

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 (KHF_2) и натрий фтористый NaF мелко- и среднезернистые соли, растворимые в воде.

Калиевое и натриевое жидкое стекло – вязкие водные растворы силиката калия ($K_2O \cdot n SiO_2$) и силиката натрия ($Na_2O \cdot n SiO_2$) 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, m^2 ; h – глубина обработки пород и грунтов, м; γ_o – объемный вес скелета пород и грунтов, $кг/м^3$; 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, $^{\circ}C$; 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, $г/см^3$, 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 $K_{\phi} > 1,0$ м/сут. Она производится непосредственно с наступлением устойчивых отрицательных температур; грунты и породы с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} = 1,0 \dots 10$ 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	коцетрация, %	температура, °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-	1850	3546	43	-29	МРТУ 6-03-

кислый, кальциевая селитра)						195-67
Мочевина (карбомид)	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 пескоразбрызгивателей, 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 поливомоечных 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 неотапливаемых 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, исключающий прямое попадание атмосферной влаги на реагенты.

При работе с переохлажденными растворами реагентов (концентрированными растворами), во избежание обмороживания 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 гидромеханизованном 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]

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

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 $\omega_o = 0,02...0,10$ м³ / (м² · ч), а для водопроницаемых – $\omega_o = 0,08...0,10$ 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]:

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

где τ – время оттаивания, ч;

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

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

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

$c_{ов}$ – объемная теплоемкость воды, $c_{ов} = 4,184$ кДж / (м³ · °С).

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 · °С);

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, $\mu = 0,95$ с / ч;

S – площадь поперечного сечения отверстия насадки, м²;

g – ускорение свободного падения, м / с²;

h – напор воды у наконечника, $h = 25$ м, 30 м, 35 м при соответствующих диаметрах насадки $d = 34$ мм, 30 мм, 26 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_{om} , м³ / сут) [12, 14]:

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

где ω – расход воды через все дождевальные аппараты, $\text{м}^3 / \text{ч}$;

ρ_v – плотность воды, $\text{кг} / \text{м}^3$;

Q_{yd} – удельная теплота оттаивания, $\text{кДж} / \text{м}^3$.

Величину (Q_{yd}) 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 $h_{от} = 9$ м, если $\rho_n = 2600$ $\text{кг} / \text{м}^3$, $\rho_{cp} = 2100$ $\text{кг} / \text{м}^3$, при пористости пород 24 % ($n = 0,24$). Коэффициент фильтрации пород отвала составляет $K_{\phi} = 5$ м / ч. Температура воды – $t_g = 7,5$ °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)

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

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 – $\omega_o = 0,05 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

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

6. По формуле (3.41) определяем фактическую температуру воды

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

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

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

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

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, $\rho_{ср}$, кг / м ³	Плотность скелета породы, $\rho_{ср}$, 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.