пород бульдозером, а дренирующую – с помощью буровзрывных работ на всю глубину рыхления, а также экскаваторами – драглайнами или обратной лопатой. Для повышения эффективности оттаивания глубина дренажной канавы должна быть более 2,5 м, но не менее 2/3 от глубины оттаивания, т.е.:

$$h_0 \geq 2/3 \times h_{om}. \quad (3.23)$$

где h_0 – минимальная глубина дренажной канавы, м;

h_{om} – необходимая глубина оттаивания мерзлых пород, м.

Расстояние между питающей и дренажной канавами принимают в зависимости от водопроницаемости горных пород (табл. 3.8).

Величина водопроницаемости горных пород определяется коэффициентом фильтрации, который зависит от трещиноватости, гранулометрического состава и неоднородности горных пород.

Таблица 3.8

Изменение длины фильтрационного пути при ФДО [4, 12]

Коэффициент фильтрации, м/сут	Длина пути фильтрации, м	
	допустимая	Рекомендуемая
10-30	15-40	15-20
30-50	30-70	25-40
50-100	40-100	45-60
100-200	40-100	50-80
200-400	50-100	60-100
более 400	60-120	70-120

Обычно сброс воды из дренажных канав производится самотеком, однако иногда для принудительной откачки воды из них и интенсификации процесса оттаивания мерзлых пород применяют насосные установки в совокупности с системой труб. Оросительные канавы длиной 20...25 м, предназначенные для повышения интенсивности теплообмена и увеличения эффективности оттаивания, проходят от питающей канавы в сторону дренажной под углом в направлении уклона.

Фильтрационно-дренажное оттаивание проводят в течение одного или нескольких сезонов, при этом возможная глубина оттаивания значительно изменяется в зависимости от длины пути фильтрации (табл. 3.9). В условиях Восточной Сибири и Северо-Востока России при средней температуре воды $t_g = +10\text{ }^\circ\text{C}$ она достигает 10 м.

Глубина дренирования (Z , м – перепад уровней воды в питающей и дренажной канавах) в основном зависит от глубины дренажной канавы,

однако необходимо при этом учитывать длину пути фильтрации и поперечный уклон россыпи [12,15]:

$$Z = h_o + l_\phi \times i - h_{e.o} - (h_n - h_{e.n}), \quad (3.24)$$

где l_ϕ – длина пути фильтрации, м;

i – поперечный уклон россыпи;

h_n – глубина питающей канавы, м;

$h_{o.d}$, $h_{e.n}$ – соответственно, глубина воды в дренажной и питающей канавах, м.

Таблица 3.9

Глубина оттаивания гравийно – галечниковых пород при фильтрационно-дренажной оттайке [12]

Коэффициент фильтрации, м/сут	Летние сезоны, шт	Глубина оттаивания при различной длине пути фильтрации, м					
		20	30	40	50	70	100
20-40	1	5,2	4,7	3,7	-	-	-
20-40	2	7,3	6,0	5,2	3,1	-	-
50	1	6,6	6,1	5,0	4,3	3,5	-
50	2	9,2	8,7	7,7	7,1	6,1	5,7
100	1	-	8,3	7,2	5,9	4,5	3,6
100	2	-	-	10,0	9,0	7,1	6,0
200	1	-	-	8,8	7,7	6,3	5,0
200	2	-	-	-	10,6	9,0	7,7
400	1	-	-	-	8,7	7,5	6,4
400	2	-	-	-	11,5	10,3	8,1

Фильтрационно-дренажное оттаивание может происходить при избыточном питании фильтрационного потока на всем протяжении фронта фильтрации в течение всего периода работ, а также при ограниченном питании, когда дебит источника воды в районе ведения горных работ недостаточен и воду приходится периодически закачивать в систему оттайки при помощи насосов и трубопроводов. Необходимое количество воды для оттайки мерзлых пород (ω , м³) рассчитывается по формуле:

$$\omega = \omega_{y.d} \times V_{om}, \quad (3.25)$$

где $\omega_{уд}$ – удельный расход воды, зависящий от ее начальной температуры и от льдистости горных пород – чем выше температура воды, тем меньшее значение удельного расхода принимают при расчетах и наоборот, чем выше льдистость горных пород, тем большее значение ($\omega_{уд}$) следует принимать для расчетов оттаивания. При температуре воды $t = +5$ °С и льдистости горных пород $G = 250$ кг/м³ удельный расход, необходимый для оттайки 1 м³ мерзлых пород, составляет 5...15 м³ / м³;

V_{om} – объем оттаиваемых мерзлых пород, м³

$$V_{om} = h_{om} \times l_{\phi} \times l, \quad (3.26)$$

где h_{om} – необходимая глубина оттайки, м;

l_{ϕ} – длина пути фильтрации, м;

l – длина участка оттайки (длина фронта фильтрации), м.

В зависимости от необходимого срока оттайки полигона определяется среднесуточный расход воды ($\omega_{сут}$, м³ / сут)

$$\omega_{сут} = \omega_{уд} \times V_{om} / \tau, \quad (3.27)$$

где τ – продолжительность сезона оттайки, сут.

Необходимый среднечасовой водоприток (расход) на 1 пог.м. питающей канавы ($\omega_{сут}$, м³ / (м·ч))

$$\omega_u = \omega_{сут} / (24 \times l), \quad (3.28)$$

где 24 – перевод время суток в часы.

Возможный приток воды в питающую канаву, приходящийся на 1 м ее длины (ω_{ϕ} , м³ / (м·ч)), определяется по формуле:

$$\omega_{\phi} = \omega_u / l, \quad (3.29)$$

где ω_u – дебит источника водоснабжения, м³ / ч.

Расчетный приток воды на 1 м действующего борта дренажной канавы составит [4]:

$$\omega_{\partial} = K_{\phi} \times (H_{om}^2 - H_{\partial}^2) / (2 \times l_{\phi}), \quad (3.30)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/ч;

H_{om} , H_{∂} – мощности водонасыщенного слоя соответственно около оросителя и дренажной канавы, м;

$$H_{om} = h_{om}, H_{\partial} = 0, \text{ если } h_{om} \leq Z \text{ и } H_{\partial} = h_{om} - Z, \text{ если } h_{om} > Z.$$

Если $\omega_{\phi} > \omega_n > \omega_{\partial}$, то режим питания избыточный. Однако по мере увеличения глубины талых пород расход воды возрастает, поэтому оттайка при избыточном снабжении может перейти в режим ограниченного питания. Глубина, начиная с которой режим питания изменится, может быть определена по формулам [12, 13, 14]:

$$h = \sqrt{2 \times l_{\phi} \omega_{\phi} / K_{\phi}}; \text{ если } Z > h_{om} \quad (3.31)$$

$$h = l_{\phi} \times \omega_{\phi} / (K_{\phi} \times Z) + Z / 2, \text{ если } Z < h_{om} \quad (3.32)$$

При известном коэффициенте фильтрации и заданной глубине оттаивания определяют число летних сезонов, необходимых для оттаивания мерзлых пород полигона. Однако чаще приходится сталкиваться с задачей определения глубины оттаивания мерзлых пород или с определением времени, в течение которого эта глубина будет достигнута [12].

$$\Delta h = K \times (\tau + t_e) \times \sqrt{K_{\phi} \times Z_{\partial}} / (Q_{y\partial} \times l_{\phi}), \quad (3.33)$$

где Δh – прирост глубины оттайки за время (τ), м;

$$K = 209,2, \text{ если теплота в кДж и } K = 58, \text{ если теплота в кВт} \cdot \text{ч};$$

$$Z_{\partial} = Z - \text{напор воды, м};$$

$Q_{y\partial}$ – удельные затраты теплоты, кДж / м³ – определяются по табл. 3.10 или по формуле [1]:

$$Q_{y\partial} = c_n \times \rho_n [1 - (G / \rho_l)] \times (t_1 - t_m) + G(-t_m \times c_l + t_m \times c_e + L), \quad (3.34)$$

где t_m и t_n – температуры талых и мерзлых пород, °С;

$$L - \text{скрытая теплота плавления льда, равная 334 кДж / кг};$$

$$c_n, c_l, c_e - \text{соответственно удельная теплоемкость пород, льда и}$$

ВОДЫ, $c_{п} = 0,8$; $c_{л} = 2,26$; $c_{в} = 4,187$, кДж/(кг·°C);

ρ_n, ρ_l – соответственно плотность пород и льда, ($\rho_l = 2650$ кг/м³, $\rho_n = 917$ кг/м³).

Таблица 3.10

Удельные затраты теплоты на оттаивание 1 м³ мерзлой породы [4]

Льдис- тость, кг/м ³	Началь- ная температ ура пород, °C	При конечной температуре пород, °C					
		МДж/м ³			кВт·ч/м ³		
		0	+5	+10	0	+5	+10
10	-5	12,92	22,55	32,26	3,59	6,25	8,94
50	-5	26,27	36,38	46,52	7,29	10,08	12,90
100	-5	42,96	53,59	64,22	11,92	14,86	17,81
150	-5	59,74	70,90	82,00	16,56	19,65	22,73
200	-5	76,44	88,11	99,74	21,19	24,43	27,66
250	-5	93,17	105,35	117,57	25,83	29,21	32,60
300	-5	110,60	123,63	133,26	30,67	34,28	36,95
400	-5	143,34	157,11	173,05	39,74	43,56	47,38
10	-10	22,46	32,13	41,76	6,23	8,91	11,58
50	-10	35,85	45,94	56,02	9,94	12,74	15,53
100	-10	52,55	63,18	73,64	14,57	17,51	20,41
150	-10	67,73	80,66	91,59	18,78	22,30	25,39
200	-10	86,02	97,65	109,37	23,85	27,08	30,32
250	-10	102,75	114,93	127,15	28,49	31,87	35,25
300	-10	119,45	132,17	144,89	33,12	36,65	40,17
400	-10	152,90	166,69	180,49	42,40	46,22	50,04

Используя формулу (3.33) можно определить время, в течение которого будет достигнута заданная глубина оттаивания [12]:

$$\tau = \Delta h \times Q_{yo} \times l_{\phi} / (K \times t_{\epsilon} \sqrt{K_{\phi} \times Z_o}), \quad (3.35)$$

где τ - время оттаивания всего массива мерзлых горных пород, ч.

В случае когда питание водой ограничено, расчет времени оттаивания производят послойно, разбив предварительно всю мощность оттаивания

пород на горизонтальные слои толщиной 0,5 или 1 м, в которых основные теплофизические характеристики мерзлых пород можно считать постоянными.

Для упрощения расчетов мощность слоев задается одинаковой. Результаты послойного расчета затем суммируют. Мощность элементарного слоя оттайки обозначают (Δh_{om}) и тогда для расчета времени оттайки одного слоя можно использовать формулу [4, 12]:

$$\tau_i = 0,0048 \times \Delta h_{om} \times Q_{y\partial} \times \sqrt{H_i \times l_\phi / \omega_\phi} / t_e, \quad (3.36)$$

где τ_i - время оттайки i -ого слоя, ч;

H_i – средняя мощность фильтрационного потока в период увеличения глубины оттайки на Δh_{om} . Для определения H_i может быть использована формула [9,12]:

$$H_i = 0,5 \times [h_i - Z_i + \sqrt{(h_i - Z_i)^2 + 2 \times \omega_\phi \times l_\phi / K_\phi}], \quad (3.37)$$

где h_i – средняя глубина оттайки за рассматриваемый промежуток времени (например, если расчет ведется для первого слоя мощностью 1 м – $h_i = 0,5$ м, а для слоя, залегающего на глубине от 1 до 2 м – $h_i = 1,5$ м).

Время оттаивания всех слоев суммируется и результаты расчета заносятся в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Итоговые результаты послойного расчета оттайки

№ слоя	G , кг/м ³	K_ϕ , м/ч	$Q_{y\partial}$, кДж/м ³	ω_ϕ , м ³ /(м · ч)	H_i , М	τ , ч
1	40	5	30200	0,02	0,05	80
2	80	4	50800	0,05	0,30	200
Итого:						280

Пример №4

Определить режим водоснабжения ФДО участка россыпного месторождения, если известно, что дебит источника водоснабжения $\omega_u = 200 \text{ м}^3 / \text{ч}$, коэффициент фильтрации горных пород $K_\phi = 3,8 \text{ м} / \text{ч}$, длина участка работ (длина фронта фильтрации) $l = 100 \text{ м}$, глубина воды в канавах $h_e = 0,3 \text{ м}$, глубина оттайки $h_{om} = 4,8 \text{ м}$, глубина питающей и оросительных канав соответственно $h_{нк} = h_{ок} = 0,5 \text{ м}$, поперечный уклон россыпи $i = 0,01$, температура воды $t_e = + 12,1 \text{ }^\circ\text{C}$, температура мерзлых пород $t_m = - 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$, при льдистости $G = 120 \text{ кг/м}^3$, конечная температура пород $t_m = +3,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение

1. По формуле (3.23) определяем минимальную глубину дренажной канавы

$$h_d = 2/3 \cdot 4,8 = 3,2 \text{ м.}$$

2. По табл. 3.8 определяем длину пути фильтрации (расстояние между питающей и дренажной канавами), так как $K_\phi = 3,8 \text{ м} / \text{ч} = 91,2 \text{ м} / \text{сут}$, то $l_\phi = 45 \text{ м}$.

3. По формуле (3.24) глубина дренирования составит:

$$Z_d = 3,2 + 4,5 \cdot 0,01 - 0,35 - (0,5 - 0,2) = 3,0 \text{ м.}$$

4. По формуле (3.26) определяем объем оттаиваемых горных пород:

$$V_{om} = 4,8 \cdot 45 \cdot 100 = 21600 \text{ м}^3.$$

5. Необходимое количество воды для оттайки определяем по формуле (3.25):

$$\omega = 10 \cdot 21600 = 216000 \text{ м}^3.$$

6. По табл. 3.10 определяем удельную теплоту оттаивания $Q_{yd} = 55000 \text{ кДж} / \text{м}^3$. Тогда необходимое время для оттаивания всего массива мерзлых горных пород на участке можно определить приближенно по формуле (3.35):

$$\tau = 4,8 \cdot 55000 \cdot 45 / (209,2 \cdot 12,1 \sqrt{3,8 \times 3,0}) = 1372 \text{ ч} = 57 \text{ сут.}$$

7. Необходимый среднесуточный расход воды определяем по формуле (3.27)

$$\omega_{cym} = 10 \cdot 21600 / 57 = 3789 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

8. По формуле (3.28) определяем необходимый часовой расход воды, приходящийся на 1 пог.м питающей канавы

$$\omega_n = 3789 / (24 \cdot 100) = 1,58 \text{ м}^3 / (\text{м} \cdot \text{ч}).$$

9. Величина возможного питания ФДО определяется по формуле (3.29)

$$\omega_\phi = 200 / 100 = 2,0 \text{ м}^3 / (\text{м} \cdot \text{ч}).$$

10. Необходимый приток воды с 1 погонного метра дренажной канавы определяется по формуле (3.30)

$$\omega_\partial = 3,8 [4,8^2 - (4,8 - 3,0)^2] / (2 \cdot 45) = 0,836 \text{ м}^3 / (\text{м} \cdot \text{ч}).$$

11. Т.к. $\omega_\phi > \omega_n > \omega_\partial = 2,0 > 1,58 > 0,836$, то режим питания ФДО избыточный. Учитывая, что по условию $Z < h_{от}$, можно по формуле (3.32) определить глубину оттайки, при которой режим питания изменится.

$$h = 45 \cdot 2,0 / (3,8 \cdot 3,0) + 3,0 / 2 = 9,39 \text{ м}.$$

Оттаивание мерзлых горных пород будет происходить при постоянном избытке воды, т.к. заданная глубина оттаивания значительно меньше глубины оттайки при достижении которой режим питания изменится.

Задание для самостоятельной работы №4

1. Выполнить расчет фильтрационно-дренажного оттаивания мерзлых горных пород с канавным питанием.
2. Определить режим водоснабжения (условия в табл. 3.13).
3. Выполнить анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы.

Таблица 3.13

Исходные данные для расчета фильтрационно-дренажного оттаивания с избыточным канавным питанием

№ варианта	Длина фронта фильтрации, м	Дебит источника, м ³ /ч	Длина пути фильтрации, м	Коэффициент фильтрации, м/ч	Время оттаивания пород, сут	Глубина оттаивания, м	Температура воды, °С	Содержание льда в горной породе, кг/м ³
1	110	130	20	1,50	50	4,0	5	400

2	120	140	25	1,84	60	4,0	6	350
3	90	110	30	1,26	70	4,2	7	300
4	80	100	35	1,68	80	4,4	8	250
5	100	125	40	2,10	90	4,6	9	200
6	85	100	45	2,52	100	4,8	10	150
7	125	140	50	2,94	110	4,8	11	180
8	95	105	55	3,36	120	4,6	11	200
9	110	130	60	3,78	130	4,6	12	220
10	125	150	20	1,40	140	4,4	8	250
11	115	130	30	1,55	150	4,4	9	300
12	105	115	35	2,00	160	4,2	10	350