

Лекция. «УСКОРЕНИЕ ОТТАИВАНИЯ МЕРЗЛЫХ ПОРОД И ГРУНТОВ»

Ускорение оттаивания мерзлых пород и грунтов целесообразно осуществлять на участках с площадью не более 1000 м² (табл.10).

Таблица 10. Уменьшение глубины промерзания пород и грунтов
под гидроизоляционным покрытием

Глубина зимнего промерзания, м	Месяцы		
	III	IV	V
0,5	0,30-0,40	0,65-0,70	0,90-1,00
1,0	0,25-0,30	0,50-0,60	0,85-0,90
1,5	0,20-0,25	0,45-0,50	0,75-0,80
2,0	0,15-0,20	0,40-0,45	0,70-0,80
2,5	0,10-0,15	0,40-0,50	0,70-0,80

Работы по ускорению оттаивания мерзлых пород и грунтов включают подготовку поверхности массива горных пород и пленочного покрытия, настилку его на поверхность и эксплуатацию последнего до момента оттаивания пород и грунтов на заданную глубину [11].

Подготовка поверхности к укладке гидроизоляционного ковра категорически исключает работы по выжиганию сухой травы на поверхности земли. Изготовление полотнищ полимерной пленки следует производить в закрытых помещениях при температуре не ниже +10 °С путем сваривания лент пленочного материала в полотнища. Оптимальные размеры полотнища приведены в табл.11.

Таблица 11. Рекомендуемые размеры полотнищ полимерной пленки

Ширина ленты, м	Длина полотнища, м	Ширина шва, м	Размеры полотнища, м	Площадь, м ²
1,25	20	2	6,10 x 20	122
1,25	30	2	5,90 x 30	177
3,00	30	2	5,96 x 30	179

Сваривание пленки обеспечивается горячим электрическим утюгом с терморегулятором, нагретым до температуры 100 - 130 °С, но не более 180 °С. После сваривания производится укладка и упаковка полотнищ.

Доставка полотнищ на полигон включает их транспортировку и раскладку по коротким сторонам укрываемых участков. При необходимости устройства воздушного зазора между поверхностью горных пород и пленкой подготовительные работы включают дополнительные операции по устройству на поверхности горных пород и грунтов земляных валиков для присыпки пленочного покрытия.

Допускается применение дощатых ребер высотой 0,10-0,15 м, а также завоз грунта для присыпки.

Перед настилкой полотнищ целесообразно поверхность мерзлых пород и грунтов полить водой. Укрытие поверхности пленкой также целесообразно производить после перемены радиационного баланса поверхности земли с отрицательного на положительный знак и при температуре не ниже +5 °С. Обычно такие условия складываются в дневные часы суток второй-третьей декады марта. Настилку пленки начинают с наветренной стороны вдоль полигона. Работы выполняются бригадой из четырех человек. У полотнища освобождают край длиной 1,0-1,5 м, который по всей длине присыпается грунтом или породой на ширину не менее 0,4-0,5 м. Высота присыпки должна быть не менее 0,08-0,10 м. Она защищается от

выдувания и разрушения щебеночной наброской в один слой или укладкой на нее горбыля.

После закрепления края, полотнище из полимерной пленки разворачивают на длину не более 5 м, выравнивают и одновременно выполняют присыпку краев по его длинным сторонам. На расстоянии 10-15 см от краев длинных сторон полотнища, напротив друг друга устанавливаются штыри, между которыми над пленкой натягивается струна из синтетической нити или из тонкой проволоки. Расстояние между струной и пленкой должно быть не более 5 см. После этого полотнище разворачивается еще на 4-5 м и операции по присыпке краев и установке струны повторяются. Работы по укрытию поверхности пород и грунтов полотнищем из полимерной пленки завершаются присыпкой его свободного края. Застилка соседних участков производится аналогично.

Категорически запрещается для защиты пленочного полотна производить присыпку его песком по всей площади полотнища. В местах установки термометрических труб в пленочном покрытии вырезаются отверстия диаметром, превышающим диаметр трубы не более чем на 5 см. После настила полотнища устраиваются проходы к термометрическим трубам.

Жесткое крепление пленочного покрытия к подстилающим породам, а также локальные тяжелые пригрузки на нем не допускаются, так как в результате температурных деформаций пленочный покров разрушается в этих местах из-за различий деформационных свойств пленки в продольном и поперечном направлениях полотнища. Эксплуатация пленочного покрытия с нарушением его сплошности неэффективна. В случае повреждения полотнища при транспортировке, настилке или в период эксплуатации, образовавшиеся в нем порывы следует тщательно заклеить клеящей лентой, или наложить заплату с помощью клеящей ленты.

Для защиты пленочного покрова от разрушения огнем (при степном пожаре) вокруг полигона устраивается огнезащитная полоса шириной не менее 1,0 м. Полоса может быть выполнена из насыпанного на поверхность земли грунта без сухих растительных остатков, либо путем срезки почвенного слоя с сухим травостоем. Допускается использование присыпки пленочного покрытия, в качестве огнезащитной полосы. Однако, при этом ширина присыпки должна быть увеличена до 1,0 м.

Для ускорения оттаивания пород и грунтов целесообразно сочетать пленочное покрытие с прорезанными на поверхности земли щелями глубиной 0,7-1,0 м. В этом случае размеры полотна принимаются 3 x 20 м. Каждая лента укрывает не более чем одну щель. Расстояние между осями параллельных щелей должно быть не более 3 м. Щели следует располагать в меридиальном направлении, то есть с севера на юг.

После прорезки щели целесообразно сохранять земляные валики на обеих ее бровках. Настилку полотна в этом случае производят вдоль, либо поперек щели с одновременной присыпкой краев и установкой струн. В продольном стыке полотна укладываются внахлестку, с перекрытием шва не менее чем на 20 см. Допускается приклейка на клеящую ленту полосы из полимерной пленки к одному из полотен вдоль всего шва. При этом ширина нахлестки в обе стороны от шва должна быть не менее 0,2 м. Верхний свободный край полотна покрывается настилом для прохода наблюдателя вдоль полигона. Устройство проходов в перпендикулярном направлении осей щелей допускается лишь по контуру полигона. Демонтаж полотна производится при температуре не ниже + 10 °С и при скорости ветра не более 5 м/с. Предварительно снимаются удерживающие струны и освобождаются края полотна от присыпки. Полотно расправляется и наматывается короткой стороной на крутящуюся вокруг своей продольной оси бобину, установленную с наветренной стороны полигона. При этом ширина бобины должна быть больше ширины полотна на 10-15 см.

Повторное использование полотна допускается лишь при условии сохранения пленкой основных физико-механических характеристик.

2.4. Предохранение горных пород и грунтов от сезонного промерзания

Предохранение горных пород и грунтов от сезонного промерзания производится следующими способами [4]: затопление поверхности предохраняемых участков водой; создание воздушно-ледяных покрытий; рыхление и осушение поверхностного слоя горных пород; накопление снежного покрова путем снегозадержания; применение искусственных

покрытий из пенополистирольных щитов; покрытие водо-воздушными и быстротвердеющими пенами предохраняемых участков. Предохранение пород и грунтов от промерзания целесообразно осуществлять на площадях более 500 м². Оно обеспечивает не только необходимый объем подготовки мерзлых пород к разработке, но и позволяет существенно увеличить продолжительность сезона ведения горных и строительных работ, а также время эксплуатации рабочего оборудования [11].

Выбор способа предохранения пород и грунтов от промерзания производится на основании климатических, мерзлотных, гидрогеологических характеристик, а также с учетом рельефа поверхности, уклона, размеров предохраняемого участка и прогноза годовых и многолетних изменений уровней грунтовых вод.

До начала промерзания с поверхности утепляемого полигона удаляются локальные скопления воды, а проточные воды отводятся каналами за пределы полигона и сбрасываются в ливневую канализацию или по рельефу земной поверхности в накопитель сточных вод. Одновременно производится уборка валунов, пней, выравнивание поверхности земли, разметка и обозначение на местности подъездных путей для транспорта, доставляющего теплоизоляционный материал на полигон.

Инженерно-мелиоративные работы следует производить с минимальным нарушением естественной поверхности и почвенного покрова. При этом при производстве земляных работ целесообразно на склонах, а именно, с нагорной стороны котлованов устраивать водоотводную канаву с уклоном не менее 5% для самотечного сброса воды.

Для предохранения пород и грунтов от промерзания рекомендуется использовать переносные щиты площадью 2-3 м² и толщиной 15 см. из пенополистирола или пенопласта. Щиты изготавливают из гранулированного вспенивающегося полистирола (МРТУ-6-05-1019-66) на специальной установке МФП-3. Они предназначены для многократного использования. Следует учитывать срок службы таких щитов. Как правило, срок службы их не превышает 7-8 лет.

Настилка щитов выполняется вручную, звеном из двух человек. Максимальная сменная производительность такого звена достигает 1000 м². Превышение соседних щитов друг над другом должно быть не более ¼ их

толщины. Утепляющий покров по краям обваловывают и присыпают породой или грунтом. Ширина присыпки должна назначаться не менее 0,5 м для недопущения возгорания. Сверху теплоизоляционное покрытие застилают пленкой, которая с одной стороны служит гидроизоляционным ковром для теплоизолятора, а с другой – удерживает его в проектном положении. В районах с дефицитом зимних атмосферных осадков допускается не применять пленку. В качестве элемента, удерживающего покрытие, целесообразно использовать тонкую стальную проволоку (или синтетическую нить), натянутую над покрытием и обеими концами закрепленную на анкерах, расположенных по контуру покрытия (штырях, вмороженных или вбитых в породу, на рейках или брусках, уложенных на поверхность породы на противоположных краях покрытия). При площади предохраняемой поверхности до 200 м² или для разработки породы в траншеях, теплоизоляционный покров допускается выполнять из минеральной ваты и других эффективных теплоизоляционных материалов. Не допускается укладывать утеплитель из минеральной ваты непосредственно на поверхность горных пород и грунтов. До укладки минеральной ваты поверхность пород должна быть укрыта гидроизоляционным материалом – полимерной пленкой. Укладка минеральной ваты непосредственно на поверхность пород допускается лишь в случае, если в его верхнем слое от поверхности и до глубины не менее 0,5 м влажность не превышает 10%.

Минераловатный утеплитель следует укрывать сплошным гидроизоляционным ковром, во избежание увлажнения теплоизоляционного материала. При этом необходимо предусмотреть мероприятия по защите теплоизоляционного покрытия от разрушения ветром, или от механического уплотнения.

Укладку утеплителя следует производить не ранее третьей декады августа и не позднее второй декады сентября с целью консервации максимального количества тепла в слое сезонного промерзания (оттаивания). При необходимости предохранения пород и грунтов от промерзания в течение всей зимы следует удалять утеплитель с поверхности земли в третьей декаде марта. Эти работы производят не позднее первой декады апреля, так как с этого времени утеплитель выполняет нежелательную функцию – замедляет нагревание и оттаивание мерзлых пород и грунтов. Для предохранения горных пород и грунтов от промерзания

в зимнее время при создании траншей шириной более 2 м, ширина утеплителя на поверхности принимается в два раза больше нормативной глубины промерзания. Для проходки траншей шириной менее 1 м и глубиной менее 2 м предохранение пород и грунтов от промерзания целесообразно лишь в первую половину зимы, то есть до января.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТТАИВАНИЯ МЕРЗЛЫХ ГАЛЕЧНИКОВ»

ПРИМЕР 5. Определить время оттаивания мерзлых галечников при ограниченном режиме питания, если глубина дренирования и глубина оттайки $Z_d = h_{от} = 4$ м. Мощность каждого оттаиваемого слоя $\Delta h_{от} = 1$ м. Температура подаваемой в канаву воды $t_b = +5$ °С. Длина пути фильтрации $l_\phi = 20$ м. Температура талых пород $t_T = +2,3$ °С. Коэффициент фильтрации соответственно для 1,2,3,4 слоев равен $K_{\phi 1} = 3,0$ м/ч; $K_{\phi 2} = 2,5$ м/ч; $K_{\phi 3} = 2,0$ м/ч; $K_{\phi 4} = 1,0$ м/ч. Льдистость горных пород в 1,2,3,4 слое соответственно равна $G_1 = 80$ кг/м³; $G_2 = 100$ кг/м³; $G_3 = 150$ кг/м³; $G_4 = 200$ кг/м³; Температура мерзлых пород – 5 °С.

Решение

1. Определяем удельные затраты теплоты для оттаивания 1 м³ мерзлых пород по табл.19.

Для 1 слоя $Q_{уд1} = 40000$ кДж/м³; для 2 слоя $Q_{уд2} = 48286$ кДж/м³; для 3 слоя $Q_{уд3} = 65320$ кДж/м³; для 4 слоя $Q_{уд4} = 82275$ кДж/м³.

2. Определяем необходимый приток воды в дренажную выработку по формуле (70):

$$\omega_{д1} = 3,0 (1^2 - 0^2) / (2 \cdot 20) = 0,075 \text{ м}^3/(\text{м ч});$$

$$\omega_{д2} = 2,5 (2^2 - 0^2) / (2 \cdot 20) = 0,25 \text{ м}^3/(\text{м ч});$$

$$\omega_{д3} = 2,0 (3^2 - 0^2) / (2 \cdot 20) = 0,45 \text{ м}^3/(\text{м ч});$$

$$\omega_{д4} = 1,0 (4^2 - 0^2) / (2 \cdot 20) = 0,40 \text{ м}^3/(\text{м ч});$$

3. Определяем среднюю мощность фильтрационного потока в период увеличения глубины оттайки на $\Delta h_{от}$ по формуле (77).

$$H_{i1} = 0,5 [0,5 - 4 + \sqrt{(0,5 - 4)^2 + 2 \cdot 0,075 \cdot 20/3,0}] = 0,070 \text{ м};$$

$$H_{i2} = 0,5 [1,5 - 4 + \sqrt{(1,5 - 4)^2 + 2 \cdot 0,250 \cdot 20/2,5}] = 0,350 \text{ м};$$

$$H_{i3} = 0,5 [2,5 - 4 + \sqrt{(2,5 - 4)^2 + 2 \cdot 0,450 \cdot 20/2,0}] = 0,927 \text{ м};$$

$$H_{i4} = 0,5 [3,5 - 4 + \sqrt{(3,5 - 4)^2 + 2 \cdot 0,400 \cdot 20/1,0}] = 1,765 \text{ м}.$$

4. Время оттайки каждого слоя составит (формула 76)

$$\tau_{i1} = 0,0048 \cdot 1 \cdot 40000 \cdot \sqrt{0,07 \cdot 20 / 0,075} / 5 = 165,0 \text{ ч};$$

$$\tau_{i2} = 0,0048 \cdot 1 \cdot 48276 \cdot \sqrt{0,35 \cdot 20 / 0,25} / 5 = 245,0 \text{ ч};$$

$$\tau_{i3} = 0,0048 \cdot 1 \cdot 65320 \cdot \sqrt{0,927 \cdot 20 / 0,45} / 5 = 402,0 \text{ ч};$$

$$\tau_{i4} = 0,0048 \cdot 1 \cdot 82285 \cdot \sqrt{1,765 \cdot 20 / 0,40} / 5 = 742,0 \text{ ч};$$

5. Общее время оттайки всех слоев составит $\tau_{общ} = 1554 / 24 = 65$ суток.

Таблица 25. Результаты расчета фильтрационно-дренажного оттаивания с канавным питанием фильтрационного потока

№ слоя	G, кг/м ³	K _ф , м/ч	Q _{уд} , кДж/м ³	Ω _д , м ³ /(м · ч)	H _i , м	τ, ч
--------	-------------------------	-------------------------	---	---	-----------------------	---------

1	80	3,0	40000	0,075	0,070	165
2	100	2,5	48275	0,250	0,350	245
3	150	2,0	65320	0,450	0,927	402
4	200	1,0	82275	0,400	1,789	742
Итого						1554

ЗАДАЧА №4

Выполнить расчет фильтрационно-дренажного оттаивания мерзлых горных пород с канавным питанием.

1.Определить режим водоснабжения (условия в табл.26).

2.Определить время оттаивания мерзлых галечников с песчаным заполнителем при ограниченном режиме питания, если $Z = h_{от} = 4$ м. Мощность каждого слоя $h_i = 1$ м (условия в табл.27). Длина пути фильтрации и температура воды принимается по табл.26.

3.Выполнить анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы.

Таблица 26. 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

Таблица 27. Исходные данные для расчета фильтрационно-дренажного оттаивания мерзлых пород с ограниченным канавным питанием

№ ва- ри- ан- та	Температура породы, °С		Коэффициент фильтрации породы, м/ч				Содержание льда в породе, кг/м ³			
	нача- льная	ко- неч- ная	1 слой	2 слой	3 слой	4 слой	1 слой	2 слой	3 слой	4 слой
1	-2	+3	3,0	2,5	2,0	1,6	80	100	150	200
2	-2	+3	2,7	2,3	2,3	1,5	100	200	300	400

3	-3	+3	2,5	2,0	1,5	1,4	90	120	200	300
4	-3	+5	2,6	2,2	2,0	1,7	110	150	250	350
5	-4	+5	3,0	2,0	1,7	1,6	80	100	200	250
6	-4	+5	2,8	2,5	2,1	1,5	70	90	150	200
7	-5	+8	2,4	2,1	1,5	1,8	100	140	240	300
8	-5	+10	2,9	1,5	2,0	1,5	60	110	300	400
9	-6	+10	3,0	2,0	2,4	1,9	90	150	250	350
10	-6	+5	2,5	2,4	1,5	1,6	50	130	200	200
11	-7	+5	2,7	2,1	2,2	1,8	90	170	280	300
12	-10	+8	2,9	2,2	2,5	1,7	70	100	220	250

Лекция. Предупреждение от смерзания и размораживание пород и грунтов с помощью химических реагентов

Использование химических реагентов, предупреждающих смерзание пород и грунтов, целесообразно для производства земляных работ в слабофильтрующих породах и грунтах в первую половину зимы (с октября по февраль).

В качестве химического реагента рекомендуется использовать растворы:

- калий хлористый или калийные соли;
- калий фтористый или бифторид калия;
- натрий фтористый;
- калий фтористый и натрий фтористый в отношениях 1:2;
- натрий хлористый;
- кальций хлористый, а также хлоридные соли кальция и магния, аммиак, калиевое и натриевое жидкое стекло.

Калий хлористый (KCl) – мелкокристаллическая соль, хорошо растворимая в воде (ГОСТ 4568 – 65).

Калиевые соли, хорошо растворимые в воде, в сухом состоянии представляют собой смесь хлористого калия (KCl) с сильвинитом ($m \cdot KCl \cdot n \cdot NaCl$), каинитом ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3 H_2O$) с примесью NaCl (СТУ 43 – 193-61).

Калий фтористый (KF), калий бифторид (KHF₂) и натрий фтористый NaF мелко- и среднезернистые соли, растворимые в воде.

Калиевое и натриевое жидкое стекло – вязкие водные растворы силиката калия (K₂O · n SiO₂) и силиката натрия (Na₂O · n SiO₂) с удельным весом 1,45-1,50 г/см³ – применяются с модулем 2,5-3,5.

Химические реагенты должны отвечать основным требованиям:

- отсутствие коррозионного воздействия на средства механизации работ, транспортные средства, строительные конструкции;
- удобства перевозки, хранения и производственного применения с использованием табельных (серийных) средств механизации работ;
- нетоксичность, отсутствие вредного воздействия на окружающую среду, взрыво-пожаробезопасность;
- сохранение физико-механических свойств при длительном хранении (не менее 2-х лет).

Хлористые соли относительно дешевы и доступны, но обладают повышенной коррозионной агрессивностью к металлам (в том числе и к рабочим органам машин и механизмов).

Технические азотнокислый кальций и азотнокислый магний, выпускаемые широко на заводах Министерства химической промышленности, не оказывают значительного коррозионного воздействия на черные металлы и строительные материалы; при относительно невысокой стоимости азотнокислый кальций является эффективным противоморозным реагентом и может найти широкое применение в строительстве.

Нитрит и нитрит натрия, выпускаемые промышленностью в широких масштабах, можно применять для обработки всех видов пород и грунтов.

Расчет количества перечисленных реагентов, необходимых для обработки пород и грунтов производится по формуле:

$$K_p = S_n \cdot h \cdot \gamma_o \cdot m_p, \quad (40)$$

где S_n – площадь обрабатываемых пород и грунтов, м²; h – глубина обработки пород и грунтов, м; γ_o – объемный вес скелета пород и грунтов, кг/м³; m_p – расход реагента, кг.

$$m_p = M \cdot \mathcal{E} \cdot E \cdot 10^6 / A_b, \quad (41)$$

где M – молекулярный вес, вносимой соли, г-мол; $\mathcal{E}$ – эквивалентный вес катиона, применяемой соли, мг; E – емкость поглощения грунта, м/экв на 1 кг; A_b – атомный вес катиона этой соли, г.

Концентрация растворов хлористого натрия или хлористого кальция определяется в зависимости от расчетной температуры, при которой порода или грунт не должны замерзать:

$$C_t = \alpha \cdot t_{pz}^n, \quad (42)$$

где t_{pz} – расчетная температура замерзания породного или грунтового раствора, °C; α , n – коэффициенты, зависящие от расчетной температуры. Они принимаются по табл.12.

Таблица 12. Коэффициенты для определения концентрации растворов хлористого натрия и хлористого калия

Температура замерзания пород и грунтов	α		n	
	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂
0...-4	-0,0167	-0,0230	1,00	0,92
-4...-14	-0,0210	-0,0330	0,86	0,68
-14...-21	-0,0450	-0,0370	0,59	0,65
-21...-32	-	-0,0510	-	0,64

Относительное содержание чистой соли X_c в 1 г раствора выражается отношением:

$$X_c = C_t / \gamma_p, \quad (43)$$

где γ_p – плотность раствора, г/см³, для NaCl - $\gamma_p = 1...0,65$, для CaCl₂ - $\gamma_p = 1...0,78$.

Количество теплообразующего реагента допускается принимать по результатам опытных данных: - сплав хлоридов (в сухом виде) – не менее 50...70 г/м³.

При использовании хлористого натрия расход соли принимается в зависимости от влажности пород и грунтов в пределах сезонно мерзлого слоя (табл.13).

Таблица 13. Расход соли хлористого натрия при оттаивании сезонно мерзлого слоя горных пород

Средняя влажность пород и грунтов по глубине сезонномерзлого слоя	0,08	0,08- 0,10	0,10- 0,12	0,12- 0,14	0,14- 0,16
Расход соли, кг/м ²	10	12	14	15	16

Перечисленные реагенты, за исключением калиевого и натриевого жидкого стекла и хлоридов кальция и натрия, применяются в виде сухих солей.

Использование химических реагентов для ускорения оттаивания мерзлых пород и грунтов (для размораживания) рекомендуется для производства земляных работ в фильтрующих породах и грунтах во вторую

половину зимы (с февраля по середину апреля). Размораживание пород и грунтов экономически целесообразно до глубины 2,0 м и при разработке небольших, разбросанных по площади котлованов, сложенных породами и грунтами со степенью влажности менее 0,8.

Введение в породу или грунт химических реагентов рекомендуется в виде рассолов через канавы и щели параллельного или взаимно перпендикулярного направления, а также через морозобойные трещины естественного или искусственного происхождения. До введения в породу или грунт рассол необходимо подогреть до температуры +40...50 °С. Канавы и щели необходимо выполнять в предзимний период в талых породах и грунтах на месте проектируемого котлована и укрыть теплоизоляционным материалом до заполнения их химическим реагентом. Расстояние между соседними канавами или щелями не должно превышать 2,5...3,0 м.

На участках, где отсутствуют морозобойные трещины до разлива соляного раствора, поверхность земли следует разбить на карты земляными валиками. Каждая карта должна заливаться рассолом по всей площади за 1 сутки.

Ориентировочную продолжительность размораживания пород и грунтов с помощью растворов поваренной соли максимальной концентрации 200...300 кг/м³, можно принимать по табл.14.

Таблица 14. Продолжительность размораживания пород и грунтов с помощью растворов поваренной соли

Вид породы или грунта	Гравелистые породы	Пески	Супеси
Продолжительность размораживания, сут	3-4	7-10	12-18

Для размораживания мелкодисперсных пород целесообразно использовать растворы с добавкой трех хлорного железа. Основные физико-химические свойства противоморозных химических реагентов, их технические и производственные характеристики приведены в табл.15.

При производстве работ по размораживанию мерзлых пород и грунтов естественного сложения обработка поверхности земли концентрированными водными растворами химических реагентов применяется для хорошо фильтрующих пород и грунтов с коэффициентом фильтрации $K_f > 1,0$ м/сут. Она производится непосредственно с наступлением устойчивых отрицательных температур; грунты и породы с коэффициентом фильтрации $K_f = 1,0...10$ м/сут обрабатываются до начала их промерзания. Растворы разливаются поливо-моечными машинами КПМ распыленной струей за 2...4 приема (2...3 прохода по одному следу в один прием) с интервалом 1...2 суток на песчаных и 2...3 суток на суглинистых породах и грунтах.

Таблица 15. Физико-химические свойства противоморозных химических реагентов

Реагенты	Растворимость в воде, кг/м ³ (при температуре)		Эвтактика		ГОСТ
	+ 20 °С	+80 °С	коцетрац ия, %	темпера тура, °С	
Кальций хлористый	5360	-	27	-55	4141-06
Антигололедный низкотемпературный антифриз АНТА	1200	4000	33	-55	-
Натрий нитрит (натрий азотно-кислый)	829	1600	27	-20	19906-74
Натрий нитрат (нитрит азотно-кислый, натриевая селитра)	880	1700	39	-18	828-68
Нитрит-нитрат натрия	1280	2240	47	-30,9	-
Кальцит натрит (кальций азотно- кислый, кальциевая селитра)	1850	3546	43	-29	МРТУ 6-03- 195-67
Мочевина (карбамид)	1080	3720	33	-12	2081-75
Мочевина кальциевая селитра	1470	3400	49	-25	-

Траншеи нарезаются цепными траншейными экскаваторами или баровыми машинами через 10...15 м перпендикулярно уклонам местности на глубину не более половины глубины промерзания пород и грунтов; заливаются траншеи растворами реагентов за 1...2 недели до наступления устойчивых отрицательных температур.

Связные породы и грунты (тяжелые супеси, суглинки) обрабатываются за 3...5 недель, а мало связные (пески, легкие супеси) – за 1...2 недели до наступления устойчивых отрицательных температур. На связных тяжелых суглинках и глинах применение этого способа является малоэффективным.

Основным способом предотвращения смерзания пород и грунтов естественного сложения (в том числе и вскрытых участков карьеров) является комбинированная обработка их путем россыпи реагентов по поверхности с последующей поливкой обработанного участка, концентрированными водными растворами этих же реагентов или небольшим количеством воды за 2...3 приема с перерывами в 1...2 часа для впитывания в породу или грунт. Этот способ может применяться для всех

видов пород и грунтов, если до наступления устойчивых отрицательных температур не ожидается выпадения атмосферных осадков.

Связные породы и грунты обрабатываются за 2...4 недели до начала промерзания, а мало связные и несвязные – с начала промерзания.

Подготовленный участок обрабатывают в такой последовательности:

- рассыпают ровным слоем по поверхности участка сухой реагент (80% от общей расчетной нормы расхода) с помощью распределительных машин (автомобильных пескорозбрызгивателей, сельскохозяйственных распределителей минеральных удобрений) за несколько проходов по одному следу до достижения расчетной нормы расхода (в стесненных условиях распределение реагентов выполняют вручную лопатами);

- поливку сухого слоя реагента производят его концентрированным раствором или водой из комбинированных поливомоечных машин КПМ, из прицепных цистерн, а в стесненных условиях – из ручных леек;

- расход реагента для приготовления растворов должен составлять 20% от общей расчетной нормы.

Просачиваясь постепенно в породу и грунт, реагент растворяется в грунтовой воде образуя низкотемпературный грунтовой раствор, препятствующий впоследствии промерзанию пород и грунтов.

После обработки участка реагентом необходимо принять меры по предотвращению повреждения его поверхности колесами или гусеницами машин и механизмов. Снег с обработанного реагентами участка счищают лишь непосредственно перед началом земляных работ.

При больших объемах земляных работ (карьеры, большие выемки, котлованы и т.п.) кроме способов, указанных ранее, можно применять следующие вспомогательные приемы:

- россыпь сухих реагентов по поверхности с последующей вспашкой на глубину 15...20 см;

- предварительную вспашку на глубину до 15...20 см. с последующим равномерным распределением сухого реагента или же поливом концентрированного раствора;

- предварительную нарезку борозд с заливкой в них концентрированных растворов реагентов;

- засоление пород и грунтов путем заливки рассола в предварительно устроенные траншеи.

Траншеи нарезаются цепными траншейными экскаваторами или баровыми машинами через 1,0...1,5 м перпендикулярно уклонам местности на глубину не более половины глубины промерзания пород и грунтов; заливаются траншеи растворами реагентов за 1...2 недели до наступления устойчивых отрицательных температур.

При производстве работ по размораживанию мерзлых пород и грунтов их обработку следует производить механизированным способом. За один проход распределительные машины обеспечивают плотность распределения реагента только до 250...300 г/м², поэтому большой расход реагента обеспечивают за счет повторных проходов этих машин.

Способ распределения сухого реагента по поверхности целесообразно применять для всех пород и грунтов (кроме тяжелых суглинков и глин, а также пород имеющих степень влажности 0,7) в период оттепелей, когда температура наружного воздуха не опускается ниже минус 7,0 °С, а днем поднимается до 0 °С и на поверхности участка имеется небольшой слой (1...2 см) снега. Такие условия чаще всего бывают в начале весны, когда породы промерзают на максимальную глубину. Время полного размораживания пород и грунтов при промерзании до 1,0 м в среднем составляет от 2 до 5 суток.

Для предотвращения стекания растворов реагента с обрабатываемого участка по его контуру необходимо создать валик из утрамбованного грунта ли пород высотой 0,10 м и шириной 0,4...0,5 м. На больших площадях через 1,5...2,0 м следует устраивать также промежуточные валики поперек уклона местности. Обваловку целесообразно выполнять из оттаявшего верхнего слоя пород после первого разлива реагента.

Поверхностную обработку мерзлых пород и грунтов концентрированными растворами реагентов на подготовленных участках выполняют за 2...3 приема с перерывами, достаточными для полного проникновения раствора в породу или грунт. Перерывы последующими разливами растворов составляют 5...6 часов на супесчаных грунтах (породах) и 1...2 суток – на суглинках и глинах.

Раствор реагента распределяют равномерно по всей площади участков с помощью комбинированных поливочных машин (КПМ), а также из прицепных цистерн шлангами с распылительными насадками или через распределительные трубы с отверстиями. В зависимости от местных условий: вида, объема выполняемых земляных работ, наличия соответствующих механизмов (буровые, баровые, рыхлители и т.п.), - верхний слой мерзлых пород и грунтов готовят к пропитке одним из следующих способов:

- рыхление (вспашка), которое выполняют на глубину 10...15 см на ровных и имеющих небольшие уклоны участках местности;
- наклепка поверхности, ее производят клин-молотом на горизонтальных участках местности, а расстояния между ямками выбирают в зависимости от типа пород и грунтов (0,7...1,0 м);
- нарезка траншей: выполняют баровой или дискофрезерной машиной вдоль участка параллельно уклону местности. Расстояние между траншеями назначают 0,7...1,0 м, а глубину - равной половине глубины промерзания пород;
- бурение скважин: их глубина равна половине мощности промерзающего слоя, расстояние между ними на глинах – 0,9...1,0 м, на суглинках – 1,0...1,5 м.

Разлив реагентов по подготовленной поверхности, а также заливку траншей и скважин выполняют за 2...3 приема. Повторный разлив реагента производят только после впитывания раствора от предыдущей обработки.

При проведении работ с химическими противоморозными реагентами необходимо соблюдать меры по технике безопасности.

Перевозку химических реагентов осуществляют железнодорожным и автомобильным транспортом с обеспечением защиты их от непосредственного воздействия атмосферных осадков. При погрузочно-разгрузочных работах принимают меры по обеспечению сохранения тары от механических повреждений и предотвращению потерь реагента. Погрузочно-разгрузочные операции в зависимости от конкретных условий складирования можно выполнять ленточными транспортерами или автопогрузчиками.

Реагенты, расфасованные в мешки, хранят в закрытых не отапливаемых складах. Во избежание слеживаемости реагента высота штабелей с реагентом должна быть не более 1,5 м. Временное хранение реагентов (1...2 месяца) допустимо под навесами или на открытом воздухе в штабелях высотой до 1,5 м с укрытием со всех сторон водонепроницаемыми материалами (брезентом, полиэтиленовой пленкой и др.). Во всех случаях реагент следует укладывать на стеллажи или подмости, приподнятые над землей не менее чем на 10 см с обеспечением циркуляции воздуха под ними.

При длительном хранении, а также в случае некачественного его изготовления, химические реагенты могут терять свои размораживающие свойства. В связи с этим рекомендуется регулярно (не реже 2 раза в год) отбирать пробы реагентов, сдавать их в химическую лабораторию и проверять на соответствие техническим условиям и ГОСТам.

При работе с противоморозными химическими реагентами необходимо соблюдать правила техники безопасности. Общее вредное действие данных реагентов возможно только при попадании внутрь организма значительных доз. Хлорсодержащие соединения обладают местным раздражающим действием, вызывающим катар слизистых оболочек носа и глаз, раздражение кожных покровов.

При хранении противоморозных химических реагентов следует учитывать влажность воздуха, так как большинство из них (хлорид кальция, АНТА, нитрат кальция и др.) являются гигроскопическими веществами, а реакция поглощения воды веществом сопровождается значительным выделением тепла, что приводит к испарениям. Поэтому, необходимо, чтобы складские помещения хорошо проветривались, а упаковка реагентов была герметичной. Если реагенты хранятся в бунтах (навалом), следует во избежание реакции влагопоглощения, их накрыть полиэтиленовой пленкой и над бунтами соорудить навес, исключая прямой попадание атмосферной влаги на реагенты.

При работе с переохлажденными растворами реагентов (концентрированными растворами), во избежание обмораживания открытых частей тела, следует соблюдать меры предосторожности. При всех видах работы с противоморозными реагентами, а также при хранении и транспортировке их необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты (резиновые сапоги, калоши и др.).

Все применяемые противоморозные химические реагенты являются пожаро- и взрывобезопасными (за исключением нитрит натрия, который при длительном хранении и неблагоприятных условиях выделяет окислы азота, образующие с воздухом взрывоопасные смеси).

После работы с противоморозными реагентами предусматривается обмывание загрязненных частей тела обильным количеством воды (лучше теплой) и обработка открытых частей тела защитными мазями.

3.5. Расчет фильтрационно-дренажной оттайки с дождевальным питанием фильтрационного потока

Оттаивание мерзлых горных пород при дождевально- фильтрационном способе питания фильтрационного потока происходит за счет энергии солнечной радиации, аккумулированной водой естественных водотоков.

Дождевание применяется при разработке мерзлых россыпных месторождений драгами, для подготовки горных пород, находящихся в естественном сложении, к драгированию, а также при разработке мерзлых горных пород, выложенных в навалы или разрыхленных с помощью взрывчатых веществ, при экскаваторном, гидравлическом и гидромеханизированном способах разработки.

В настоящее время дождевально-фильтрационная оттайка широко применяется при оттаивании отвалов мерзлых пород, а также узких целиковых площадей шириной до 40 м, прилегающих к отработкам прошлых лет.

Своевременное и правильно организованное дождевание мерзлых пород с высоким коэффициентом фильтрации позволяет частично или полностью заменить оттайку сезонно-промерзшего слоя горных пород паром или горячей водой.

Благоприятные условия для применения дождевальной оттайки создаются, когда в мерзлых породах есть свободные поры, т.е. объем льда в породе меньше суммарного объема пор. При этом максимальный эффект оттаивания горных пород дождеванием происходит, когда поры заполнены льдом не более чем на 60 % [12], т.е.

$$G_n = G / (\rho_l \times n) \leq 0,6, \quad (3.39)$$

где G_n – степень заполнения пор льдом, доли ед.;

G – льдистость, кг / м³;

ρ_l – плотность льда ($\rho_l = 920$ кг / м³);

n – пористость породы, доли ед.

Пористость пород определяется по формуле [12]

$$n = 1 - \{ \rho_{cp} / [\rho_n \times (1 + W)] \}, \quad (3.40)$$

Учитывая льдистость мерзлых пород, можно определить объем льда в порах породы [4]

$$V_{\text{л}} = 0,00109 \times G. \quad (3.41)$$

Мерзлые горные породы при определенном сочетании температуры, пористости и льдистости становятся полностью водонепроницаемыми, поэтому в этом случае применение дождевальной оттайки, как правило, становится малоэффективным (табл. 3.15) [12, 14].

Таблица 3.15

Критические температуры мерзлых пород, при которых они становятся водонепроницаемыми

Льдистость, кг / м ³	Критическая температура t_m , °С, при пористости горных пород n , доли ед.			
	0,22	0,25	0,30	0,35
140	- 5,3	- 9,6	- 17,3	- 25,9
160	- 2,2	- 6,0	-13,2	- 21,4
180	0	- 2,0	- 9,6	- 17,3
200	-	0	-6,0	- 13,2
220	-	-	-2,0	-9,6
240	-	-	0	-6,0
260	-	-	-	- 2,0
280	-	-	-	0

Качество фильтрационно-дождевального оттаивания зависит от норм полива – количества воды, которое необходимо разбрызгивать на 1 м² площади оттайки в единицу времени.

Нормы полива зависят от водопроницаемости горных пород и поэтому меняются в зависимости от коэффициента фильтрации (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Нормы полива при дождевальном оттаивании мерзлых пород

Коэффициент фильтрации пород K_f , м / ч	Нормы полива ω_o , м ³ / (м ² · ч)	
	водонепроницаемые породы	водопроницаемые породы
До 2,0	0,02-0,04	0,080
От 2,0 до 5,0	0,04-0,07	0,080-0,090
От 5,0 до 10,0	0,07-0,10	0,090-0,095
Более 10,0	0,10	0,095-0,100

Для водонепроницаемых горных пород в мерзлом состоянии норма полива $\omega_o = 0,02 \dots 0,10$ м³ / (м² · ч), а для водопроницаемых – $\omega_o = 0,08 \dots 0,10$ м³ / (м² · ч).

При определении температуры воды, подаваемой на орошение, следует учитывать ее дополнительный нагрев за счет внешнего теплообмена – солнечной радиации, тепла атмосферного воздуха, а также тепла аккумулированного верхней частью талого поверхностного слоя.

Окончательное значение температуры воды, подаваемой на орошение, можно определить по формуле [12, 14]

$$t_o = (q_o + 1000 \times \omega_o \times t_e) / (a_o + 1000 \times \omega_o), \quad (3.42)$$

где t_o – температура воды, подаваемая на орошение, °С;

a_o и q_o – соответственно коэффициент внешнего теплообмена и плотность теплового потока – параметры, значения которых принимаются по табл. 3.17;

Таблица 3.17

Плотность теплового потока и коэффициент внешнего теплообмена [12]

Район	Значения q_o , Вт / м ² – (числитель) и a_o , Вт / (м ² · °С) – (знаменатель)				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
1. Северо-восток России, полярные районы	-	<u>244,0</u> 52,0	<u>429,0</u> 52,0	<u>191,0</u> 53,0	-
2. Северо-восток России, континентальные районы	<u>151,0</u> 27,1	<u>406,0</u> 36,2	<u>534,0</u> 37,0	<u>371,0</u> 32,8	<u>92,0</u> 29,9
3. Районы России с умеренно-суровым климатом	<u>348,0</u> 44,5	<u>614,8</u> 41,5	<u>719,2</u> 39,0	<u>603,2</u> 37,0	<u>301,6</u> 34,2

ω_o – норма полива, м³ / (м² · ч);

t_e – температура воды в трубах, °С.

Дождевание рекомендуется начинать при $(t_e) > 4...5$ °С.

При фильтрации теплоносителя только в талой зоне время оттаивания определяется по формуле [12, 14]:

$$\tau = Q_{y\partial} \times h / (K_u \times c_{os} \times t_o \times \omega_o), \quad (3.43)$$

где τ – время оттаивания, ч;

$Q_{y\partial}$ – удельная теплота оттаивания, кДж / м³;

h_{om} – заданная глубина оттаивания мерзлых пород, м;

K_u – коэффициент использования тепла, $K_u = 0,5...0,75$;

$c_{ов}$ – объемная теплоемкость воды, $c_{ов} = 4,184 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.
Для случая, когда фильтрация идет в мерзлом массиве [12]:

$$\tau = (Q_{y0} / t_o) \times [a^1 \times R^2 / (6 \times \lambda_n) + b \times l_a / (c_{ов} \times \omega_o)], \quad (3.44)$$

где $a^1 = 1$, тогда b принимается равным значению трещиноватости для взорванных массивов и отвалов зимней вскрыши;

$a^1 = 1 / [1 - n + (G / \rho_n)]$, тогда $b = 1 -$ для проницаемых пород естественного залегания и выложенных в отвал;

R – средний радиус мерзлого взорванного куска или частицы скелета (для породы в массиве), м;

λ_m – коэффициент теплопроводности горных пород, Вт / (м · °C);

l_ϕ – длина пути фильтрации, м.

Расход воды одним дождевальным аппаратом (W_{ann} , м³ / ч) зависит от диаметра насадки и напора в сети [14]:

$$W_{ann} = \mu \times S \times \sqrt{2 \times g \times h}, \quad (3.45)$$

где μ – коэффициент расхода воды, $\mu = 0,95 \text{ с} / \text{ч}$;

S – площадь поперечного сечения отверстия насадки, м²;

g – ускорение свободного падения, м / с²;

h – напор воды у наконечника, $h = 25 \text{ м}, 30 \text{ м}, 35 \text{ м}$ при соответствующих диаметрах насадки $d = 34 \text{ мм}, 30 \text{ мм}, 26 \text{ мм}$.

Радиус орошения (R_o , м³) определяется по формуле

$$R_o = 1,1625 \times h \{1 - [0,95 \times h / (4,9 + h)]\} \times \sqrt{1000 \times d}, \quad (3.46)$$

где d – диаметр насадки, м.

Объем оттаянных за 1 сут пород ($V_{от}$, м³ / сут) [12, 14]:

$$V_{от} = 24 \times \omega \times t_o \times K_u \times c_{ов} \times \rho_e / Q_{y0}, \quad (3.47)$$

где ω – расход воды через все дождевальные аппараты, м³ / ч;

ρ_e – плотность воды, кг / м³;

Q_{y0} – удельная теплота оттаивания, кДж / м³.

Величину (Q_{y0}) принимают по табл. 3.10, если известны начальная и конечная температура породы и льдистость или определяют по формуле (3.34).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ОТТАЙКА МЕРЗЛЫХ ПОРОД ДОЖДЕВАНИЕМ»

Пример №6

1. Определить время, необходимое для дождевальной оттайки отвала торфов высотой $h_{от} = 9 \text{ м}$, если $\rho_n = 2600 \text{ кг} / \text{м}^3$, $\rho_{ср} = 2100 \text{ кг} / \text{м}^3$, при пористости пород 24 % ($n = 0,24$). Коэффициент фильтрации пород отвала

составляет $K_{\phi} = 5$ м / ч. Температура воды – $t_e = 7,5$ °С. Температура мерзлых пород – $t_m = - 5$ °С. Диаметр насадки дождевального аппарата $d = 30$ мм. Время проведения работ – июль. Район с умеренно- суровым климатом.

В работе находится одна дождевальная установка «Дождь-50», которая оборудована семью дождевальными аппаратами и насосом марки 8-НДв.

Решение:

1. Определяем суммарную влажность горной породы по формуле (1.7)

$$W_c = \{2100 / [2600 (1 - 0,24)] - 1\} = 0,063 \text{ доли ед.}$$

2. Определяем льдистость горных пород по формуле (1.8)

$$G = 2100 [0,063 / (1 + 0,063)] = 124 \text{ кг / м}^3.$$

3. В зависимости от пористости горных пород определяем степень заполнения пор льдом

$$G_n = 124 / (920 \times 0,24) = 124 / 220,8 = 0,56.$$

Это показывает, что поры горной породы заполнены льдом на 56 %, поэтому оттайку пород дождеванием можно осуществлять с максимальным эффектом. Теплообмен второго типа – в мерзлом состоянии горные породы водопроницаемы.

4. По табл. 3.10 определяем норму полива – $\omega_o = 0,05$ м³ / (м² · ч).

5. По табл. 3.17 подбираем значения $q_o = 719,2$; $a_o = 39,0$.

6. По формуле (3.41) определяем фактическую температуру воды

$$t_o = (719,2 + 1000 \cdot 0,05 \cdot 7,5) / (39,0 + 1000 \cdot 0,05) = 12 \text{ °С.}$$

7. Принимаем коэффициент использования тепла $K_u = 0,75$.

8. По табл. 3.10 определяем удельные затраты теплоты на оттаивание

$$Q_{y\partial} = 62550 \text{ кДж / м}^3.$$

9. По формуле (3.43) определяем время оттаивания массива мерзлых горных пород

$$\tau = 62550 \cdot 9 / (0,75 \cdot 4184 \cdot 12 \cdot 0,05) = 299 \text{ ч} = 12,5 \text{ сут.}$$

10. По формуле (3.45) определяем расход воды одним дождевальным аппаратом

$$W_{ann} = 0,95 \cdot 0,0007 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 30} = 58,05 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

11. Установка «Дождь-50» оборудована семью дождевальными аппаратами, поэтому общий расход воды, необходимый для оттаивания мерзлых пород отвала одной установкой составит:

$$\omega = 7 \cdot 58,05 = 406,36 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

12. Учитывая диаметр насадки и напор воды у наконечника, по формуле (3.46) находим радиус орошения

$$R_o = 1,1625 \cdot 30 \cdot \{1 - [0,95 \cdot 30 / (4,9 + 30)]\} \cdot \sqrt{1000 \times 0,03} = 35 \text{ м.}$$

13. По формуле (3.47) определяем объем оттаянных за 1сут мерзлых горных пород

$$V_{om} = 24 \cdot 406,36 \cdot 12 \cdot 0,75 \cdot 4,184 \cdot 1000 / 62550 = 5871 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

14. Объем оттаянных пород за июль месяц составит:

$$V = 5871 \cdot 31 = 182000 \text{ м}^3 / \text{мес.}$$

Задание для самостоятельной работы №6

1. Определить время, необходимое для оттаивания отвала мерзлых пород при фильтрационно-дренажном оттаивании с дождевальным питанием.

2. Выполнить анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы.

Варианты исходных данных принять по табл. 3.18.

Таблица 3.18

Исходные данные для расчета фильтрационно-дренажного оттаивания с дождевальным питанием

Номер варианта	Средняя плотность мерзлой породы, ρ_{cp} , кг / м ³	Плотность скелета породы, $\rho_{ск}$, кг / м ³	Пористость породы, n , доли ед.	Коэффициент фильтрации, K_f , м / ч	Высота отвала, м	Температура, °С		Район (см. табл. 3.17)
						воды	пород	
1	1900	2600	0,25	1,90	9	4,0	-2,6	1
2	1920	2610	0,27	1,84	8	5,0	-2,8	2
3	1940	2620	0,30	1,96	7	4,2	-3,0	3
4	1960	2630	0,35	2,68	8	6,4	-3,1	1
5	1980	2640	0,40	2,10	9	7,6	-3,2	2
6	2000	2650	0,45	2,52	10	5,8	-3,5	3
7	2200	2660	0,35	2,94	8	5,8	-2,8	1
8	1990	2670	0,55	3,36	7	4,6	-3,2	2
9	1910	2680	0,50	3,78	9	6,6	-2,9	3
10	1930	2690	0,28	2,40	10	9,4	-2,8	1
11	1950	2700	0,33	2,55	8	5,4	-2,9	2
12	1970	2650	0,37	2,70	9	7,2	-3,4	3

Для расчетов принять время проведения работ и диаметры насадок (d , мм) соответственно:

- для 1...4 вариантов – июнь, $d = 26$;
- 5...8 вариантов – июль, $d = 30$;
- 9...12 вариантов – август, $d = 34$.

При расчетах учесть, что одна дождевальная установка «Дождь-50» имеет 7 дождевальных аппаратов и насос марки 8-НДв.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПАРАМЕТРЫ

Термодинамической системой называется макроскопическое тело, выделенное из окружающей среды при помощи перегородок или оболочек (они могут быть также и мысленными, условными), состояние которого можно характеризовать макроскопическими параметрами: объемом, температурой, давлением и другими.

Термодинамическая система является представительной для оценки свойств и состояния макроскопического тела в том случае, когда она состоит из достаточно большого числа частиц. Окружающей средой термодинамической системы являются тела, расположенные за ее пределами.

Термодинамические системы подразделяются на гомогенные и гетерогенные. К гомогенной термодинамической системе относится такая, химический состав и физические свойства которой одинаковы во всех ее частях или монотонно (без скачков) изменяются от точки к точке. Примером такой системы могут служить абсолютно чистые минералы, расплавленные и сублимированные горные породы.

Гетерогенной называется такая термодинамическая система, которая состоит из двух или более гомогенных областей. Гомогенные области в гетерогенной системе называются фазами. Внутри гетерогенной системы имеются поверхности раздела фаз, при переходе через которые химический состав и физические свойства вещества изменяются скачкообразно. Практически все горные породы являются гетерогенными термодинамическими системами, так как состоят из множества однородных и разнородных минеральных зерен, разделенных между собой минеральным цементом.

Фазой гетерогенной системы называется однородная по химическому составу и физическим свойствам часть термодинамической системы, отделенная от других частей (фаз), имеющих иные свойства, границами раздела, на которых происходит скачкообразное изменение свойств макроскопического тела.

Любая термодинамическая система состоит из одной и более компонент. Компоненты — это химически индивидуальные вещества, из которых состоит термодинамическая система и которые могут быть выделены из системы и существовать вне ее.

Числом независимых компонентов называется число составляющих систему веществ, достаточное для любой фазы термодинамической системы. Например, в системе CaO и CO_2 образуется CaCO_3 в соответствии с реакцией: $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3$. Здесь независимыми компонентами можно считать CaO и CO_2 , а CaCO_3 рассматривать как продукт их соединения. С равным правом компонентами можно считать CaO и CaCO_3 , а CO_2 продуктом термической диссоциации CaCO_3 . Минералы и горные породы в естественном состоянии в результате воздействия на них различных физических полей могут находиться в следующих трех состояниях: твердом, жидком и газообразном. Основным состоянием является твердое. В жидком состоянии в естественных условиях находятся такие полезные ископаемые,

как нефть, самородная ртуть, растворы минералов, свободная и физически связанная вода. В газообразном состоянии — горючие газы.

Состояние минералов и горных пород определяется параметрами состояния, которые подразделяются на интенсивные (не зависящие от количества вещества — давление, температура) и экстенсивные (зависящие от количества вещества — объем, теплоемкость, масса).

Экстенсивные параметры, отнесенные к единице массы вещества, приобретают смысл интенсивных (удельный объем, удельная теплоемкость и др.).

Интенсивные параметры, которые определяют состояние термодинамической системы, называются термодинамическими параметрами состояния.

Основными термодинамическими параметрами являются температура, давление и удельный объем (или плотность) тела.

Температура T — это физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы. Температура всех частей изолированной термодинамической системы, находящейся в равновесии, одинакова.

Если система не находится в равновесии, то между ее частями, имеющими различную температуру, происходит теплообмен. Более высокой температурой обладают те тела, у которых средняя кинетическая энергия молекул и атомов выше.

Теоретически температура определяется на основе второго закона термодинамики как производная от энергии тела по его энтропии. Температура, определяемая таким образом, всегда положительна, ее называют абсолютной температурой или температурой по термодинамической температурной шкале (обозначается T). За единицу абсолютной температуры в системе СИ принят кельвин (К) — это $1/273,15$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Существуют и другие температурные шкалы: Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$), Реомюра ($^{\circ}\text{R}$), Ренкина ($^{\circ}\text{Ra}$).

Наибольшее распространение получила международная стоградусная температурная шкала (шкала Цельсия). В ней за один градус принята одна сотая часть в интервале от температуры плавления льда до температуры кипения воды при атмосферном давлении. Переход от температур по Цельсию к другим температурным шкалам следующий: $\text{K} - t^{\circ}\text{C} + 273,15$; $^{\circ}\text{F} - 1,8t^{\circ}\text{C} + 32$; $^{\circ}\text{R} - 0,8t^{\circ}\text{C}$; $^{\circ}\text{Ra} - 1,8(t^{\circ}\text{C} + 273,15)$.

Следует помнить, что $1^{\circ}\text{C} - 1 \text{ K}$. Давление P представляет собой силу, действующую по нормали к поверхности тела, отнесенную к единице площади этой поверхности.

Единицами измерения давления являются: паскаль (Па) — давление, вызванное силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м^2 ; бар, техническая атмосфера (кгс/см^2); миллиметр водяного столба (мм вод. ст.). Единицей измерения давления в системе СИ является паскаль. Переход от паскалей к другим единицам измерения давления следующий: 1

бар = 105 Па; 1 мм рт. ст. - 133,3 Па; 1 мм вод. ст. = 9,8067 Па; 1 атм = 1,033 кг/см² - 1,013 105 Па.

Различают абсолютное давление и избыточное. Абсолютное давление складывается из избыточного и атмосферного. Избыточное 21 ГЛАВА 1 давление — это технический термин, применяется для оценки давления, создаваемого машиной, например, вентилятором, компрессором, насосом.

Удельным объемом v называется объем, занимаемый единицей массы вещества, C (1.1) где V — объем, м³; G — масса вещества, кг. Размерность удельного объема м³ / кг или см³ / г.

Часто пользуются не удельным объемом, а плотностью вещества ρ , кг/м³

При отсутствии внешнего воздействия состояние горной породы как термодинамической системы может быть определено, если заданы два любых интенсивных параметра. Все остальные параметры являются однозначной функцией двух заданных параметров

Рассмотрим некоторый объем горной породы, находящейся внутри массива. При нагревании выделенного объема породы ее температура будет повышаться, изменяться внутренняя энергия и совершаться внешняя работа. Внутренняя энергия U (Дж) выделенного объема складывается из энергии поступательного и вращательного движения молекул, составляющих минералы, энергии внутримолекулярных колебаний, потенциальной энергии сил взаимодействия между молекулами.

Часть внутренней энергии выделенного объема горной породы при нагреве расходуется на разрыв межатомных связей в неоднородных породах за счет внутренних термических напряжений, возникающих на границах минеральных зерен, в связи с различными значениями их модулей упругости и коэффициентов теплового расширения.

Внутренняя энергия термодинамической системы зависит только от параметров состояния и не зависит от того, каким путем были достигнуты эти параметры. Внутренняя энергия является экстенсивной характеристикой, так как она пропорциональна количеству вещества в термодинамической системе.

Величина $u = U/G$ (Дж/кг) называется удельной внутренней энергией и представляет собой внутреннюю энергию единицы массы вещества, которая является интенсивным параметром. Как и все экстенсивные параметры, внутренняя энергия является аддитивной величиной (аддитивными называются величины, для которых выполняется условие Z системы - $\sum Z_i$, где n — число составляющих $i = 1$ частей системы). Интенсивные величины свойством аддитивности не обладают. Начало отсчета внутренней энергии можно выбрать произвольно.

Величина внутренней энергии термодинамической системы однозначно определяется, если заданы любых два параметра состояния, т.е. $u=f(v,T)$; $u = u(P,T)$; $du = Tds - PdV$

Энтропия является экстенсивным параметром и обладает свойством аддитивности. Энтропия системы, отнесенная к ее массе, называется удельной энтропией

Энтропия однозначно может быть определена, если заданы два любых параметра состояния,

ТЕПЛООБМЕН В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

1. Требования к тепловому режиму в подземных выработках

Тепловой режим в подземных выработках характеризуется совокупностью термодинамических параметров воздуха, окружающего массива, горной массы, машин и людей. Основными термодинамическими параметрами для количественной оценки теплового режима шахт и рудников являются температура, энтальпия, влагосодержание, а также изменение этих параметров в течение года.

В конечном итоге тепловой режим шахт и рудников определяется температурой, влагосодержанием рудничного воздуха и скоростью его движения в подземных выработках. Как показывает практика, в настоящее время при глубинах подземных разработок свыше 900-1000 м искусственное охлаждение и осушение рудничного воздуха практически неизбежно. В условиях же разработки многолетнемерзлых пород, наоборот, необходимо подогревать рудничный воздух.

Таким образом, как в одном, так и другом случаях возникает необходимость регулирования теплового режима в подземных выработках.

Тепловой режим в подземных выработках должен обеспечивать комфортные условия труда человека, при которых бы он отдавал в окружающую среду столько тепла, сколько выделяется в его организме. В том случае, когда теплопотери человека больше, чем количество тепла, вырабатываемого в его организме, ему холодно, и наоборот. Следовательно, температура воздуха, его влажность и скорость в подземных выработках должны быть такими, при которых бы существовало равновесие между теплом, вырабатываемым в организме человека, и теплом, отдаваемым им в окружающую среду.

В организме человека в спокойном состоянии вырабатывается энергии около 320 кДж/ч (-90 Вт), при физической нагрузке средней напряженности — около 800 кДж/ч (-220 Вт) и при тяжелой физической нагрузке — до 1600 кДж/ч (-440 Вт).

Теплоотвод от человека через дыхание составляет 10%, а теплоотвод через кожу — 90% общего. Теплоотвод через кожу происходит путем лучеиспускания, конвекции и испарения пота.

Если температура воздуха выше температуры тела человека, то вдыхаемый воздух охлаждается в организме, отдавая ему часть своего тепла, и наоборот. В первом случае, дыхание затрудняет теплообмен между

человеком и окружающей средой. Во втором случае, особенно при температуре воздуха ниже допустимой, может наступить переохлаждение организма.

Теплообмен организма человека с окружающей средой путем лучеиспускания может происходить только в том случае, если температура стенок выработки ниже температуры его кожи, то есть 307-309 К (34-36°C). В противном случае лучеиспускание противодействует теплообмену. При температуре стенок выработки 293 К (20°C) путем лучеиспускания организм человека теряет около 120 кДж/ч (-33 Вт), а при температуре 313 К (40°C) получает около 40-60 кДж/ч (-11-15 Вт).

Удельный тепловой поток, отдаваемый кожей человека в окружающую среду конвекцией, пропорционален скорости движения воздуха и разности между его температурой и температурой кожи человека. Из этого следует, что для обеспечения теплообмена конвекцией необходимо регулировать температуру и скорость движения рудничного воздуха.

Равнозначным в количественном отношении с теплообменом конвекцией является отвод тепла из организма человека путем потовыделения. При выделении человеком 1 кг пота он теряет около 2260 кДж тепла и 8 г соли.

Потовыделение происходит только в том случае, когда влажность воздуха не выше влажности насыщения. В противном случае теплообмен путем потовыделения прекращается. Из этого следует, что регулирование влажности шахтного воздуха является одним из основных каналов управления тепловым режимом в подземных выработках.

Тепловой режим в подземных выработках должен поддерживаться таким, чтобы обеспечивался нормальный теплообмен организма человека в окружающей среде по всем четырем каналам: дыханием, лучеиспусканием, конвекцией и потовыделением. Канал теплообмена дыханием реализуется, когда температура воздуха ниже 310 К (37°C). Канал теплообмена лучеиспусканием — когда температура стенок выработок ниже 307 К (34°C). Так как температура воздуха в выработке на 2-3 градуса ниже температуры стенок, то температура шахтного воздуха по условиям теплообмена лучеиспусканием должна быть ниже 304-305 К (31 -32°C).

Канал теплообмена конвекцией реализуется, когда имеется движение воздуха в подземных выработках.

Канал теплообмена потовыделением реализуется, когда влажность воздуха в выработках ниже влажности насыщения.

Если закрыты все четыре канала теплообмена человека с окружающей средой в течении длительного времени, то наступает тепловая смерть.

Как показывает практика, комфортные условия труда по тепловому режиму при средней физической нагрузке на организм человека имеют место в том случае, когда температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в подземных выработках соответственно равны 298 К (25°C), 80-90% и 4 м/с. Если, например, температура воздуха будет 301 К (28°C), то при прежних остальных его параметрах к концу семичасовой

рабочей смены температура тела человека поднимется до 300,1 К (37,1°C). Таким образом, регулирование теплообмена через вышеуказанные каналы необходимо осуществлять путем изменения температуры, влажности и скорости движения воздуха в подземных выработках.

Без регулирования рудничного микроклимата возможности сбалансирования количества вырабатываемого в организме человека тепла Q_4 с теплом Q_T , отдаваемым им во внешнюю среду, весьма ограничены. В какой-то степени это удастся осуществить с помощью спецодежды, которая в зависимости от рудничного микроклимата может быть легкой или утепленной.

При переходе из одного рудничного микроклимата в другой терморегуляционный аппарат человека старается сбалансировать величины Q_4 и Q_T , однако этот аппарат обладает некоторой инерционностью (10-15 мин) и поэтому резкие изменения параметров рудничного микроклимата и, в частности, температуры для организма человека весьма нежелательны.

Если $Q_T > Q_4$, то наблюдается переохлаждение организма человека, что приводит к простудным заболеваниям, а если $Q_T < Q_4$ — возрастает частота его дыхания, повышается температура и при длительном сохранении этого условия возникают необратимые изменения в организме человека, приводящие к ухудшению его здоровья.

ОТВЕТИТЬ НА ВОПРОСЫ:

1. Что такое термодинамическая система?
2. Приведите примеры термодинамических систем.
3. Перечислите основные параметры термодинамической системы.
4. Что такое тепловой режим?
5. Что такое тепловой обмен?
6. За счет каких факторов происходит теплообмен?

Лекция. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ МЕЛИОРАЦИИ

2.1. Общие положения

Выбор оптимальных способов подготовки мерзлых пород и грунтов к разработке основывается на технико-экономическом сравнении вариантов и результатах инженерно-геологических изысканий, а также на основании анализа зависимостей и графиков (промерзание-оттаивание), полученных в результате расчета по формулам Стефана, Балобаева и др.

Состояние мерзлого массива и время начала работ по подготовке пород и грунтов к разработке определяются по результатам измерений температуры и глубины промерзания или оттаивания пород и грунтов в термометрических скважинах. Земляные работы должны производиться с учетом требований СНиП.

Основные и вспомогательные работы по подготовке пород и грунтов к разработке в зимнее время без проекта производства работ (ППР) запрещаются. ППР разрабатывается на основе проекта организации строительства (ПОС).

Отступления от проектных решений без согласования с автором ППР запрещаются. В случае обнаружения несоответствия фактических инженерно-геологических условий проектным условиям изменения в проект вносятся разработчиками ППР. ППР выполняется с учетом требований Госгортехнадзора РФ, технической инспекции, правил производства работ при проходке и переустройстве подземных сооружений, благоустройства, охраны окружающей среды и подземных вод.

Исходные данные для составления ППР включают:

- время начала и продолжительность производства земляных работ;
- материал и толщину утеплителя;
- допустимую глубину промерзания пород и грунта под утеплителем для его разработки;
- машины и оборудование;
- условия разработки, перемещения и складирования пород и грунтов.

Работы по подготовке пород и грунтов к разработке в зимнее время должны выполняться с соблюдением правил охраны труда и техники безопасности. Материалы и реактивы, применяемые для подготовки мерзлых пород и грунтов к разработке должны удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов и технических условий.

Работы по подготовке пород и грунтов должны быть зарегистрированы в журнале производства горных и строительных работ.

2.2. Источники нагревания и охлаждения горных пород и грунтов

Процессы промерзания или оттаивания горных пород и грунтов в естественных условиях зависят от климата региона, физико-механических свойств горных пород и температуры атмосферного воздуха. Промерзание или оттаивание происходит в результате воздействия на горные породы и грунты взаимосвязанного сочетания источников тепла и холода.

Источником тепла, как правило, является солнечная радиация и нагретый до положительной температуры атмосферный воздух. Источником холода являются охлажденные физические тела и атмосферный воздух имеющие отрицательную температуру. Выделяют два источника холода - зимний и весенний гигрогенный.

Зимний источник холода – тело низкой температуры, в контакте с которым другие тела охлаждаются. Количественно зимний источник холода характеризуется температурой атмосферного воздуха в приземном слое. Продолжительность действия зимнего источника холода определяется продолжительностью периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха.

Весенний гигрогенный источник холода – тело повышенной гигроскопичности, в контакте с которым влагосодержащие тела охлаждаются, отдавая собственное тепло на парообразование содержащейся в них влаги. Количественно гигрогенный источник холода характеризуется массой влаги, преобразованной в пар при тепло- и массообмене между влагосодержащим и гигроскопичным телами. В Забайкалье гигрогенным источником холода является сухой атмосферный воздух. Продолжительность действия весеннего гигрогенного источника холода определяется продолжительностью периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха и положительным радиационным балансом тепла влагосодержащего тела (горных пород, грунта), при уменьшающейся относительной влажности воздуха.

С помощью различных приемов и способов можно управлять процессами промерзания и оттаивания. Способы и приемы управления промерзанием горных пород и грунтов основываются на ограничении времени воздействия источников холода, или на их полном подавлении, с целью предохранения горных пород и грунтов от промерзания. Ускорение оттаивания горных пород и грунтов достигается за счет более полного использования естественного источника тепла – солнечной радиации, а также путем устройства гидроизоляционного и пленочного покрытия на поверхности мерзлого массива.

Ограничение воздействия на горные породы и грунт зимнего источника холода достигается устройством тепловой изоляции на поверхности земли. Теплоизоляционный покров на поверхности горных пород и грунтов рекомендуется применять для уменьшения глубины сезонного промерзания до 1 м и удлинения периода разработки пород в талом состоянии, а также для защиты их от повторного промерзания после искусственной оттайки пород в период с отрицательными температурами атмосферного воздуха.

Ограничение воздействия на горные породы и грунты весеннего гигрогенного источника холода достигается устройством гидроизоляционного покрытия на поверхности земли. Применение гидроизоляционных покрытий предотвращает потери тепла поверхностью горных пород и грунтов конвективным и диффузионным теплообменом. При этом сокращаются затраты тепла на сублимацию грунтового льда и испарение влаги, а теплоток в горный массив увеличивается. Пленочный покров рекомендуется применять для оттаивания массива многолетнемерзлых пород до глубины 3-5 м за счет тепла солнечной радиации в период до установления положительной среднесуточной температуры воздуха, а также для предохранения пород от повторного промерзания после искусственной оттайки в весенний период. Применение пленочных покрытий позволяет уменьшить глубину сезонного промерзания массива горных пород и одновременно ускорить его оттаивание сверху. Эффект использования пленочных покрытий для оттайки многолетне- и сезонно-мерзлых пород возрастает приблизительно в 2-3 раза при проходке траншей.

Допускается использование тепло- и гидроизоляционных покрытий для предохранения горных пород и грунтов от промерзания и ускорения оттаивания на наклонных элементах рельефа и вертикальных стенках горных выработок.

С целью определения оптимальных сроков начала и окончания земляных работ, а также трудовых и материальных затрат для их выполнения, производят прогноз эффективности мероприятий тепловой мелиорации горных пород и грунтов. Не допускается использование мероприятий тепловой мелиорации горных пород и грунтов без прогноза их эффективности в конкретных горно-геологических условиях.

Для прогноза эффективности мероприятий тепловой мелиорации горных пород и грунтов в качестве исходных данных принимаются:

- климатические и инженерно-геологические условия территории, на которой предполагается производство работ;
- физико-механические и тепловые свойства теплоизоляционных материалов.

Сведения о климате включают следующие характеристики: сред-

ние месячные температуры воздуха (поверхности пород, грунта) в течение всего года ($t_{\text{ср}}$), средние температуры воздуха (поверхности пород, грунта) соответственно зимнего и летнего периода ($t_{\text{зср}}$; $t_{\text{лср}}$), продолжительность соответственно зимнего и летнего периодов ($\tau_{\text{з}}$; $\tau_{\text{л}}$), а также среднемесячные значения: амплитуды температур воздуха (A), высоты снежного покрова за период отрицательных температур ($\delta_{\text{сн}}$), относительной влажности воздуха (W_o), скорости ветра зимой и весной (V), прямой солнечной радиации в зимний и весенний периоды (Q), рассеянной солнечной радиации в зимний и весенний периоды (q), поглощенной радиации (P), радиационный баланс (R), затраты тепла на испарение (LE), характеристика отражательной способности (α).

Сведения об инженерно-геологических условиях включают следующие характеристики: литологический разрез толщи рыхлых отложений с описанием пород: суммарная влажность грунта (W_c) и влажность за счет незамерзающей воды ($W_{\text{нз}}$), объемный вес скелета мерзлого грунта ($\gamma_{\text{ск.м}}$), коэффициенты теплопроводности и теплоемкость талых и мерзлых горных пород и грунта ($\lambda_{\text{т}}$, $\lambda_{\text{м}}$, $C_{\text{т}}$, $C_{\text{м}}$), температуру начала замерзания пород ($t_{\text{нз}}$), коэффициент фильтрации пород и грунтов ($K_{\text{ф}}$), объемная масса мерзлых пород и грунтов естественной ненарушенной структуры (γ_o), удельная масса твердых частиц ($\gamma_{\text{уд}}$), суммарная льдистость (L_c), степень заполнения пор водой и льдом ($G_{\text{л}}$).

Физико-механические и тепловые свойства изоляционных материалов приведены в табл.3, 4, 5, 6.

Прогноз глубины (H_3) зимнего промерзания пород и грунтов в естественных условиях без учета криогенной миграции влаги выполняется по СНиП II-18-76.

$$H_3 = \sqrt{2\lambda_{\text{м}}} \cdot (t_2 - t_3) \cdot \zeta_2 / q_2 , \quad (27)$$

где t_2 – средняя отрицательная температура воздуха (поверхности пород и грунтов) в период промерзания, определяемая по справочнику, °С; ζ_2 – продолжительность зимнего промерзания, час; q_2 – количество тепла,

затрачиваемое на замерзание пород и грунтов, определяемое по СНиП II-18-76, кДж.

Прогноз глубины весеннего промерзания пород и грунтов (H_B) с учетом криогенной миграции влаги и сублимации порового льда из верхних слоев породы и грунта производится по формуле:

$$H_B = \xi_c + \sqrt{\xi_c} + C, \quad (28)$$

где ξ_c – толщина слоя мерзлых горных пород или грунта зимнего образования, иссушенного сублимацией весной.

Для упрощения использования формулы (28) составлена таблица глубины весеннего промерзания тонкодисперсных пород и грунтов в зависимости от продолжительности сублимации и количества сублимированного порового льда (табл.7). Продолжительность сублимации порового льда принимается по данным Гидрометеослужбы РФ. Продолжительность дня на соответствующей широте в период действия гидрогенного источника холода приведена в табл.8.

Таблица 3. Физико-механические свойства вспененных теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционный материал	Объемная масса, кг/м ³	Предел прочности на сжатие, МПа	Предельная температура применения, °С		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Водопоглощение, %
			+	-		
1. Пенополистрол	30-200	0,15-3,00	60	100	0,063	1-15

2. Пенополивинил-хлорид	50-270	0,20-2,50	60	60	0,060	3-10
3. Фенольный пенопласт (резольный)	80-150	0,25-0,70	130	50	0,060	8-28
4. Мочевиноформальдегидный поропласт (мипора)	10-25	0,02-0,04	110	200	0,047	75-85
5. Поропласт МФП	12-35	0,03-0,05	100	60	0,049	75-85
6. Водовоздушная пена	10-100	0,10	-	10	0,040	-
7. Быстротвердеющая пена	10-100	0,10	30	60	0,067	-
8. ПС-1	80-200	0,25	60	60	0,044	0,4
9. ПС-4	45-80	0,13-0,17	60	60	0,034	0,8
10. ПСБ	30	0,18	60	60	0,035	-
11. ПХВ-1, ПХВ-2	100-213	-	60	60	0,049	8-35
12. Пенополиуретан						
- жесткий	80-100	0,15	150	180	0,048	2-8
- эластичный	30-50	-	60	180	0,036	18,7

Общая глубина промерзания пород и грунтов определяется суммой зимней и весенней глубин промерзания [11], то есть

$$H = H_3 + H_в \quad (29)$$

Таблица 4. Основные характеристики полимерных пленок
(по данным Колочаева В.А., Пашенко Т.Е., Рожанской С.Д.)

Пленка	Прозрач- ность, %	Моро- зостой- кость, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Относит ельное удлинен ие, %	Плотн ость, г/см ³
1.Полиэтиленовая	78-85	- 60	14,0-17,0	550-600	0,92
2.Полиамидная рильсан	89-90	- 65	60,0-80,0	60-180	1,04
3. Полиэтиленте рефталатная	87-90	- 60	100,0-160,0	70-130	1,40
4.Полиамидная ПК-4	87-89	- 20	40,0-50,0	300-400	1,14
5. Поливинил- хлоридная	85-88	- 15	25,0-30,0	280-300	1,40
6. Ацетатная	87-90	-	-	-	-

Продолжение табл.4

№ п. п.	Толщина, мм		Вес 1м ² при соответс твующе й толщин е		Пропускна я способност ь солнечной радиации,%	Коэффици- циент теплопро- водности, Вт/(м ·°С)	Паропрониц аемость, г/м ² при температуре		Аль- бедо
							20 °С	40 °С	
1.	0,06	0,20	55	185	66	0,23	0,8	9,0	0,10
2.	0,06	0,08	62	83	-	0,19	-	-	0,09
3.	0,05	0,10	70	140	-	0,10	2,0	8,0	-
4.	0,06	0,08	68	91	-	-	-	-	-
5.	0,05	0,20	70	280	75	0,25	2,0	10,0	0,08
6.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 5. Старение полиэтиленовой пленки в зависимости от ориентации по сторонам света

Угол наклона к горизонту, град	Ориентация	% старения
30	Север	6
30	Юг	77
30	Восток	61
30	Запад	54

Таблица 6. Физико-механические свойства минераловатных теплоизоляционных материалов

Наименование изделий	Размеры, мм			Объемная масса, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
	длина	ширина	толщина		
Минераловатные маты	2000	1300	60	до 150	0,052
Минераловатные маты прошивные	3000-5000	50-1000	50-100	100	0,037
Маты из стекловолокна на формальдегидной смоле	1000-1500	500-1000	30-60	35	0,046
Маты из стекловолокна прошивные	1000-3000	200-750	30-50	50	0,044

Прогноз зимнего промерзания пород и грунтов на затененных участках поверхности следует производить подстановкой в формулу (27), используя уточненное значение температуры воздуха (поверхности пород) в тени:

$$t_2^T = t_2[1 + q/(Q + q)]. \quad (30)$$

где q - рассеянная солнечная радиация; $(Q + q)$ - суммарная солнечная радиация.

Прогноз эффективности мероприятий по предохранению грунтов от промерзания с помощью теплоизоляционного покрытия осуществляется по формуле:

$$H_y = \sqrt{2\lambda_m \cdot (t_2 - t_3) \cdot \zeta_2 / q_2 + S^2} - S, \quad (31)$$

где H_y – заданная глубина промерзания утепленных грунтов, м.

Толщину эквивалентного слоя грунтов, характеризующего условия теплоизоляции определяют по формуле:

$$S = \lambda_m \cdot \delta_n / \lambda_n \quad (32)$$

Толщина теплоизоляционного материала ($\delta_{и}$) для защиты грунтов от промерзания на горизонтальной площадке в естественных условиях определяется по формуле:

$$\delta_{и} = \lambda_{и} \cdot \zeta_2 \cdot (t_2 - t_3) / q_2 \cdot N_y \quad (33)$$

Таблица 7. Глубина промерзания (числитель) и сублимации (знаменатель) за счет гигрогенного источника холода

Глубина зимнего промерзания, см	Средняя температура воздуха в период сублимации, °С	Масса сублимационного порового льда, кг/м ³	Продолжительность сублимации порового льда, час		
			360	540	720
0,5	- (10-12)	300	<u>0,40-</u> <u>0,45</u> 0,08	<u>0,65-</u> <u>0,75</u> 0,13	<u>0,90-</u> <u>1,00</u> 0,17
0,5	- (10-12)	350	<u>0,35-</u> <u>0,40</u> 0,08	<u>0,60-</u> <u>0,70</u> 0,13	<u>0,85-</u> <u>0,95</u> 0,17
0,5	- (10-12)	400	<u>0,35-</u> <u>0,40</u> 0,08	<u>0,60-</u> <u>0,65</u> 0,13	<u>0,80-</u> <u>0,90</u> 0,17
1,0	- (10-12)	300	<u>0,25-</u> <u>0,30</u> 0,13	<u>0,50-</u> <u>0,55</u> 0,20	<u>0,75-</u> <u>0,80</u> 0,27
1,0	- (10-12)	350	<u>0,25-</u> <u>0,30</u> 0,13	<u>0,50-</u> <u>0,55</u> 0,20	<u>0,75-</u> <u>0,80</u> 0,27
1,0	- (10-12)	400	<u>0,20-</u> <u>0,25</u> 0,13	<u>0,45-</u> <u>0,50</u> 0,20	<u>0,70-</u> <u>0,75</u> 0,27

			<u>0,25</u> 0,13	<u>0,50</u> 0,20	<u>0,75</u> 0,27
1,5	- (10-12)	300	<u>0,20-</u> <u>0,25</u> 0,18	<u>0,50-</u> <u>0,55</u> 0,28	<u>0,80-</u> <u>0,85</u> 0,37
1,5	- (10-12)	350	<u>0,20-</u> <u>0,25</u> 0,18	<u>0,45-</u> <u>0,50</u> 0,28	<u>0,75-</u> <u>0,80</u> 0,37
1,5	- (10-12)	400	<u>0,15-</u> <u>0,20</u> 0,18	<u>0,45-</u> <u>0,50</u> 0,28	<u>0,70-</u> <u>0,75</u> 0,37
2,0	- (10-12)	300	<u>0,15-</u> <u>0,20</u> 0,23	<u>0,50-</u> <u>0,55</u> 0,35	<u>0,80-</u> <u>0,85</u> 0,47
2,0	- (10-12)	350	<u>0,15-</u> <u>0,20</u> 0,23	<u>0,45-</u> <u>0,50</u> 0,35	<u>0,80-</u> <u>0,85</u> 0,47
2,0	- (10-12)	400	<u>0,15-</u> <u>0,20</u> 0,23	<u>0,45-</u> <u>0,50</u> 0,35	<u>0,75-</u> <u>0,80</u> 0,47
2,5	- (10-12)	300	<u>0,15-</u> <u>0,20</u> 0,28	<u>0,50-</u> <u>0,55</u> 0,43	<u>0,90-</u> <u>0,95</u> 0,57
2,5	- (10-12)	350	<u>0,10-</u> <u>0,15</u> 0,28	<u>0,50-</u> <u>0,55</u> 0,43	<u>0,80-</u> <u>0,85</u> 0,57

2,5	- (10-12)	400	<u>0,10-</u> <u>0,15</u> 0,28	<u>0,45-</u> <u>0,50</u> 0,43	<u>0,80-</u> <u>0,85</u> 0,57
-----	-----------	-----	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Таблица 8. Продолжительность дня в часах

Широта	I	II	III	IV	V	VI
54	7,38	9,16	11,36	14,02	16,08	17,06
52	8,17	9,37	11,56	13,55	15,42	16,43
50	8,16	9,36	11,38	13,46	15,32	16,20
48	8,30	9,44	11,38	13,40	15,20	16,00

Расчет толщины теплоизоляционного покрытия для предохранения пород и грунтов от промерзания на затененных участках поверхности выполняется по формуле:

$$\delta_{\text{и}}^T = \lambda_{\text{и}} \cdot \zeta_2 \cdot (t_2 - t_3) \cdot K_1 / q_2 \cdot H_y, \quad (34)$$

где $K_1 = 1 + q/(Q + q)$ – коэффициент пропорциональности, определяемый соотношением средних зимних значений суммарной ($Q + q$) и рассеянной (q) солнечной радиации учитывающий различный приход тепла к освещенной и затененной поверхности земли зимой.

После удаления теплоизоляционного материала с поверхности, продолжительность оттаивания ($\tau_{\text{от}}$) мерзлых горных пород и грунтов, накапливаемых под ним за зиму, т.е. допустимое время начала земляных работ определится:

$$\tau_{\text{от}} = q_1 \cdot H_y^2 / (2\lambda_{\text{т}} \cdot t_1) \quad (35)$$

где λ_T – коэффициент теплопроводности талых пород, принимаемый по СНиП II – 18 – 76, Вт/(м · °С); q_1 – количество тепла, затрачиваемое на оттаивание мерзлых пород и грунтов, Вт ч/м³.

Для затененных участков поверхности земли продолжительность оттаивания определится:

$$\tau_{от}^T = q_1 \cdot H_y^2 / (2\lambda_T \cdot t_1 \cdot K_2) \quad (36)$$

где $K_2 = 1 - q / (Q + q)$.

В случае, если поверхность пород или грунта на затененном участке отличается по цвету или растительному покрову от поверхности участка с естественными условиями, то значения (t_1) следует уточнять коэффициентом пропорциональности (K_3), определяемым в зависимости от отражательной способности этих поверхностей – альбедо (α).

$$K_3 = (100 - \alpha_e) / (100 - \alpha_T) \quad (37)$$

где α_e и α_T – альбедо, соответственно естественной и затененной поверхностей. Значения альбедо для основных типов поверхностей приведены в табл.9.

Таблица 9. Значение альбедо для основных типов поверхности

Тип поверхности	Альбедо в долях единицы
1	2
1. Снег свежеснежавший	0,85
2. Снег установившийся	0,70
3. Снег загрязненный и талый	0,40-0,60
4. Трава зеленая	0,28
5. Трава сухая	0,19
6. Оголенная почва светлая	0,35
7. Оголенная почва темная, сухая	0,15-0,25
8. Оголенная почва темная, влажная	0,10
9. Болото с кустарником	0,20-0,25
10. Мохо-торфяной покров	0,16
11. Лес	0,15-0,20
12. Кустарник	0,10
13. Песок речной	0,29
14. Галечник подчерненный	0,10
15. Покрытие из светло-серого бетона	0,25
16. Покрытие щебеночное	0,14
17. Покрытие гравийное	0,12

18. Покрытие асфальтовое	0,10
19. Темная почва	0,05-0,15
20. Чернозем сухой	0,14
21. Чернозем влажный	0,08
22. Влажная серая почва	0,10-0,15
23. Сухая серая почва	0,20-0,35
24. Сухая светлая почва (песчаная)	0,25-0,45

Тогда формула (36) примет вид:

$$\tau_{от} = q_1 \cdot H_y^2 / (2\lambda_t \cdot t_1 \cdot K_2 \cdot K_3) \quad (38)$$

Прогноз эффективности гидроизоляционного покрытия, используемого для ускорения оттаивания мерзлых пород, производится по формуле:

$$H_{от} = H_n \cdot \psi, \quad (39)$$

где H_n – нормативная или фактическая глубина оттаивания пород и грунтов, м; ψ – региональный (поправочный) коэффициент, учитывающий влияние гидроизоляционного покрытия на ускорение оттаивания пород и грунтов, определяемый опытным путем в зависимости от вида пород и грунтов, характера его поверхности, принимаемый равным 1,3-1,7.

В связи с индивидуальностью и разнообразием природно-климатических и инженерно-геологических условий районов, где возможно использование приемов тепловой мелиорации пород и грунтов, технико-экономическую оценку их эффективности следует производить исключительно для конкретных объемов. Выбор приемов тепловой мелиорации пород и грунтов производится на основании расчетов сравнительной эффективности вариантов по минимальным затратам:

$$\Pi_{min} = C + E^H \cdot K, \quad (40)$$

где C – текущие издержки (эксплуатационные расходы); K – единовременные затраты (капитальные вложения); E^H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в строительстве, равный 0,12.

Если в сравниваемых вариантах приведенные затраты незначительно отличаются друг от друга, то дальнейшее сравнение вариантов следует вести по следующим показателям:

- трудоемкость и продолжительность работ;
- расход основных материалов на единицу площади утепляемых пород и грунтов (или на объем пород и грунтов, подлежащих разработке);
- возможность проведения работ в зимнее время.

Лекция 5 ПОДГОТОВКА МЕРЗЛЫХ ПОРОД К РАЗРАБОТКЕ КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ОТТАИВАНИЯ МЕРЗЛЫХ ПОРОД

Подготовка мерзлых горных пород к разработке в суровых климатических условиях входит неотъемлемой частью в комплекс строительных и открытых горных работ. Основными способами подготовки являются подготовка пород взрывом, механическое рыхление, оттайка мерзлых пород и предохранение пород от промерзания. Значительный вклад в развитие методов оттаивания мерзлых пород внесли научные коллективы Института мерзлотоведения АН СССР им. В.А. Обручева, Института мерзлотоведения СО АН СССР, ВНИИ-1, ЦНИГРИ, Иргиредмета, кафедры мерзлотоведения МГУ, МГРИ, ЛГИ, МГИ и других научных организаций. Результаты этих исследований освещены в трудах В.Т. Балобаева, В.П. Бакакина, Э.И. Богуславского, Ю.М. Ведяева, В.Г. Гольдтмана, Ю.Д. Дядькина, В.В. Знаменского, А.И. Калабина, В.С. Лукьянова, В.И. Натоцинского, Б.А. Оловина, А.В. Павлова, Г.З. Перльштейна, С.В. Потемкина, В.Г. Пятакова, А.В. Рашкина, В.М. Старкова, П.Ф. Стафеева, Н.Н. Страбыкина, В.М. Харченко, С.Д. Чистопольского и др. В связи с интенсивным промышленным освоением северо- восточных районов России и значительным увеличением объемов производства строительных и открытых горных работ в криолитозоне задачи подготовки мерзлых пород к выемке, особенно оттаивание мерзлых пород и предохранение от сезонного промерзания, приобретают большое значение. В настоящее время эти проблемы являются актуальными, так как северные и северо- восточные районы России характеризуется сложными, специфическими горно-геологическими, геокриологическими и природноклиматическими условиями. Например, температурный режим Забайкальского края формируется под влиянием холодных областей севера и северо-востока Сибири. Из-за продолжительного зимнего периода, составляющего около 170 сут, низкой среднегодовой температуры воздуха (минус 1,9...6,5 оС), а также незначительного снежного покрова (150...500 мм) на территории Забайкалья наблюдается повсеместное распространение

многолетней мерзлоты (15...100 %). При этом теплофизические свойства горных пород в мерзлом состоянии резко изменяются. За счет увеличения связей между отдельными частицами минерального скелета горные породы приобретают очень высокую прочность. Например, временное сопротивление сдвигу мерзлого суглинка при температуре (минус 2 оС) в 10...20 раз больше, чем талого. Поэтому разработка мерзлых пород не эффективна или практически невозможна без их предварительного оттаивания и предохранения талых пород от сезонного промерзания. Практика дражной разработки россыпных месторождений показывает, что наиболее перспективными, эффективными являются способы, основанные на использовании естественных возобновляемых энергоресурсов (солнечной энергии, аккумулированной в воде). Повышение степени использования солнечной энергии всего лишь на 3...4 % дает возможность увеличить глубину оттаивания мерзлых пород за сезон на 1 м. Однако применяются эти способы совершенно недостаточно (не более 10 %). Поэтому для повышения производительности горных машин и в целом дражного флота необходима разработка новых и совершенствование известных способов оттаивания мерзлых горных пород, основанных на более полном использовании солнечной энергии. Вопрос о тепловой мелиорации горных пород при добыче россыпного золота в области многолетней мерзлоты в суровых климатических условиях Восточной Сибири впервые поставил П.И.Колосков в 1911-1915 гг., а первые опыты по промышленному использованию тепловой мелиорации были организованы В.П. Бакакиным в 1938 г. в верховьях р. Колымы. Им же была высказана идея применения светопрозрачных пленочных покрытий, которая получила отражение в исследованиях институтов ВНИИ-1, Иргиредмета, Института мерзлотоведения СО АН СССР, и в дальнейшем получила весьма существенное развитие в теоретических и экспериментальных исследованиях д-ра техн. наук, проф. А.В. Рашкина. Первую классификацию способов оттаивания мерзлых горных пород предложил В.Г. Гольдтман [1]. В ней в

качестве главного классификационного признака принят способ передачи тепла мерзлым породам и выделены три класса – кондуктивный, конвективный и комбинированный. Предложенная классификация до сих пор сохраняет свое научное и методическое значение. С учетом дополнений, основанных на современных достижениях науки и техники, она приведена в табл. 2.1. При дражной разработке нашли применение немногие из известных способов оттаивания, главным образом те, в которых используется естественный источник тепла – солнечная энергия. Таблица 2.1

Классификация способов оттаивания мерзлых горных пород (по В.Г. Гольдтману [1] с дополнениями авторов)

Класс	Способ переноса тепла	Группа	Спосо оттаивания	Подгруппа	Технологические приемы и технические средства
I	Кондуктивный	1	Тепловая мелиорация	1	1.1 Естественное оттаивание 1.2 Удаление растительного слоя, осушение 1.3 Применение пленочных покрытий
2	Послойное оттаивание	2	1	1.1 Периодическое удаление оттаявшего слоя 2.2 Применение ускорителей оттаивания	
3	Тепловые ванны	3	1	1.1 Солнечный водяной бассейн 3.2 Применение пленочных жировых слоев на водной поверхности 3.3 Солнечный водно-солевой бассейн	
4	Оттаивание накладными и погружными нагревателями	4	1	1.1 Накладные электрогрелки 4.2 Погружные электрогрелки в скважинах 4.3 Газо-пламенные нагреватели 4.4 Газо-пламенные нагреватели 4.5 Закрытые водяные иглы 4.6 Горячий камень, пожар 4.7 Термохимические нагреватели	
I	Конвективный	1	Фил	1	1.1 Филтрационнодренажный 1.1 Питание и дренаж траншеями 1.2 Питание шурфами и скважинами 1.3 Рыхление фильтрующих пород
2	Дождевалнодренажный	2	1	1.1 Обратное водоснабжение 2.2 Дренаж в горные выработки 2.3 Орошение под пленкой	
3	Филтрационноигловой	3	1	1.1 Погружение игл по мере оттаивания 3.2 Погружение игл бурением 3.3 Размещение игл в скважинах 3.4 Регулирование фильтрационного потока 3.5 Гидроразрыв пласта	
4	Взрывогидравлический	4	1	1.1 Питание и дренаж траншеями 4.2 Питание и дренаж шурфами или скважинами	

Окончание

табл. 2.1 К ласс С пособ переноса тепла Г рупппа Способ оттаивания П одгруппа Технологические приемы и технические средства I II К омбинированный 1 Пароигловой 1 .1 Погружение игл по мере оттаивания 1 .2 Погружение игл бурением 1 .3 Применение пленочных покрытий 2 Электрофизический 2 .1 Токи регулируемого высокого напряжения 2 .2 Токи промышленной частоты низкого напряжения 2 .3 Токи высокой частоты 2 .4 Электроосмос 3 Электрогидравлический 3 .1 Погружение игл бурением с последующим электрооттаиванием 3 .2 Электрооттаивание с последующим гидроразрывом пласта 4 Физико-химический 4 .1 ПАВ для регулирования тепловой мелиорации 4 .2 Насыщение солевыми растворами Способы оттаивания, основанные на кондуктивной теплопередаче потоков солнечной энергии, являются наиболее распространенными. К ним относятся тепловая мелиорация, послойное оттаивание, тепловые ванны. Сущность способов заключается в применении приемов тепловой мелиорации (естественное оттаивание, морозобойное растрескивание, удаление растительного слоя, осушение, применение пленочных покрытий), позволяющих изменять компоненты теплового баланса поверхности и повышать тепловой потенциал пород. Составляющая прямой солнечной радиации (Q' , Вт / м²) на горизонтальную площадку (S , м²) зависит от высоты солнца над горизонтом α и определяется по формулам [5, 12]: , ' 1 ' $Q = Q \times S$ (2.1) где Q_1 – тепловой поток прямой солнечной радиации, Вт; $\sin$; ' $S = S \times \alpha$ (2.2) $\sin \alpha = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \tau$, (2.3) где δ – склонение солнца; τ – часовой угол солнца; φ – географическая широта места наблюдений. Прямая и рассеянная солнечная радиация входят в коротковолновый спектр с длиной волны $1,7 \cdot 10^{-7} \dots 4,0 \cdot 10^{-7}$ м (99 % теплового потока с длиной волны свыше $2,9 \cdot 10^{-7}$ м) и образуют суммарную радиацию (Q , Вт / м²) [9]: , ' $Q = Q + q$ (2.4) где q – рассеянная солнечная радиация, Вт/м². На земной поверхности поток суммарной радиации перераспределяется и часть ее отражается пропорционально альбедо поверхности (A , %), а другая часть (B_k , Вт / м²) поглощается поверхностью: $B = Q - R$; $\kappa = -$ (2.5) $A = 100 \times R/Q$. (2.6) На земную поверхность

так же поступает часть длинноволнового (длина волн $4 \cdot 10^{-7} \dots 40 \cdot 10^{-7}$ м) излучения атмосферы (E_a , Вт / м²) и одновременно излучается в виде собственного излучения (E_z , Вт / м²), а их разность составляет эффективное излучение ($E_{эф}$, Вт / м²): $E_{эф} = E_z - E_a$ (2.7) Результирующая лучистого теплообмена – радиационный баланс (B , Вт / м²) представляет алгебраическую сумму составляющих солнечной радиации [5]: $B = Q + q + E_a - R - E$ (2.8) $B = Q - R - E_{эф}$ (2.9) Радиационный баланс положителен, если результирующий поток направлен к земле и, следовательно, земная поверхность поглощает больше радиации, чем отдает, и наоборот, – отрицателен, если приходная часть меньше расходной. Конвективный поток тепла (V , Вт) определяется по формуле М.П. Тимофеева: $Q_{42} = K \times \Delta t$ (2.10) где K_1 – коэффициент турбулентности, м² / с: 0,16 [1 (7,5) /], $2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot u_1$ $K = u \times D \times \Delta t$ (2.11) где Δt – разность температур воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м, °C; u – скорость ветра на высоте $z = 1$ м, м / с; D – коэффициент шероховатости: $1/(\ln 1/)$, $0 D = z$ (2.12) где z_0 – параметр шероховатости. Затраты тепла на испарение (L , Вт) определяются по методу турбулентной диффузии [4]: $1,47 \cdot 10^5 L = K_1 \times \Delta e \times$ (2.13) где Δe – разность упругости водяного пара на высоте 0,5 и 2,0 м, Па. Практика ведения открытых горных работ, а также теоретические исследования показывают высокую эффективность и надежность применения известных способов солнечно-радиационного оттаивания мерзлых горных пород. При этом осушение поверхности и вскрыша растительного покрова в наибольшей степени влияют на глубину и скорость оттаивания [13]. Однако все применяемые интенсивные способы оттаивания мерзлых золотоносных россыпей характеризуются, как правило, высокой себестоимостью и энергоёмкостью, и это ограничивает их применение, а естественный солнечно-радиационный способ имеет низкий коэффициент использования солнечной энергии и длительный период оттаивания мерзлых пород. Например, за летний сезон глубина оттаивания мерзлых пород естественным солнечно-радиационным

способом в северо-восточных районах Забайкальского края не превышает 2,2 м [15]. Наиболее приемлемым способом подготовки мерзлых дражных полигонов при вскрыше торфов является послойное оттаивание. Структуру теплового баланса при послойном оттаивании мерзлых пород изменяют периодическим удалением талого слоя. Этим способом с использованием бульдозеров, бульдозероврыхлителей и скреперов оттаивают и одновременно удаляют свыше 110...120 млн м³ /год горных пород [4, 12]. На дражных полигонах применение послойного оттаивания ограничивается возможностями и эффективностью использования мощной землеройной техники, урезом воды и мощностью золотоносного пласта. Разработкой методик расчета послойного оттаивания занимались В.Т. Балобаев, Б.А. Оловин, А.В. Павлов и И.Т. Рейнюк. Экспериментальные исследования по применению способов послойного оттаивания приведены в работах Н.К. Клюкина, К.В. Кошлакова, Л.Н. Морозова и Г.А. Сулина. При этом установлена эмпирическая зависимость между временем и эффективностью послойного оттаивания $h = \tau / (a + b\tau)$, (2.14) где h – мощность оттаявшего слоя, м; τ – время оттаивания слоя, сут; a – эмпирический коэффициент, $a = 0,066...0,128$; b – эмпирический коэффициент, $b = 0,036...0,047$.

3.3. Практическая работа №5. Расчет солнечно-радиационного оттаивания мерзлых горных пород Среди известных способов оттаивания мерзлых горных пород выделяют естественные способы и способы оттаивания с искусственным источником тепла. В практике ведения горных работ под естественным способом оттаивания принято называть совокупность приемов горнотехнической тепловой мелиорации, направленных на ускорение оттаивания под действием лучистой энергии солнца. Осушение поверхности и удаление растительного покрова в наибольшей степени влияют на глубину и скорость оттаивания. Удаление снега в Забайкальском крае не влияет на ускорение оттаивания. Оттайка мерзлых пород солнечной радиацией происходит под действием тепло- и массообменных процессов в системе «атмосфера приземного воздуха – искусственное покрытие – поверхностный

слой талых пород – подвижная граница фазового перехода – мерзлые породы». В поверхностном слое выделяется подсистема «поверхность – слой суточных колебаний температуры». Формирующиеся поля температуры, влажность пород, динамика движения границы фазового перехода зависят от этих процессов и свойств оттаиваемого массива. Чтобы выявить пути повышения эффективности оттаивания пород, необходимо установить количественные закономерности в формировании потоков тепла и влаги, а также их связи с полями температуры и влажности. Способы оттаивания с искусственными источниками тепла не получили широкого применения в практике ведения горных и строительных работ. Главным образом нашли применение те способы оттайки мерзлых пород, в которых используется естественный источник тепла – солнечная энергия. Способы оттаивания, основанные на кондуктивной теплопередаче потоков солнечной энергии, являются наиболее распространенными. К ним относятся тепловая мелиорация; послойное оттаивание; тепловые ванны; оттаивание погружными и накладными нагревателями. Сущность способов заключается в применении приемов тепловой мелиорации (естественное оттаивание, удаление растительного слоя, осушение, применение пленочных покрытий), позволяющих изменять компоненты теплового баланса поверхности и повышать тепловой потенциал горных пород. Способы глубинного оттаивания горных пород основаны на конвективной теплопередаче. Теплоносителем является вода, нагретая в природных условиях солнечной радиацией. К ним относятся фильтрационно-дренажное, дождевально-дренажное, гидроигловое и взрывогидравлическое оттаивание. Комбинированные способы оттаивания горных пород и грунтов применяются в ограниченных масштабах из-за большого расхода электроэнергии, высокой трудоемкости и низкой производительности. К ним относятся паро-игловая, электрофизическая, электрогидравлическая и физикохимическая оттайка. Глубину оттаивания под действием солнечной радиации определяют по формуле [4]:

$$\left(\frac{1}{\alpha} \right) \left(\frac{1}{\beta} \right) (2 /) (/ 273) (/) / (), 2 \text{ от } t \text{ т } t$$

$$h = -\lambda N + \lambda N + \lambda Q \times M N - \tau - \lambda \times t \times \tau \pi \times (3.11)$$
 где τ – продолжительность оттаивания (продолжительность тёплого периода, когда температура воздуха выше 0 °C), ч; $Q\phi$ – удельная теплота фазового перехода ($Q\phi = 93 \cdot G$ Вт · ч / м³, здесь G – льдистость, кг / м³); λ_t, λ_m – коэффициенты теплопроводности талых и мёрзлых пород, Вт/(м · °C); a – коэффициент температуропроводности мёрзлых пород, м² /ч, $a_m = \lambda_m / C_{om}$, здесь C_{om} – объёмная теплоёмкость мёрзлых пород, Вт · ч / (м · °C); t_m – среднегодовая температура мёрзлых пород, °C; M, V_t / м²; N, V_t / (м² · °C) – средние за тёплый период значения параметров теплообмена, рассчитываются отдельно для «естественного» способа и для способа оттаивания с применением теплопрозрачных покрытий в зависимости от значений метеопараметров по формулам [4]: 1) «естественный» способ (1) () [()], е 1 2 3 4 5 6 7 в $M = -A \cdot Q + K + K \times e + K + K \times e \times V + K + K - K \times e \times V \times t$ (3.12), е 8 9 10 в $N = K + K \times V + K \times t$ (3.13) где $K_1 \dots K_{10}$ – постоянные коэффициенты, характеризующие вид поверхности, для «естественного» способа оттаивания принимают: $K_1 = 4060, K_2 = 0,057, K_3 = 1980, K_4 = 0,038, K_5 = 24,6, K_6 = 3,72, K_7 = 131 \cdot 10^{-6}, K_8 = 15,4, K_9 = 7,32, K_{10} = 0,052$; A – альбедо (коэффициент отражения коротковолновой солнечной радиации); Q – среднее за тёплый период значение потока солнечной радиации, Вт/м²; V – среднее значение скорости ветра, м / с; t_v – средняя за тёплый период температура воздуха, °C; e – упругость водяного пара, н / м²; 2) оттаивание с применением теплопрозрачных покрытий [4]: $= / \times \{ \times + \times [1 - \times (1 -) - - \times \times (1 - 2 \times) -] - \} + 2 M_{п} \lambda_{п} \phi \alpha_1 T_{в} Q \rho_1 A_{г} A_{п} A_{г} \rho_1 A_{п} \alpha L_{н} (1 / \{ [/ 2 (1)] (1 / 2) (4,9 50 0,1) \}. 1 1 + + \delta_{п} \times \alpha_1 \phi \times Q \alpha + \rho_1 \times - A_{г} + - A - \alpha \times \times T_o - - \times Q$ (3.14) $= (+ 2,27 \times /) \times [1 + (1 \times -) /] + 0,2 5 N_{п} \alpha_2 \alpha_3 \delta_{в} \alpha \delta \lambda \phi 4,9 (1 / 2) (1 /) . 1 1 1 1 + - A - \alpha \times + \delta \times \alpha + \delta \times \alpha \phi$ (3.15) где $\alpha_1 = 6,164 + 3,605 \cdot V$; (3.16) $\alpha_2 = 4,77 \cdot [1 + (0,55 - 1370 \cdot \delta_{п}) \cdot V]$; (3.17) $\alpha_3 = 0,37 \cdot [1 + (1,72 - 3440 \cdot \delta_{п}) \cdot V]$; (3.18) $\phi = \alpha_1 \cdot \lambda_{п} / (\alpha_2 + 2,27 \cdot \alpha_3 / \delta_{в} 0,25) - \alpha_1 \cdot \delta_{п} + \lambda_{п}$, (3.19) где $\delta_{в}$ – высота установки покрытия (толщина воздушного промежутка), м; $\delta_{п}$ –

толщина покрытия, м; ρ_1 , α – интегральные коэффициенты пропускания и поглощения покрытия с учётом многократного отражения лучистых потоков между поверхностями пород и покрытия, определяются по формулам [4]: $\exp(-\delta)$; $\rho_1 = \frac{1}{k} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)$ (3.20) $\alpha = \frac{A_p}{A_g + A_p}$ (3.21) где A_g – альбедо открытой увлажнённой поверхности пород; A_p – альбедо покрытия; k – коэффициент ослабления (для плёнки $k = 2,6 - 3,7$); $\Delta\rho_1$ – относительное ослабление лучистого коротковолнового потока слоем конденсата ($\Delta\rho_1 = 0,03 - 0,04$); α_1 – коэффициент поглощения энергии покрытием в длинноволновом диапазоне; A_1 – коэффициент отражения длинноволнового излучения покрытием; λ_p – коэффициент теплопроводности покрытия, Вт / (м·°C); L_n – средняя интенсивность энергозатрат на испарение осадков, (по экспериментальным наблюдениям $L_n = 12,9$ Вт / м²); T_o – температура открытой поверхности, °K, определяется по формуле [4]: $T_o = \frac{Q_{\lambda t} + h_o \times M_e}{\lambda_t + h_o \times N_e}$ (3.22) В формуле (3.11) при оттайке под пленкой необходимо (λ_t) умножать на коэффициент 1,2. При этом срок оттаивания мерзлых горных пород (τ) нужно увеличить на 10...15 сут. Пример №3

Выполнить расчёт солнечно – радиационного оттаивания мёрзлых горных пород для следующих условий (табл. 3.6):

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Величина
Солнечная радиация	Q	Вт/м ²	170
Средняя температура воздуха за тёплый период года	t_v	°C	+10,5
Скорость ветра	V	м/с	1,5
Упругость водяного пара	e	н/м ²	1050
Продолжительность тёплого периода	τ	сут	148
Температура мёрзлых пород	t_m	°C	- 2,1

Тепловые свойства пород: коэффициенты теплопроводности соответственно талых и мёрзлых пород $\lambda_t = 1,04$ Вт / (м·°C), $\lambda_m = 1,3$ Вт / (м·°C); льдистость $G = 248$ кг / м³; объёмная теплоёмкость мёрзлых пород $\text{som} = 519$ Вт·ч / (м³·°C). Характеристика теплопрозрачного покрытия: высота установки $\delta_v = 0,05$ м, толщина плёнки $\delta_p = 0,06 \cdot 10^{-3}$ м; коэффициенты отражения $A_g = 0,08$, $A_p = 0,17$, $A_1 = 0,1$, $A = 0,12$; коэффициенты поглощения $\alpha = 0,028$, $\alpha_1 = 0,43$; коэффициент

пропускания $\rho_1 = 0,813$; коэффициент теплопроводности $\lambda_p = 0,2 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$. Учитывая суровые условия района р. Бодайбо, принять в мае 26 дней оттайки, или 624 час. Решение: 1. Определяем глубину оттаивания при естественном способе по формуле 3.11, предварительно рассчитав коэффициенты M_e и N_e по формулам 3.12, 3.13. $M_e = (1 - 0,12) \cdot 170 + 4060 + 0,057 \cdot 1050 + (1980 + 0,038 \cdot 1050) \cdot 1,5 + [24,6 + (3,72 - 131 \cdot 10^{-6} \times 1050) \cdot 1,5] \cdot 10,5 = 8152,674 \text{ Вт/м}^2$; $N_e = 15,4 + 7,32 \cdot 1,5 + 0,052 \cdot 10,5 = 26,93 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. Удельная теплота кристаллизации воды – плавления льда определяется как произведение скрытой теплоты кристаллизации воды и льдистости пород: $Q_{\phi} = 93 \cdot 248 = 23064 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$. Тогда глубина оттаивания на конец мая составит: $(1,3 \cdot 2,1 / 23064) 624 / (3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}) = 1,21$; $(1,04 / 26,93) (1,04 / 26,93) (2 \cdot 1,04 / 23064) (8152,7 / 26,93 \cdot 273) 624 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 1,21$ – на конец июня: $(1,3 \cdot 2,1 / 23064) 1344 / (3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}) = 1,80$; $(1,04 / 26,93) (1,04 / 26,93) (2 \cdot 1,04 / 23064) (8152,7 / 26,93 \cdot 273) 1344 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 1,80$ – на конец июля: $(1,3 \cdot 2,1 / 23064) 2088 / (3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}) = 2,26$; $(1,04 / 26,93) (1,04 / 26,93) (2 \cdot 1,04 / 23064) (8152,7 / 26,93 \cdot 273) 2088 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 2,26$ – на конец августа: $(1,3 \cdot 2,1 / 23064) 2832 / (3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}) = 2,63$; $(1,04 / 26,93) (1,04 / 26,93) (2 \cdot 1,04 / 23064) (8152,7 / 26,93 \cdot 273) 2832 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 2,63$ – на конец сентября: $(1,3 \cdot 2,1 / 23064) 3672 / (3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}) = 2,96$; $(1,04 / 26,93) (1,04 / 26,93) (2 \cdot 1,04 / 23064) (8152,7 / 26,93 \cdot 273) 3672 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 2,96$. 2. Определяем глубину оттаивания при использовании теплопрозрачного покрытия по формуле 3.11. Вначале рассчитываем параметры M_p и N_p по формулам 3.14, 3.15, для чего вычисляем T_0 , α_1 , α_2 , α_3 , φ по формулам 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20: $T_0 = (273 \cdot 1,04 + 2,47 \cdot 8152,7) / (1,04 + 2,47 \cdot 26,93) = 302 \text{ } ^\circ\text{К}$; $\alpha_1 = 6,164 + 3,605 \cdot 1,5 = 11,57$; $\alpha_2 = 4,77 \cdot [1 + (0,55 - 1370 \cdot 0,06 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,7] = 8,56$; $\alpha_3 = 0,37 \cdot [1 + (1,72 - 3440 \cdot 0,06 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,7] = 1,3$; $\varphi = 11,57 \cdot 0,2 / (8,56 + 2,27 \cdot 1,3 / 0,050,25) - 11,57 \cdot 0,06 \cdot 10^{-3} + 0,2 = 0,356$. Температура воздуха принимается по шкале Кельвина: $T_v = 10,5 + 273 = 283,5 \text{ } ^\circ\text{К}$. $M_p = 0,2 / 0,356 \cdot \{11,57 \cdot$

$283,5 + 170 \cdot [1 - 0,813 \cdot (1 - 0,08) - 0,17 - 0,08 \cdot 0,8132 \cdot (1 - 2 \cdot 0,17) - 0,028] - 12,9] + (1 + 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 11,57 / 0,365) \cdot \{170 \cdot [0,028 / 2 + 0,813 \cdot (1 - 0,08)] + (1 - 0,1 - 0,43 / 2) \cdot (4,9 \cdot 302 - 50 - 0,1 \cdot 170)\} = 3136,8 \text{ Вт/м}^2$; $N_{\Pi} = (8,56 + 2,27 \cdot 1,3 / 0,050,25) \cdot [1 + (11,57 \cdot 0,06 \cdot 10^{-3} - 0,2) / 0,356] + 4,9 \cdot (1 - 0,1 - 0,43 / 2) \cdot (1 + 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 11,57 / 0,356) = 9,87 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°C)}$. Тогда глубина оттаивания составит на конец апреля (с 20 по 30): $0,13 \ 1,08 \ 0,02 \ 0,94$; $3 (1,3 \ 2,1 / 23064) 240 / (3,14 \ 2,5 \ 10 (2 \ 1,248 / 23064) (3136,8 / 9,87 \ 273) 240 2 (1,248 / 9,87) (1,248 / 9,87) \cdot h = - + - = - - \dots = - + + \dots - -$ на конец мая: $(1,3 \ 2,1 / 23064) 984 / (3,14 \ 2,5 \ 10) 0,13 \ 2,18 \ 0,04 \ 2,01$; $(1,248 / 9,87) (1,248 / 9,87) (2 \ 1,248 / 23064) (3136,8 / 9,87 \ 273) 984 \ 3 \ 2 \cdot h = - \dots = - + - = - + + \dots - - -$ на конец июня: $(1,3 \ 2,1 / 23064) 1704 / (3,14 \ 2,5 \ 10) 0,13 \ 3,13 \ 0,05 \ 2,95$; $(1,248 / 9,87) (1,248 / 9,87) (2 \ 1,248 / 23064) (3136,8 / 9,87 \ 273) 1704 \ 3 \ 2 \cdot h = - \dots \cdot = - + - = - + + \dots - - -$ на конец июля: $(1,3 \ 2,1 / 23064) 2448 / (3,14 \ 2,5 \ 10) 0,13 \ 3,44 \ 0,06 \ 3,25$; $(1,248 / 9,87) (1,248 / 9,87) (2 \ 1,248 / 23064) (3136,8 / 9,87 \ 273) 2448 \ 3 \ 2 \cdot h = - \dots = - + - = - + + \dots - - -$ на конец августа: $(1,3 \ 2,1 / 23064) 3192 / (3,14 \ 2,5 \ 10) 0,13 \ 3,93 \ 0,07 \ 3,73$; $(1,248 / 9,87) (1,248 / 9,87) (2 \ 1,248 / 23064) (3136,8 / 9,87 \ 273) 3192 \ 3 \ 2 \cdot h = - \dots \cdot = - + - = - + + \dots - - -$ на конец сентября: $(1,3 \ 2,1 / 23064) 3912 / (3,14 \ 2,5 \ 10) 0,13 \ 4,35 \ 0,08 \ 4,14$. $(1,248 / 9,87) (1,248 / 9,87) (2 \ 1,248 / 23064) (3136,8 / 9,87 \ 273) 3912 \ 3 \ 2 \cdot h = - \dots \cdot = - + - = - + + \dots - - -$ Фактическая глубина оттаивания мерзлых пород в апреле, мае, сентябре будет меньше, а в июне, июле, августе больше, чем расчетная, так как в расчетах принята средняя температура воздуха за теплый период года.

Задание для самостоятельной работы №3 1. Определить глубину оттаивания мерзлых пород при естественном способе и при использовании теплопрозрачных пленок. Тепловые свойства мерзлых пород принять согласно соответствующему варианту задачи №2 (льдистость, объемная теплоёмкость, коэффициент теплопроводности). Коэффициент теплопроводности талых пород назначать через соответствующий коэффициент теплопроводности мерзлых пород из соотношения ($\lambda_t = 0,8$.

λм). Характеристики теплопрозрачного покрытия принять согласно примеру №3. Метеопараметры приведены в табл. 3.7. 2. Построить графики зависимости $h_{от} = f(\tau)$ для двух способов оттаивания (продолжительность оттаивания изменять через 10...30 сут). Результаты расчётов для естественного способа сравнить с расчётами по формуле Стефана-Заальшютце. 3. Определить предельно возможную глубину оттаивания при использовании селективно прозрачных и предельно тонких плёнок, для чего принять: толщину плёнки $\delta_{п} = 0,01 \cdot 10^{-3}$ м; коэффициенты отражения – $A_{п} = 0$, $A_1 = 0,9$; коэффициенты поглощения – $\alpha = 0$, $\alpha_1 = 0,1$. Таблица 3.7

Исходные данные к расчету глубины оттаивания

Вариант	Метеопараметры района разработки месторождения	Температура мерзлых пород (t_m), °C	Q , Вт / м ²	$t_{в}$, °C	V , м / с	e , н / м ²	τ , сут
Прииск Дамбуки	190	11,5	3,1	1100	153	-2,1	
Прииск Уркима	196	11,0	3,0	1150	150	-2,5	
Ципикан	175	10,1	1,7	1120	149	-2,8	
Прииск Дальняя Тайга	175	10,2	1,6	1060	147	-3,2	
Енисейск, Красноярский край	189	9,9	1,4	1030	151	-1,5	
Северо-Енисейск	185	8,6	1,3	1020	150	-2,0	
Сусуман							

Лекция 8

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА (ТЕПЛО ЗЕМНЫХ НЕДР)

1. Термодинамические параметры земной коры

Верхняя толща горных пород Земли называется земной корой. Земная кора простирается от поверхности Земли до границы Мохоровичича, которая отделяет земную кору от мантии Земли. Мощность земной коры в среднем колеблется от 7-10 км под дном океана и до 35-40 км на континенте. Ниже земной коры располагаются верхняя и нижняя мантии Земли, далее следует внешнее и внутреннее ядра Земли.

Средняя плотность Земли составляет $5,52 \times 10^3$ кг/м³, а средняя плотность земной коры $2,73 \times 10^3$ кг/м³. Плотность Земли возрастает с

глубиной, на поверхности она равна $2,7 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, а во внутреннем ядре, т.е. на глубине 5100-6371 км, составляет $(12-12,3) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$. Это связано с увеличением давления P по мере приближения от поверхности Земли к ее центру, которое можно рассчитать по следующей формуле:

$$dP/dr = -gy = -\Gamma my/r^2, \quad (9.1)$$

где r — текущее значение радиуса Земли, м; g — ускорение свободного падения, м/с²; y — текущее значение плотности, $y = y(r) \text{ кг/м}^3$; Γ — гравитационная постоянная, $\Gamma = 6,67 \times 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$; m — масса сферы радиусом r , кг.

Согласно выражению (9.1), давление в центре Земли должно составлять около $3,5 \times 10^5$ млн Па.

С позиции ведения горных работ интерес представляют термодинамические параметры земной коры и то лишь в ее верхних слоях.

Температура земной коры в слое пород, непосредственно прилегающем к поверхности Земли, зависит от времени суток и года. Глубина, до которой прослеживается влияние атмосферных колебаний температуры, достигает не более 20 м (чаще всего эта глубина составляет 6-7 м). Ниже этой глубины температура пород повышается. Таким образом, существует слой породы, в котором температура остается постоянной в любое время года. Этот слой называется **нейтральным**. Глубина залегания нейтрального слоя H_0 (м) не одинакова для различных районов Земли, но постоянна для данного района.

С увеличением глубины H ниже нейтрального слоя температура горных пород земной коры увеличивается приблизительно по линейному закону:

$$T = T_0 + \Gamma_r(H - H_0), \quad (9.2)$$

где T_0 — температура нейтрального слоя, К;

Γ_r — геотермический градиент, $\Gamma_r = \partial T / \partial H$, К/м.

Величина, обратная геотермическому градиенту, называется **геотермической ступенью** ($\Gamma_c = \partial H / \partial T$).

Согласно выражению (9.2), геотермический градиент Γ_r (К/м) и геотермическая ступень Γ_c (м/К) соответственно равны

$$\Gamma_r = (T - T_0) / (H - H_0) \quad (9.3)$$

$$\Gamma_c = (H - H_0) / (T - T_0). \quad (9.4)$$

Среднее значение геотермического градиента составляет 0,032 К/м. Геотермический градиент изменяется от 0,008 до 0,1 К/м. Средняя его величина в районе Криворожского бассейна составляет 0,016 К/м, в районе Донбасса — 0,02 К/м, а в районах локальных термоаномалий Камчатки и Кавказа она достигает 0,2 К/м.

На некоторых горнодобывающих предприятиях, особенно в районах с большими значениями геотермического градиента, на глубинах более 1,5-2 км температура горных пород превышает санитарные нормы (табл. 9.1), что требует применения специальных технико-гигиенических мероприятий для обеспечения нормальных условий труда.

При среднем геотермическом градиенте, равном 0,032 К/м, температура на глубине 5 км составит около 433 К (160°C). Количество тепла, аккумулированное в 1 км³ горных пород при их объемной теплоемкости, равной $(0,8-1,2) \cdot 10^3$ кДж/(м³·К), на этой глубине составит около $(12-20) \cdot 10^{13}$ кДж, что эквивалентно теплу, получаемому при сжигании $(4,3-7,1) \cdot 10^6$ т условного топлива (теплота сгорания условного топлива равна $29,3 \cdot 10^3$ кДж/кг). Для сопоставления интересно отметить, что суммарная теплота сгорания всех мировых запасов топлива составляет примерно $16 \cdot 10^{19}$ кДж.

Таблица 9.1

Район или РУДНИК	Страна	Добываемое полезное ис- копаемое	Глубина, м	Темпера- тура, К(°С)	Геотерми- ческая сту- пень, Γ_c , м/К
Донбасс	Украина	Уголь	1450	313(40)	38
Колар	Индия	Золото	2750	330(57)	65
Морро-	Бразилия	Золото	2325	327(54)	н.д.

Вальхо					
Магда	США	Медная руда	1220	333(60)	36.2

Так как с увеличением глубины ниже нейтрального слоя температура горных пород повышается, то, согласно второму закону термодинамики, тепло движется из глубинных слоев земной коры к ее поверхности.

Средний удельный тепловой поток из недр Земли к ее поверхности составляет $q_{\text{ср}} = 7 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2$. Общее количества тепла, выделяемое с поверхности Земли при данном удельном тепловом потоке, составляет $8 \cdot 10^{20}$ Дж/год, что эквивалентно теплу, получаемому при сжигании 27 млрд т условного топлива или примерно $1,9 \cdot 10^{10}$ т нефти.

В области древних щитов удельный тепловой поток минимален, $q = (3,3-4,6) \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2$, в районах молодых горных образований он достигает до $8 \cdot 10^{-2}$, а в районах современных вулканов — до $(16-32) \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2$

Из-за малой величины удельного геотермического потока его использование в практических целях весьма сложно. Значительно больший практический интерес с точки зрения энергетических ресурсов будущего представляет использование глубинного тепла, сконцентрированного в горных породах на глубине до 3 км, в том случае, если их температура превышает 393-423 К (120-150°C). Эти условия соответствуют районам Крыма, Предкарпатья, Закарпатья. В настоящее время практический интерес представляет тепловая энергия парогидротерм и термальных вод. Парогидротермы имеются на Камчатке, Курильских островах и в других районах с давлением пара в устье скважин до $(5-6) \cdot 10^5 \text{ Па}$. Термальные воды обнаружены во многих районах Кавказа, Сибири, Средней Азии и других с дебитом до 50-60 м³/ч, что позволяет использовать их для теплофикации ряда городов, развития парникового хозяйства.

2. Источники тепла земных недр

Тепловое поле земной коры формируется в результате процесса теплообмена при наличии источников тепла. Теплообмен в земной коре осуществляется посредством теплопроводности, конвекции и излучения.

В зависимости от природы процессов, приводящих к выделению тепла в недрах Земли, источники тепла можно подразделить на два типа: **первичные** и **вторичные**.

К первичным источникам относятся те, которые преобразуют в тепло энергию внеземного происхождения (энергию радиоактивного распада, энергию солнечной радиации, энергию земных приливов, гравитационную энергию). К вторичным источникам относятся те, которые преобразуют в тепло энергию внутриземного происхождения (энергию фазовых и химических превращений, энергию тектонических движений). Первичные источники формируют тепловой режим Земли в целом, а вторичные — тепловые аномалии. Первичные источники длительны по времени (практически бесконечны) и значительны по мощности, вторичные — относительно кратковременны и маломощны.

Тепло радиоактивного распада называют радиогенным. Оно образуется в результате того, что при распаде происходит излучение α - и β - частиц и γ - фотонов, которые поглощаются окружающими породами и передают им свою энергию. При этом вся их энергия превращается в тепло.

Количество тепла, образующегося в единицу времени в результате распада одного грамма радиоактивного вещества, называется **удельным радиогенным теплом**. Для основных радиоактивных элементов урана, тория и калия оно соответственно равно $9,78 \times 10^{-5}$, $26,3 \times 10^{-6}$ и $35,5 \times 10^{-10}$ Дж/ (кг х с).

Все радиоактивные источники выделяют внутри Земли 4×10^{20} - 4×10^{21} Дж ежегодно. Количество тепла, выделившегося в Земле за время ее существования в результате распада радиоактивных элементов, составляет $(5,8-20) \times 10^{30}$ Дж.

Количество тепла, доставляемое на Землю солнечным излучением, можно определить по формуле

$$Q = A \pi R_p^2 \tau \quad (9.11)$$

где A — солнечная постоянная, равная $0,138 \times 10^4$ Вт/м²; R_z — радиус Земли, равный $6,371 \cdot 10^6$ м; τ — время, с.

Учитывая, что в году около $3 \cdot 10^7$ с, и принимая во внимание, что под воздействием солнечного излучения находится постоянно только половина поверхности Земли, согласно выражению можно определить количество тепла, передаваемое Солнцем верхним слоям атмосферы Земли за один год. Оно составляет около $27 \cdot 10^{23}$ Дж/год. Примерно половина этого тепла поглощается атмосферой и рассеивается в мировое пространство, а вторая половина поглощается на Земле.

Тепло, доставляемое на поверхность Земли солнечным излучением, формирует тепловой режим поверхностного слоя пород, расположенных выше нейтрального слоя. Суточные колебания температуры воздуха оказывают влияние на температурный режим поверхностного слоя Земли толщиной не более 0,5 м, а годовые — не более 20 м.

Выделение тепла в Земле в результате земных приливов обусловлено вертикальным смещением ее поверхности под действием притяжения Солнца и Луны. Такие смещения возможны вследствие того, что Земля не является абсолютно твердым телом, а земная кора разбита на блоки.

Вертикальные смещения поверхности Земли за счет земных приливов и отливов достигают 0,5 м. Количество тепла, выделяющегося в Земле в единицу времени, в результате этого составляет порядка $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Суммарное количество тепла, выделившееся в Земле за время ее существования за счет приливов и отливов, составляет примерно $36 \cdot 10^{29}$ Дж.

Гравитационная составляющая первичных источников тепла обусловлена выпадением на Землю мелких частиц и метеоритов и переходом их кинетической энергии в тепловую. Кроме этого, под действием сил

гравитации в глубь Земли перемещаются более тяжелые вещества, что также сопровождается выделением тепла. Если предположить, что ядро Земли состоит из железа, которое стекалось к центру, то количество тепла, выделенного при этом, составит около 10×10^{30} Дж. Основным вторичным источником тепла является энергия тектонических движений, которая выделяется при землетрясениях в результате трений блоков земной коры друг о друга.

Тепловая энергия, образующаяся в результате фазовых переходов и химических реакций в Земле, вносит свой вклад в формирование теплового режима локальных районов.

3. Процессы теплопереноса в недрах Земли

Как было отмечено ранее теплообмен в горных породах осуществляется теплопроводностью, конвекцией и излучением. Применительно к задачам горного производства весьма важной является задача регулирования теплового режима шахт и рудников при отработке глубоких горизонтов, а также при подземной разработке в условиях многолетнемерзлых пород.

Решение практических задач регулирования теплового режима шахт и рудников непосредственно связаны с процессами теплопереноса в недрах Земли.

Теплоперенос за счет решеточной составляющей теплопроводности и конвекции в основном формирует тепловой режим верхних слоев земной коры. На глубинах более 50 км в связи с высоким давлением и температурой теплоперенос осуществляется главным образом за счет электронной составляющей теплопроводности и теплообмена излучением.

С увеличением глубины и повышением температуры решеточная составляющая теплопроводности уменьшается, а электронная увеличивается, поэтому на глубине около 100 км теплопроводность пород минимальна, что

способствует дросселированию оттока тепла из глубинных слоев Земли к ее поверхности.

Так как теплоемкость воды очень велика, то составляющая теплопереноса за счет конвекции при движении подземных вод оказывает существенное влияние в перераспределении тепловых потоков в верхних водонасыщенных слоях земной коры.

4. Использование тепла земных недр

Геотермальные ресурсы разделяют на повсеместно распространенные и локализованные. *Повсеместно распространенные геотермальные ресурсы* представлены теплом, которое аккумулировано твердыми горными породами. *Локализованные геотермальные ресурсы* — это участки земной коры с аномально высокими температурами. Они представлены очагами магмы, высокотемпературными газами, парами и водами. Повсеместно распространенные геотермальные ресурсы в пределах суши на глубинах до 8 км составляют примерно 8×10^{23} кДж. Локализованные геотермальные ресурсы можно оценить лишь весьма приблизительно по количеству подземных вод и их температуре на заданной глубине. Полагают, что теплосодержание подземных вод в толще земной коры до 5 км составляет около 16×10^{18} кДж, а в толще до 8 км — $26,8 \times 10^{18}$ кДж. Локализованные геотермальные ресурсы имеют более высокую концентрацию, но меньше по абсолютному значению, чем повсеместно распространенные.

В настоящее время практическое применение находит тепло парогидротерм и термальных вод в России, Италии, Исландии, Новой Зеландии, Японии, США, Мексике, Венгрии (всего в 80 пунктах земного шара).

В основном это тепло используется для теплофикации и частично для выработки электроэнергии. Впервые электроэнергия на базе использования тепла термальных вод была получена в Италии в 1889 г. В России на базе

термальных вод функционирует Паратунская электростанция на Камчатке. Суммарная мощность всех электростанций в мире, работающих на базе термальных вод, невелика и составляет в настоящее время около 1 млн кВт. Самая мощная электростанция такого типа функционирует в Италии. Ее мощность достигает 320 мВт. В России прогнозируется создание более мощной электростанции в районе г. Махачкалы на базе термальных вод с температурой до 423 К (150°C), которые будут добывать с помощью скважины, пробуренной на глубину до 5 км. Широкие возможности по использованию энергии термальных вод имеются в районах Сибири и юго-восточных районов России, где разведано более 50 бассейнов термальных вод с температурой 353-393 К (80-120°C), а в вулканических районах до 573 К (300°C).

С точки зрения энергетики будущего большой интерес представляет использование глубинного тепла горных пород, залегающих на глубинах до 6-8 км, имеющих температуру 423-473 К (150-200°C). В настоящее время ведутся исследования по разработке систем извлечения геотермических ресурсов.

Системой извлечения называется комплекс естественных и искусственных каналов и технических средств вывода тепла из недр земной коры на поверхность. Система извлечения включает в себя породные теплообменники, вскрывающие каналы, подвижный теплоноситель, комплекс технических средств.

Породные теплообменники представляют собой объемные области массива горных пород с повышенной температурой, большой теплообменной поверхностью и проницаемостью, достаточной для фильтрации жидкого теплоносителя. Основной задачей породных теплообменников является интенсификация процесса отбора тепла от массива горных пород и передача его жидкому теплоносителю. Породные теплообменники могут быть естественными или искусственными, создаваемыми с помощью специальных взрывов в одной скважине или в серии скважин.

Вскрывающие каналы служат для отвода на земную поверхность теплоносителя. Они могут быть также естественными и искусственными. В качестве естественных вскрывающих каналов могут служить пористые пласты или трещиноватые породы, залегающие в массиве непроницаемых пород, соединяющие породные теплообменники с земной поверхностью. Искусственные вскрывающие каналы представляют собой скважину или систему скважин, пробуренных до глубины залегания породных теплообменников,

В качестве подвижного теплоносителя могут быть газы, пары парогазовые смеси, вода. Подвижные теплоносители подразделяют на природные (*эндогенные*) и нагнетаемые с земной поверхности к породному теплообменнику (*техногенные*).

Движение теплоносителя по вскрывающим каналам может быть естественным и принудительным. Естественное движение имеет место в том случае, когда давление в породном теплообменнике достаточно для перемещения теплоносителя по вскрывающим каналам на земную поверхность.

В этом случае подпитка породного теплообменника жидким теплоносителем осуществляется за счет естественной циркуляции или за счет термодиффузии влаги в массиве.

Принудительное движение теплоносителя по вскрывающим каналам возможно обеспечить путем нагнетания его через подающую скважину или систему подающих скважин к породному теплообменнику с последующей откачкой теплоносителя через заборную скважину. Нагнетаемый в теплообменник теплоноситель (нисходящий поток) отличается от откачиваемого (восходящий поток) не только температурой и теплосодержанием, но и агрегатным и химическим составом.

Задачей комплекса технических средств является улавливание и сбор теплоносителя, поддержание заданного напора и расхода нисходящего и восходящего потоков теплоносителя, отбор тепла от выведенного на

поверхность теплоносителя и изменение его агрегатного и химического состава, передача тепла от получаемого теплоносителя рабочему теплоносителю с заданными параметрами.

В настоящее время вполне реальными являются проекты использования геотермальных ресурсов с применением искусственных вскрывающих каналов и зон повышенной трещиноватости массива на рабочих горизонтах (породных теплообменников). Теплопроизводительность породного теплообменника (количество тепла, отдаваемое теплоносителю в единицу времени) зависит от его объема и температуры пород. С целью вовлечения в активную область теплообмена с теплоносителем как можно большего объема пород рекомендуют создавать одну нагнетательную скважину и несколько отводящих. Нагнетательная скважина служит для нагнетания в породный теплообменник теплоносителя (воды), а отводящие скважины — для отвода нагретого теплоносителя от породного теплообменника до земной поверхности. На уровне рабочего горизонта каждую отводящую скважину состыковывают с нагнетательной путем искривления ствола скважин при их бурении. Искривленные участки скважин на уровне рабочего горизонта подвергают торпедированию с целью создания продольных (вдоль скважин) зон дробления массива с повышенной проницаемостью, которые в совокупности представляют породный теплообменник.

Соединение вертикальной нагнетательной скважины с каждой отводящей может быть осуществлено, если последние будут пробурены под некоторым углом к вертикали в направлении нагнетательной скважины так, чтобы их соединение произошло на уровне рабочего горизонта. При этом торпедированию подвергаются нижние участки отводящих скважин. В этом случае теплопроизводительность породного теплообменника будет ниже по сравнению с вариантом искривленных на уровне рабочего горизонта отводящих скважин, так как объем породного теплообменника будет меньше.

Под объемом породного теплообменника понимают объем зоны дробления массива на уровне рабочего горизонта с повышенной проницаемостью.

ТЕПЛООБМЕН В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

1. Требования к тепловому режиму в подземных выработках

Тепловой режим в подземных выработках характеризуется совокупностью термодинамических параметров воздуха, окружающего массива, горной массы, машин и людей. Основными термодинамическими параметрами для количественной оценки теплового режима шахт и рудников являются температура, энтальпия, влагосодержание, а также изменение этих параметров в течение года.

В конечном итоге тепловой режим шахт и рудников определяется температурой, влагосодержанием рудничного воздуха и скоростью его движения в подземных выработках. Как показывает практика, в настоящее время при глубинах подземных разработок свыше 900-1000 м искусственное охлаждение и осушение рудничного воздуха практически неизбежно. В условиях же разработки многолетнемерзлых пород, наоборот, необходимо подогревать рудничный воздух.

Таким образом, как в одном, так и другом случаях возникает необходимость регулирования теплового режима в подземных выработках.

Тепловой режим в подземных выработках должен обеспечивать комфортные условия труда человека, при которых бы он отдавал в окружающую среду столько тепла, сколько выделяется в его организме. В том случае, когда теплопотери человека больше, чем количество тепла, вырабатываемого в его организме, ему холодно, и наоборот. Следовательно, температура воздуха, его влажность и скорость в подземных выработках должны быть такими, при которых бы существовало равновесие между теплом, вырабатываемым в организме человека, и теплом, отдаваемым им в окружающую среду.

В организме человека в спокойном состоянии вырабатывается энергии около 320 кДж/ч (-90 Вт), при физической нагрузке средней напряженности — около 800 кДж/ч (-220 Вт) и при тяжелой физической нагрузке — до 1600 кДж/ч (-440 Вт).

Теплоотвод от человека через дыхание составляет 10%, а теплоотвод через кожу — 90% общего. Теплоотвод через кожу происходит путем лучеиспускания, конвекции и испарения пота.

Если температура воздуха выше температуры тела человека, то вдыхаемый воздух охлаждается в организме, отдавая ему часть своего тепла, и наоборот. В первом случае, дыхание затрудняет теплообмен между человеком и окружающей средой. Во втором случае, особенно при температуре воздуха ниже допустимой, может наступить переохлаждение организма.

Теплообмен организма человека с окружающей средой путем лучеиспускания может происходить только в том случае, если температура стенок выработки ниже температуры его кожи, то есть 307-309 К (34-36°C). В противном случае лучеиспускание противодействует теплообмену. При температуре стенок выработки 293 К (20°C) путем лучеиспускания организм

человека теряет около 120 кДж/ч (-33 Вт), а при температуре 313 К (40°C) получает около 40-60 кДж/ч (-11-15 Вт).

Удельный тепловой поток, отдаваемый кожей человека в окружающую среду конвекцией, пропорционален скорости движения воздуха и разности между его температурой и температурой кожи человека. Из этого следует, что для обеспечения теплообмена конвекцией необходимо регулировать температуру и скорость движения рудничного воздуха.

Равнозначным в количественном отношении с теплообменом конвекцией является отвод тепла из организма человека путем потовыделения. При выделении человеком 1 кг пота он теряет около 2260 кДж тепла и 8 г соли.

Потовыделение происходит только в том случае, когда влажность воздуха не выше влажности насыщения. В противном случае теплообмен путем потовыделения прекращается. Из этого следует, что регулирование влажности шахтного воздуха является одним из основных каналов управления тепловым режимом в подземных выработках.

Тепловой режим в подземных выработках должен поддерживаться таким, чтобы обеспечивался нормальный теплообмен организма человека в окружающей среде по всем четырем каналам: дыханием, лучеиспусканием, конвекцией и потовыделением. Канал теплообмена дыханием реализуется, когда температура воздуха ниже 310 К (37°C). Канал теплообмена лучеиспусканием — когда температура стенок выработок ниже 307 К (34°C). Так как температура воздуха в выработке на 2-3 градуса ниже температуры стенок, то температура шахтного воздуха по условиям теплообмена лучеиспусканием должна быть ниже 304-305 К (31 -32°C).

Канал теплообмена конвекцией реализуется, когда имеется движение воздуха в подземных выработках.

Канал теплообмена потовыделением реализуется, когда влажность воздуха в выработках ниже влажности насыщения.

Если закрыты все четыре канала теплообмена человека с окружающей средой в течение длительного времени, то наступает тепловая смерть.

Как показывает практика, комфортные условия труда по тепловому режиму при средней физической нагрузке на организм человека имеют место в том случае, когда температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в подземных выработках соответственно равны 298 К (25°C), 80-90% и 4 м/с. Если, например, температура воздуха будет 301 К (28°C), то при прежних остальных его параметрах к концу семичасовой рабочей смены температура тела человека поднимется до 300,1 К (37,1°C). Таким образом, регулирование теплообмена через вышеуказанные каналы необходимо осуществлять путем изменения температуры, влажности и скорости движения воздуха в подземных выработках.

Без регулирования рудничного микроклимата возможности сбалансирования количества вырабатываемого в организме человека тепла Q_4 с теплом Q_T , отдаваемым им во внешнюю среду, весьма ограничены. В какой-то степени это удастся осуществить с помощью спецодежды, которая в зависимости от рудничного микроклимата может быть легкой или утепленной.

При переходе из одного рудничного микроклимата в другой терморегуляционный аппарат человека старается сбалансировать величины Q_4 и Q_T , однако этот аппарат обладает некоторой инерционностью (10-15 мин) и поэтому резкие изменения параметров рудничного микроклимата и, в частности, температуры для организма человека весьма нежелательны.

Если $Q_T > Q_4$, то наблюдается переохлаждение организма человека, что приводит к простудным заболеваниям, а если $Q_T < Q_4$ — возрастает частота его дыхания, повышается температура и при длительном сохранении этого условия возникают необратимые изменения в организме человека, приводящие к ухудшению его здоровья.

2. Влияние теплового режима на процессы ведения подземных горных работ

Влияние теплового режима рудничного воздуха сказывается на производительности труда горнорабочих, обеспечении безопасных условий их труда, поддержании устойчивости горных выработок (в условиях многолетней мерзлоты) и технологии разработки месторождений.

С увеличением температуры рудничного воздуха обеспечить баланс между тепловыделением в организме человека и его теплообменом с окружающей средой становится все сложнее. Сбалансировать тепловыделение и теплообмен возможно двумя путями: 1) сокращением тепловыделения горнорабочего за счет увеличения перерывов в работе на отдых, что ведет к снижению производительности его труда; 2) изменением температурного режима рудничного воздуха до нормативных требований, что связано с удорожанием ведения горных работ и не беспредельно по возможностям.

Оптимальным температурным режимом рудничного воздуха следует считать такой, при котором обеспечиваются безопасные условия для здоровья человека, минимальное удорожание горных работ за счет затрат на создание благоприятного микроклимата и максимальная производительность. При оптимизации температурного режима рудничного воздуха, кроме этого, должны быть учтены безопасность и надежность ведения горных работ, а также возможность применения той или иной системы разработки.

Исследованиями установлено, что при скорости движения воздуха в выработках, равной 2 м/с и относительной его влажности равной 0,9, условия труда считаются вредными для здоровья человека, выполняющего тяжелый физический труда, если температура

воздуха превышает 305 К (32°C), а температура стенок выработок — 308 К (35°C). В этих условиях потеря массы тела горнорабочего за смену

достигает 1,9 кг, температура тела — 311,7 К (38,7°C), а частота пульса — до 60. Выполнение тяжелой физической работы при температуре рудничного воздуха от 293 до 302 К (от 20 до 29°C) не сопровождается нарушением кровообращения, дыхания и нервно-мышечной деятельности, однако приводит к усталости и снижению производительности горнорабочих до 27%. Максимальная производительность горнорабочих наблюдается при температуре рудничного воздуха равной 293,3 К (20,3°C).

Проветривание подземных выработок производят не только с целью обеспечения нормативных требований по тепловому режиму рудничного воздуха, но и с целью регулирования газового режима, запыленности воздуха, предотвращения самовозгорания угля и руд, надежности противопожарного водоснабжения и ряда других мероприятий по обеспечению безопасных условий труда.

С повышением температуры массива угольных пластов и углевмещающих пород значительно интенсифицируется процесс сорбции метана. Так, например, при увеличении температуры угля от 273 К до 303 К (от 0 до 30°C) сорбционная способность углей увеличивается примерно в 2 раза.

Повышение температуры рудничного воздуха сопровождается увеличением его запыленности в результате процессов разрушения горных пород. Это приводит к накоплению «рыхлой» пыли на стенках выработок и сужает возможности регулирования скорости движения воздуха для обеспечения нормативных требований по его температурному режиму. В большей степени это проявляется при низкой влажности рудничного воздуха и слабоводонасыщенных породах. По мере увеличения влажности рудничного воздуха и разрабатываемых пород интенсифицируются процессы седиментации и связывания пыли, что расширяет возможности регулирования скорости движения воздуха, как одного из факторов, оказывающих влияние на параметры теплообмена.

С увеличением температуры рудничного воздуха возрастает интенсивность окислительных процессов при разработке угольных и

сульфидных месторождений. Например, при отрицательной температуре угля возможность его самовозгорания практически отсутствует, а при температурах больше 273 К (0°C) это может произойти в течение года.

Охлаждение рудничного воздуха ниже 273 К (0°C) при разработке месторождений в условиях многолетней мерзлоты сопровождается конденсацией водяных паров, что приводит к интенсивному образованию наледей и снежной «шубы» на стенках выработок. Это увеличивает аэродинамическое сопротивление выработок, затрудняет их проветривание и эксплуатацию. При понижении температуры в условиях вечной мерзлоты газопроницаемость угля снижается, что затрудняет дренирование газа в пластах, приводит к повышению газового давления. Это способствует росту вероятности суффляжных выделений на подмерзлотных горизонтах.

Наряду с этим обеспечить пожарное водоснабжение и электробезопасность горных работ при разработке месторождений в условиях многолетней мерзлоты значительно труднее, чем при положительных температурах.

Существенное влияние оказывает тепловой режим рудничного воздуха на технологию ведения горных работ при эксплуатации месторождений в условиях многолетней мерзлоты. Это объясняется тем, что при возможном оттаивании пород снижается устойчивость целиков, обнажений и возрастает нагрузка на крепь. В большей степени это относится к выработкам, пройденным по мерзлым рыхлым и связным породам, которые при больших ореолах оттайки могут полностью выйти из строя. В ряде случаев это является основной причиной сезонного ведения горных работ только в периоды года с отрицательной температурой.

При отработке нагорных месторождений подземным способом, особенно в комбинации с открытым, когда горную массу перепускают на нижележащие горизонты, повышается вероятность ее смерзания в магазинах, бункерах, рудоспусках и транспортных сосудах в периоды года с

отрицательными температурами, что влечет за собой увеличение потерь руды, осложняет ее выпуск и транспортировку.

Обеспечить условия по температурному фактору для подземной разработки месторождений в условиях многолетней мерзлоты возможно двумя путями: 1) поддержанием температуры рудничного воздуха выше 273 К (0°C) по всему пути его следования, при этом необходимо усилить крепь и обеспечить теплоизоляцию стенок выработок с целью уменьшения ореола оттайки; 2) подогревом рудничного воздуха до температуры выше 273 К (0°C) непосредственно перед рабочими участками с сохранением допустимой отрицательной его температуры в остальных выработках.

Несмотря на то что регулирование температурного режима рудничного воздуха осуществляют в целях решения многих важных инженерных задач, главной задачей все же является обеспечение санитарно-гигиенических, нормативных параметров микроклимата в подземных выработках, при которых не нарушается нормальная функциональная деятельность организма горнорабочих.

Нормативными требованиями правил техники безопасности при ведении работ в подземных выработках предусмотрено, чтобы при влажности рудничного воздуха 85-98% его температура не превышала 301 К. (28°C) при скорости не менее 3 м/с, 300 К (27°C) при скорости не менее 2,5 м/с и 299 К (26°C) при скорости не менее 2 м/с. При скорости движения рудничного воздуха < 2 м/с соответствующие нормативные требования по его температуре и влажности для подготовительных и очистных выработок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Минимальная скорость движения воздуха, м/с	Допустимая температура рудничного воздуха (°C) при относительной его влажности		
	60—75 %	76—90 %	90%
0.25	24	23	22
0.5	25	24	23
1.0	26	25	24
2,0	26	26	25

Для предупреждения переохлаждения и простудных заболеваний горнорабочих при искусственном охлаждении воздуха, подаваемого в добычные участки, его температура должна быть не менее 295 К (22°C) при скорости 2-4 м/с, не менее 294 К (21°C) при скорости 1,5-2,5 м/с и не менее 293 К (20°C) при скорости 1-2 м/с.

При подземной разработке месторождений в условиях многолетней мерзлоты Севера рациональная температура подогрева воздуха, подаваемого в шахты и рудники, выбирается в каждом конкретном случае.