

Лекция. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ 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: средние месячные температуры воздуха (поверхности пород, грунта) в течение всего года (t_{cp}), средние температуры воздуха (поверхности пород, грунта) соответственно зимнего и летнего периода ($t_{зср}$; $t_{лср}$), продолжительность соответственно зимнего и летнего периодов ($\tau_з$; $\tau_л$), а также среднемесячные значения: амплитуды температур воздуха (A), высоты снежного покрова за период отрицательных температур ($\delta_{сн}$), относительной влажности воздуха (W_0), 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 ($W_{нз}$), объемный вес скелета мерзлого грунта ($Y_{ск.м}$), коэффициенты теплопроводности и теплоемкость талых и мерзлых горных пород и грунта ($\lambda_t, \lambda_m, C_t, C_m$), температуру начала замерзания пород ($t_{нз}$), коэффициент фильтрации пород и грунтов (K_f), объемная масса мерзлых пород и грунтов естественной ненарушенной структуры (Y_o), удельная масса твердых частиц ($Y_{уд}$), суммарная льдистость (L_c), степень заполнения пор водой и льдом (G_l).

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.

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

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. Пенополивинилхлорид	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 - эластичный	80-100 30-50	0,15 -	150 60	180 180	0,048 0,036	2-8 18,7

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

$$H = H_z + H_v \quad (29)$$

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 толщине		Пропускна я способност ь солнечной радиции, %	Кoeffи- 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

	Размеры, мм	Объем	Кoeffи-
--	-------------	-------	---------

Наименование изделий	длина	ширина	толщина	масса, кг/м ³	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
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 (δ_n) для защиты грунтов от промерзания на горизонтальной площадке в естественных условиях определяется по формуле:

$$\delta_n = \lambda_n \cdot \zeta_2 \cdot (t_2 - t_3) / q_2 \cdot H_y \quad (33)$$

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

Глубина зимнего промерзания,	Средняя температура воздуха в	Масса сублимационного порового льда,	Продолжительность сублимации порового льда, час
------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	---

см	период сублимации, °С	кг/м ³	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
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>	<u>0,50-</u> <u>0,55</u>	<u>0,80-</u> <u>0,85</u>

			0,28	0,43	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:

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

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 ($\tau_{от}$) мерзлых горных пород и грунтов, накапливаемых под ним за зиму, т.е. допустимое время начала земляных работ определится:

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

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 – альbedo (α).

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

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

Таблица 9. Значение альbedo для основных типов поверхности

Тип поверхности	Альbedo в долях единицы
1	2
1. Снег свежесвыпавший	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:

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

где C – текущие издержки (эксплуатационные расходы); K – единовременные затраты (капитальные вложения); E^n – 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.