

С.В.ПОТЕМКИН

# ОТТАЙКА МЕРЗЛЫХ ПОРОД

ВЫСШЕЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ

С.В.ПОТЕМКИН

# ОТТАЙКА МЕРЗЛЫХ ПОРОД

*Допущено Государственным комитетом СССР  
по народному образованию в качестве  
учебного пособия для студентов вузов,  
обучающихся по специальности  
"Открытые горные работы"*



МОСКВА "НЕДРА" 1991

---

ББК 26.3

П 64

УДК 624.131.36 (075.8)

**Организация-спонсор Главаимаэзолото СССР**

**Р е ц е н з е н т ы:** кафедра разработки рудных месторождений и горной теплофизики Ленинградского горного института, д-р геол.-минер. наук Г.З. *Перельштейн*

**Потемкин С.В.**

П 64      Оттайка мерзлых пород: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1991. – 160 с.: ил.

ISBN 5-247-01609-2

Описаны мерзлые и талые горные породы, область и особенности их распространения, физико-механические свойства. Рассмотрено сезонное промерзание горных пород, изложены методы борьбы с ним. Показаны различные способы оттаивания мерзлых пород — игловая, естественная, фильтрационно-дренажная и гидрооттайка. Приведены техника и технология работ по оттаиванию.

Для студентов геологоразведочных и горных институтов, обучающихся по специальности "Открытые горные работы"

П 1804080000 - 190  
043(01) - 91

46-91

ББК 26.3

ISBN 5-247-01609-2

© С.В. Потемкин, 1991

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Разработка россыпных месторождений — специфическая отрасль горного производства. Эта специфичность наиболее ярко проявляется при разработке многолетнемерзлых россыпей, которые предварительно необходимо перевести в рыхлое состояние — разупрочнить. В настоящее время основной способ разупрочнения — буровзрывное рыхление мерзлых пород. Однако этот способ весьма трудоемок и дорог, а также связан с повышенной опасностью работ. Кроме того, буровзрывное рыхление неприменимо в случае дражной разработки россыпи, поскольку в обогатительный аппарат драги должна поступать не просто разрыхленная, а полностью переведенная в талое состояние или, как принято говорить, оттаявшая горная масса.

Поэтому там, где разработка многолетнемерзлых россыпей производится драгами, наряду с буровзрывным рыхлением в широких масштабах применяют искусственную оттайку. Вместе с тем очевидно, что искусственная оттайка весьма перспективна, она хорошо сочетается и с открытой разработкой россыпных месторождений. Производительность экскаваторов в этом случае значительно выше, чем при разработке мерзлых взорванных пород, а сама оттайка по меньшей мере вдвое дешевле. Поэтому дальнейшее расширение масштабов применения оттайки (а уже сейчас ежегодно оттаивают объемы, измеряемые десятками миллионов кубометров) — одно из наиболее действенных направлений повышения эффективности открытой разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений в целом.

Самое широкое распространение получила разработка многолетнемерзлых россыпей бульдозерами с использованием естественной оттайки мерзлых пород под воздействием тепла солнечной радиации. В определенных условиях это наиболее выгодный и производительный способ разработки. Однако и естественное оттаивание должно сопровождаться рядом инженерных мероприятий по направленному регулированию естественного теплового баланса. Без этого во многих случаях эффективность подобной разработки будет недостаточной.

Очень важны мероприятия по предотвращению промерзания поверхностного слоя пород в зимнее время. Они имеют большое значение для горных, строительных и других работ, проводящихся в суровых климатических условиях.

Систематизированные для учебной цели материалы по различным способам оттайки и предохранения от промерзания до сих пор существовали только во внутривузовских изданиях Ленин-

градского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института имени Г.В. Плеханова (ЛГИ) и Московского ордена Трудового Красного Знамени геологоразведочного института имени Серго Орджоникидзе (МГРИ).

Необходимо отметить, что учебник может быть использован на производстве, где также ощущается недостаток практических пособий по проектированию и технологии оттаивания мерзлых рыхлых пород.

## ВВЕДЕНИЕ

**Общие понятия и терминология.** Наука, изучающая закономерности строения, развития и распространения мерзлых пород и грунтов, а также их свойства, называется м е р з л о т о в е д е н и е м или г е о к р и о л о г и е й. Инженерное мерзлотоведение – раздел этой науки, связанный с использованием мерзлых грунтов как оснований для строительства и разработкой мерзлых горных пород. Сведения о способах и технологии теплового воздействия на мерзлые породы составляют часть инженерного мерзлотоведения.

Промерзание и протаивание мерзлых горных пород – процессы теплофизические, поскольку они связаны прежде всего с теплообменом между мерзлыми породами и теплоносителем, в качестве которого могут быть вода, воздух, лучистая энергия солнца, электронергия и др. В этой связи, прежде чем говорить непосредственно о методах и технологии оттаивания мерзлых пород, необходимо напомнить основные понятия и термины теплофизики и мерзлотоведения, которые широко применяются в теории и практике оттаивания и будут использованы при дальнейшем изложении материала.

В основе всех расчетов оттаивания лежит определение количества теплоты, необходимого для нагревания и плавления льда, а также для нагревания минерального скелета в определенном объеме горной породы и его сопоставление с количеством теплоты, содержащимся в теплоносителе с учетом возможности его использования.

Чтобы произвести соответствующие расчеты, на базе которых будет построена технология оттаивания, необходимы сведения о составе, строении и температуре мерзлых пород, их теплоемкости, фильтрационной способности (в талом состоянии), теплопроводности, количестве льда (льдистости) и той форме, в которой он присутствует в мерзлой горной породе. Теплофизические характеристики мерзлых пород не являются чем-то новым для студентов, уже изучавших соответствующие дисциплины. Но поскольку количественные значения этих характеристик необходимы для решения самых различных задач оттаивания, ниже будут приведены соответствующие сведения для наиболее распространенных рыхлых горных пород и климатических условий, в которых производится их разработка.

Что касается понятий и терминов, принятых в мерзлотоведении, то здесь придется дать несколько более подробные сведения о них.

Краткие сведения о мерзлых горных породах. В мерзлотоведении все породы подразделяют прежде всего по агрегатному состоянию содержащейся в них воды и по температуре. М е р з л ы м и называют горные породы, имеющие отрицательную температуру, в которых хотя бы часть воды находится в виде льда. Сухие породы, имеющие отрицательную температуру, называют м о р о з н ы м и (например, сухие

галечники). Свойства морозных пород не отличаются от свойств этих же пород в талом состоянии (при положительной температуре), но их тепловое воздействие на соседние породы, а также на горные выработки и подземные коммуникации такое же, как и воздействие мерзлых пород.

Породы, имеющие положительную температуру, называют та лы ми. Там, где распространена толща мерзлых пород, участки талых называют обычно таликами.

Лед в мерзлотоведении рассматривается как специфический породообразующий минерал мерзлых пород. Из самого определения мерзлых пород следует, что в них обязательно наличие какого-то количества льда. По времени нахождения в мерзлом состоянии мерзлые породы разделяют на кратковременно мерзлые (часы, сутки), сезонномерзлые (месяцы) и многолетнемерзлые (вечномерзлые), длительность существования которых измеряется сотиями и тысячами лет. Толщи многолетнемерзлых пород занимают около четверти всей суши земного шара, в нашей стране они покрывают почти 47 % территории.

Достаточно характерный признак наличия мерзлых горных пород — температура воздуха. Там, где она отрицательна только в зимнее время, неизбежно образуется корка сезонномерзлых пород. Если же отрицательна среднегодовая температура воздуха, то здесь чаще всего присутствуют многолетнемерзлые породы. При этом чем ниже среднегодовая температура воздуха, тем мощнее толща мерзлых пород, тем меньше в них включений таликов. Мощность толщи многолетнемерзлых пород в зависимости от климатических условий может колебаться от нескольких до 600–800 м. Она увеличивается в направлениях на север и северо-восток, занимая весь европейский Север и территорию от Урала до Берингова пролива в северо-восточном направлении. Под возвышенностями мощность мерзлой толщи при прочих равных условиях больше, чем на низменных участках рельефа.

Из сказанного следует, что многие районы, в которых производят разработку россыпных месторождений, находятся в зоне распространения толщи многолетнемерзлых пород. Таким образом, россыпи, глубина разработки которых не превышает 200–250 м, расположены именно в этой толще.

Не следует думать, что в суровых климатических условиях талых пород нет вообще. Например, талики имеют распространение в руслах крупных рек — под руслами талики. Они могут быть сквозными, т.е. пронизывать всю толщу мерзлых пород, соединяясь с подстилающими их тальми породами (рис. 1) или надмерзлотными — несквозными. Встречаются также межмерзлотные талики, которые ограничены мерзлыми породами со всех сторон. Следовательно, мерзлая толща может быть сплошной (без включений таликов) и прерывистой, когда мерзлые породы чередуются с участками или слоями

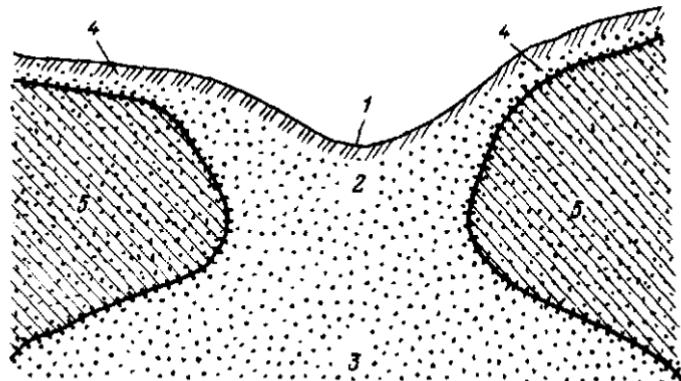


Рис. 1. Сквозной подрусловой талик, сливающийся с подмерзлотным таликом:  
1 – русло реки; 2–3 – сквозной и подмерзлотный талики; 4 – сезонно-талый  
слой на склонах долины; 5 – мерзлые участки

тальных пород. Вообще же количество включений тальных пород тем больше, чем менее суров климат. Поэтому в направлении от Урала на северо-восток нашей страны общий характер толщи мерзлых пород меняется так, как это показано на рис. 2.

При проведении горных работ необходимы детальные сведения о наличии тальных участков и их расположении. Технология разработки тальных и мерзлых россыпей различна, поэтому неожиданная встреча с

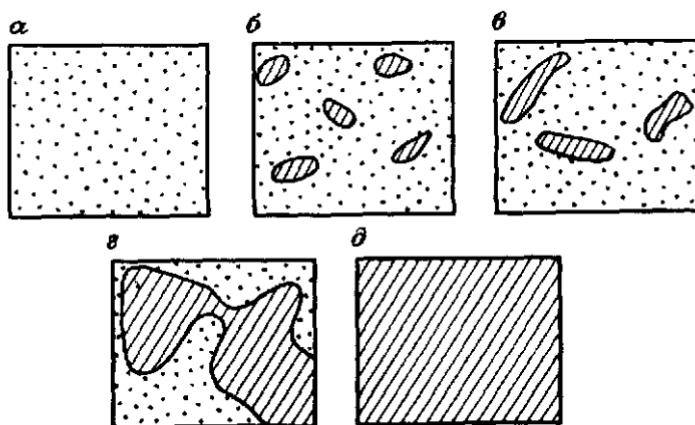


Рис. 2. Распространение мерзлых горных пород в направлении с юго-запада на северо-восток СССР:  
а – сплошные талые породы; б – " пятна" многолетнемерзлых пород в талом массиве; в – "острова" многолетнемерзлых пород; г – участки преобладания мерзлых пород; д – сплошная толща многолетнемерзлых пород

таликами в мерзлой толще может иметь самые неприятные последствия, особенно при подземной разработке.

В горном деле нет понятия "грунты", здесь существуют только горные породы, в то время как во многих работах по мерзлотоведению эти понятия не различают. Россыпные месторождения представляют собой скопления рыхлых горных пород, состоящие из минеральных обломков разной крупности. Поры пород в той или иной степени заполнены льдом. Ниже приведены гранулометрический состав рыхлых пород (от валунов до глинистых частиц), которые различают по условному диаметру, мм:

Валуны и камни (угловатые) . . . . .	> 200
Галька и щебень . . . . .	20–200
Гравий, дресва . . . . .	2–20
Песок . . . . .	0,05–2
Пылеватые частицы . . . . .	0,005–0,05
Глинистые частицы . . . . .	< 0,005

Породы крупносkeletalные или крупнообломочные содержат более 50 % частиц крупнее 2 мм. В этом случае скелет породы образован крупными частицами, пространство между которыми заполнено мелкодисперсным материалом – заполнителем. Мелкодисперсные и ярко выраженные породы, содержащие менее 50 % крупных частиц. Иногда в таких породах крупных частиц нет вообще. В речных долинах горных континентальных районов большее распространение имеют крупносkeletalные рыхлые породы. На равнинах – мелкодисперсные.

Гранулометрический состав рыхлых горных пород необходимо знать, поскольку в зависимости от него меняется не только технология разработки, но и процесс оттаивания. Так, мелкодисперсные породы хуже поддаются оттаиванию, а после оттайки могут образовывать плывуны. В силу этих причин иногда приходится отказываться от попыток производить их оттайку.

Любые мерзлые рыхлые породы нельзя разрабатывать с применением землеройной техники, так как в мерзлом состоянии они превращаются в монолитный массив и требуют предварительного разупрочнения. Если в талом состоянии рыхлые россыпнеобразующие породы относятся к II–IV категориям крепости по единой классификации, то в мерзлом – к VI–VII.

Прочность мерзлых рыхлых пород зависит прежде всего от количества льда (льдистости) и от температуры самой породы. Поскольку эта температура может быть различной на разных глубинах (чем больше глубина залегания, тем меньшее влияние оказывает температура воздуха на поверхности), то обычно имеют в виду температуру пород на границе сезонных колебаний. Здесь температура поверхности уже не оказывает никакого влияния. Глубина залегания этого слоя может быть различной, но чаще всего она составляет 6–10 м.

Средняя температура многолетнемерзлых горных пород изменяется в зависимости от климатических особенностей района от нуля до минус 8–12 °С. При этом замечено, что наибольшей крепости мерзлые рыхлые породы достигают в том случае, когда их температура ниже минус 2–2,5 °С. Отсюда бытующий и не вполне научный термин — "вялая" мерзлота (температура выше минус 2,5 °С). Породы при этом становятся более пластичными и менее крепкими.

Кроме перечисленных, при решении задач инженерного мерзлото-ведения иногда приходится оперировать еще некоторыми свойствами рыхлых пород.

**П о р и с т о с т ь** — отношение объема пор, трещин, пустот в породе к ее объему. Различают кажущуюся и истинную пористость. При расчете истинной пористости учитывают только поры и трещины, сообщающиеся между собой и с атмосферой. Именно такая пористость играет основную роль в расчетах. Наличие заполнителя в крупнообломочных породах существенно снижает общую пористость. Пористость галечника, гравия, щебня (без примесей) составляет 35–50 %. Те же породы, но с песчано-супесчанным заполнителем имеют пористость 15–30 %.

**П л о т н о с т ь** — показатель, характеризующий отношение массы образца к объему. Объемной плотностью называют отношение массы образца мерзлой породы к ненарушенной структуры к объему этого же образца, который в этом случае измеряют погружением образца в незамерзающую жидкость. Объемной массой скелета породы называют отношение массы высущенного образца к его первоначальному объему. Объемная плотность всегда больше объемной массы скелета на массу воды, содержащейся в породе.

Для гравия и галечника с песчаным заполнителем объемная плотность и объемная масса скелета соответственно составляют 2100–2350 и 1900–2200 кг/м<sup>3</sup>; для щебня с суглинистым заполнителем 2050–2150 и 1770–2100 кг/м<sup>3</sup>.

**В л а ж н о с т ь**  $W$  — отношение массы раствора, заполняющего поры, к массе или к объему породы. Суммарная массовая (весовая) влажность

$$W_c = (m_l + m_w) / m_{sk},$$

где  $m_l$  и  $m_w$  — масса льда и незамерзшей воды в образце;  $m_{sk}$  — масса сухого скелета образца.

Общую влажность вычисляют по формуле

$$W_o = W_c / (1 + W_c);$$

массу льда в единице объема породы (льдистость) находят из выражения

$$G = \rho_{cp} (W_c - W_n) / (1 + W_c),$$

где  $\rho_{ср}$  — средняя плотность образца (понятие "средняя плотность" идентично применявшемуся ранее термину "объемная масса");  $W_n$  — количество незамерзшей воды относительно массы скелета породы.

При решении задач, связанных с оттаиванием мерзлых пород, наиболее удобно пользоваться показателем льдистости исходя из 1 м<sup>3</sup> породы при ненарушенной структуре.

Факторы, определяющие возможность и интенсивность оттаивания мерзлых пород. На теплообмен, следовательно, и на интенсивность оттаивания оказывают влияние не только количество льда и температура мерзлой породы, но и та форма, в которой лед находится в породе. Наибольшее препятствие для оттаивания представляют собой горизонтально ориентированные прослойки и линзы льда.

По характеру размещения льда выделяют четыре криогенных текстуры мерзлых пород: массивную; базальную, слоистую и яченстую. Массивная текстура характеризуется равномерным размещением льда-цемента в порах породы. Она наиболее характерна для крупноскелетных пород и создает наиболее благоприятные условия для оттаивания. Базальная текстура отличается тем, что лед не только заполняет поры, но как бы распучивает их, раздвигая частицы скелета. В этом случае оттаивание происходит медленнее прежде всего потому, что льдистость здесь выше, чем при массивной текстуре. Кроме того, оттаивание пород базальной структуры, как правило, сопровождается объемной усадкой. Выделяют еще характерные для мелкодисперсных пород слоистую и яченстую текстуры, в которых лед соответственно распределен горизонтальными или горизонтальными и вертикальными слоями (заполняет горизонтальные и вертикальные трещины).

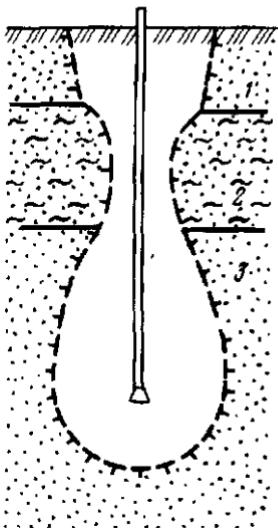
Льдистость породы может быть самой различной, от нескольких десятков килограммов до 400–600 кг в 1 м<sup>3</sup> породы. В последнем случае горная порода в основном состоит из льда и для ее оттаивания требуется очень большое количество тепла. Наиболее распространены породы, имеющие льдистость в пределах 150–450 кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент фильтрации пород в галом состоянии  $k_f$ . Значения этого коэффициента, знание которого необходимо для любых расчетов теплообмена, приведены ниже (в м/сут, в скобках — м/ч).

Галечник с гравийным заполнителем . . . . .	1000–5000 (40–200)
Галечник с песчаным и гравийным заполнителем . . .	100–800 (4–33)
Галечник мелкий с песчаным заполнителем . . . . .	20–100 (0,8–4)
Галечник средний и мелкий с супесью . . . . .	1–50 (0,04–2)
Песок чистый или с примесью галечников . . . . .	3–30 (0,12–1,2)
Суглинок . . . . .	0,05–0,25 (0,002–0,01)
Торф . . . . .	0,02–0,1 (0,0008–0,004)
Трещиноватые глинистые сланцы и песчаники (верхняя часть коренных пород) . . . . .	0,2–5 (0,008–0,2)

Интенсивность теплообмена, а следовательно, и оттаивания тем выше

Рис. 3. Зависимость формы талника, образующегося вокруг иглы, от коэффициента фильтрации. Слой 2 имеет более низкий коэффициент фильтрации по сравнению со слоями 1 и 3



ше, чем больше коэффициент фильтрации (рис. 3). Однако, когда его значения очень велики и составляют сотни и даже тысячи метров в сутки, то интенсивность теплообмена снижается за счет того, что водатеплоноситель не успевает отдать свое тепло. Хорошие результаты оттавивания можно получить при значениях  $k_f = 30 \text{ м/сут}$  и более.

**Теплопроводность горных пород  $\lambda$ .** Значения коэффициента теплопроводности (табл. 1) необходимы не только для расчета параметров оттайки, но и для расчета слоя изоляции, необходимого для предохранения поверхности пород от зимнего промерзания. Ниже приведены значения коэффициентов теплопроводности ( $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ) некоторых теплоизоляционных материалов.

Воздух . . . . .	0,024
Войлок . . . . .	0,07
Вода . . . . .	0,54–0,67
Речной песок . . . . .	1,15
Древесные опилки . . . . .	0,07
Древесные стружки . . . . .	0,06
Растительный слой . . . . .	0,23–0,62
Снег рыхлый . . . . .	0,1–0,2
Снег плотный . . . . .	0,25–0,35
Пенополистирол . . . . .	0,04–0,07
Пениное покрытие (твердеющая пена) . . . . .	0,04–0,06
Шпак . . . . .	0,14
Лед . . . . .	2,38
Солома прессованная . . . . .	0,06–0,08
Сухой грунт . . . . .	0,3–0,8

Удельная теплоемкость  $c$  и удельная объемная теплоемкость  $c_o$  горных пород, а также всех их минеральных составляющих также играют

Таблица 1

## Характерные значения коэффициента теплопроводности рыхлых пород

Породы	Средняя плотность скелета, кг/м <sup>3</sup>	Общая влажность (льдистость), кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м · °C)	
			в талом состоянии	в мерзлом состоянии
Галечник с песчаным заполнением	1700–2250	50 200	1,4–1,8 1,6–2,4	1,3–2,1 2,2–2,8
Песок	1400–1750	100	0,9–1,7	0,9–1,7
		300	1,5–2,0	2,0–2,3
Суглинок	1300–1650	200	0,9–1,2	1,0–1,3
		350	1,4–1,6	1,9–2,3
Суслесь оторфованная	900–1100	600	0,5–0,9	1,9–2,2

значительную роль в расчетах теплообмена. Рыхлые горные породы состоят из минеральных обломков, воды и льда. Приведем средние значения удельной теплоемкости в кДж/(кг · °C) для некоторых веществ: 1) для воды  $c_B = 4,187$ ; 2) для льда  $c_L = 2,09$ ; 3) для горной породы  $c_n = 0,8$ .

Удельная объемная теплоемкость горных пород в кДж/(м<sup>3</sup> · °C) может быть определена из выражений:

$$c_{om} = \rho_{cp,sk} (W c_n + c_p);$$

$$c_{ot} = \rho_{cp,sk} (W c_B + c_p),$$

где  $c_{om}$  и  $c_{ot}$  – удельная объемная теплоемкость мерзлых и талых пород;  $\rho_{cp,sk}$  – средняя плотность скелета породы (масса сухого скелета, отнесенная к его первоначальному объему в естественной структуре);  $W$  – суммарная влажность породы, равная потере массы при высушивании, отнесеной к массе скелета;  $c_B$ ,  $c_L$ ,  $c_n$  – соответственно удельные теплоемкости воды, льда и породы.

Массу воды или льда в единице объема породы (кг/м<sup>3</sup>) определяют по формуле

$$G = W \rho_{cp,sk}.$$

Поскольку расчеты производят для многолетнемерзлых пород при достаточно низкой температуре (обычно минус 5–8 °C), то принимают, что вся масса воды превращена в лед, пренебрегая при этом небольшим количеством незамерзшей воды (пленоочной воды), что не влияет на точность расчетов.

Таблица 2

Удельные затраты теплоты на оттаивание 1 м<sup>3</sup> породы

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

Иногда возникает необходимость определить среднюю плотность скелета для водонасыщенных горных пород без воздуха. Ее определяют различно для талых:

$$\rho_{\text{ср.ск.м}} = \rho_n \left(1 - \frac{G}{\rho_b}\right);$$

и для мерзлых пород:

$$\rho_{\text{ср.ск.м}} = \rho_n \left(1 - \frac{G}{\rho_l}\right),$$

где  $\rho$  — плотность (кг/м<sup>3</sup>), которую в расчетах можно принимать равной; для воды  $\rho_b = 1000$ ; для горной породы  $\rho_n = 2650$ ; для льда  $\rho_l = 920$ .

Существует понятие *удельная теплота оттаивания*  $Q_{\text{уд}}$ . В табл. 2 эта теплота дана в зависимости от начальной и конечной температур горной породы и от ее льдистости.

Весь процесс оттаивания можно представить в виде трех этапов. Первый — нагревание породы и содержащегося в ней льда от начальной отрицательной температуры до температуры плавления льда (0 °С). Количество необходимой для этого теплоты обозначим  $Q_1$ . Второй —

превращение всей массы льда при температуре 0 °С в воду ( $Q_2$ ). Поскольку удельная теплота плавления льда достаточно велика, то величина  $Q_2$  чаще всего составляет до 60–75 % всех затрат тепла на оттаивание. Третий этап – прогрев породы вместе с содержащейся в ней водой от нуля до некоторой конечной положительной температуры. Дело в том, что оставлять породу при нулевой температуре нельзя. В результате теплообмена с окружающими породами, которые остались в мерзлом состоянии, вода снова превратится в лед. Поэтому конечную температуру породы в расчетах задают обычно равной 5 °С и выше. Количество теплоты, необходимое для нагрева породы от 0 °С до конечной температуры, составит  $Q_3$ .

Таким образом, удельная теплота оттаивания будет состоять из трех составляющих  $Q_{уд} = Q_1 + Q_2 + Q_3$ . Зная  $Q_{уд}$ , можно определить количество теплоты, необходимое для того, чтобы произвести оттаивание мерзлых пород в заданном объеме. При этом необходимо учитывать запас тепла, содержащийся в теплоносителе (чаще всего это естественно нагретая вода), его общий объем, необходимый для оттаивания породы. Однако при этом надо знать коэффициент полезного использования тепла. Этот вопрос весьма сложен и до настоящего времени не имеет достаточно обоснованного решения. Значения коэффициента зависят от: температуры воды, причем наиболее полно используется тепло, когда эта температура не превышает 20 °С; глубины оттаивания; количества воды, подаваемой в единицу времени, и т.д.

Существуют два показателя, характеризующие степень теплоотдачи.

1. Коэффициент использования тепла  $\theta$ , который определяют как отношение  $Q_n/Q_3$ , где  $Q_n$  и  $Q_3$  соответственно количество полезно затраченной теплоты и общие ее затраты. При игловой гидрооттайке это отношение можно заменить другим  $(t_n - t_k)/t_n$ , где  $t_n$  и  $t_k$  – начальная и конечная температуры воды, подаваемой на оттайку. При наличии супфозионных выносов (излива) отработанной воды на поверхность, значение  $t_k$  можно установить непосредственным замером.

2. Коэффициент теплоотдачи (использование тепла)  $k_u$ , который значительно чаще используют в расчетных формулах. Для игловой гидрооттайки этот коэффициент может быть установлен из выражения

$$k_u < \sqrt{\frac{\pi \lambda H}{c_w w}},$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, кДж/(м · °С);  $H$  – глубина оттайки, м;  $c_w$  – удельная теплоемкость воды, кДж/(м³ · °С);  $w$  – расход воды на иглу, м³/ч.

Коэффициент теплоотдачи может изменяться от 0,2 до 0,7. Для гидравлического оттаивания С.Д. Чистопольский рекомендует значения коэффициента, указанные в табл. 3, для обычных расчетов его значения можно принимать в пределах 0,42–0,46.

Таблица 3

Значения коэффициента теплоотдачи в зависимости от глубины оттайки и шага установки игл

Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	Глубина оттайки <i>H</i> , м	Значения <i>k<sub>H</sub></i> , при шаге установки игл <i>I</i> , м		
		2	4	6
0,79	10	0,73	0,56	0,56
	7,5	0,66	0,49	0,49
	5	0,56	0,41	0,40
1,57	10	0,58	0,45	0,43
	7,5	0,51	0,40	0,38
	5	0,43	0,33	0,32
2,36	10	0,51	0,39	0,37
	7,5	0,45	0,34	0,32
	5	0,37	0,29	0,27
3,14	10	0,47	0,35	0,33
	7,5	0,41	0,31	0,29
	5	0,35	0,26	0,24

На основе баланса тепла выведена формула для определения

$$Q_{уд} = c_{п} \rho_{п} \left(1 - \frac{G}{\rho_{п}}\right) (t_{т} - t_{м}) + G(-t_{м} c_{п} + t_{т} c_{в} + L), \quad (1)$$

где *t<sub>т</sub>* и *t<sub>м</sub>* — температуры талых и мерзлых пород, °С; *L* — скрытая теплота плавления льда, равная 334 кДж/кг.

Шесть членов в этой формуле: *c<sub>п</sub>*, *ρ<sub>п</sub>*, *ρ<sub>л</sub>*, *c<sub>л</sub>*, *c<sub>в</sub>* и *L* имеют постоянные значения, поэтому производить расчеты по ней несложно (рис. 4).

Особенности горных и строительных работ, производящихся в толще многолетнемерзлых пород. Прежде всего необходимо отметить два обстоятельства, имеющих в данных условиях решающее значение.

1. Огромный объем горных и строительных работ, которые производятся и в еще больших масштабах будут производиться в районах распространения многолетнемерзлых горных пород. Промышленное и строительное освоение Сибири, Северо-Востока СССР, Европейского и Азиатского Севера в нашей стране, по существу, только еще начато. Именно на бескрайних северных просторах наиболее вероятны открытия новых месторождений самых разнообразных полезных ископаемых.

2. К этим районам привлечены многие разрабатывающиеся россыпные месторождения благородных металлов, олова, алмазов. А именно для разработки многолетнемерзлых россыпей наиболее важна техно-

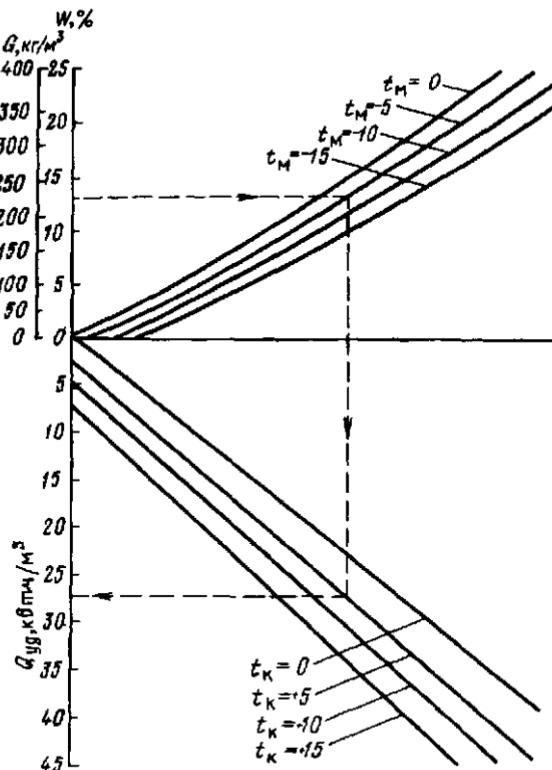


Рис. 4. Номограмма для определения удельной теплоты оттаивания  $Q_{\text{уд}}$ :  
 $t_M$  – начальная температура мерзлых пород,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_K$  – конечная температура талых пород,  $^{\circ}\text{C}$

логия разупрочнения мерзлых рыхлых пород. Самый эффективный способ разупрочнения сегодня – оттаивание.

Технология разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений совершенно отлична от технологии разработки талых россыпей, которая вообще не требует разупрочнения.

В северных районах огромное распространение получила открытая разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений с ежедневным удалением оттаявшего под воздействием тепла солнечной радиации слоя. Такая разработка достаточно производительна и экономически эффективна. Она в общем объеме открытой разработки занимает до 40–50 % и производится, по существу, одицами бульдозерами. Этот способ постепенно уступает место разработке на полную мощность с использованием экскаваторов. Происходит это в связи с постоянным ростом глубины разрабатываемых россыпей и усложнением условий их залегания.

На больших глубинах, при наличии большого количества валунов, в глинистых породах бульдозеры не могут обеспечить достаточно высокую эффективность разработки. Но для экскаваторов, которые приходят им на смену, нужна достаточно большая мощность разрабатываемого забоя (уступа). В этом случае становится неприемлемой естественная оттайка. Для того, чтобы произошло накопление талого слоя, достаточного для производительной работы экскаватора, необходимо весьма длительное время. Приходится применять буровзрывное рыхление или искусственное оттаивание. Последнее наиболее эффективно и безопасно и широкое его применение – одно из основных направлений повышения эффективности открытой разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений. Дражная разработка таких россыпей может производиться только с предварительной искусственной оттайкой.

В перспективе для открытой разработки применение искусственной оттайки очевидно в значительной мере заменит буровзрывное рыхление.

Что касается строительных работ, то в районах распространения толщи многолетнемерзлых пород для них характерны весьма существенные особенности. Строительство на многолетнемерзлых основаниях производят либо сохраняя мерзлое состояние пород, либо осуществляя предварительное их оттаивание. Первый способ сейчас наиболее распространен в жилищном и промышленном строительстве, здания возводят на сваях, заглубленных в мерзлую толщу и смерзшихся с породами. Между фундаментом и поверхностью пород оставляют проветриваемые подполья, которые в зимнее время обеспечивают циркуляцию холодного воздуха и не дают прогреваться породам. В летнее время их закрывают.

Вместе с тем достаточно широко распространено оттаивание мерзлых пород под фундаментом здания или сооружения. Оттаивание производят чаще всего паром или горячей водой, используя для этого ту же технологию, которая применяется и в горном деле. Очевидно, что в настоящее время производить горные и строительные работы в условиях толщи многолетнемерзлых пород можно только используя накопленный опыт и хорошо изучив конкретную мерзлотную обстановку в районе работ. К сожалению, известны случаи, когда недостаточное внимание к этим, казалось, очевидным требованиям, приводило к весьма печальным последствиям. Отсюда важность специальной мерзлотной разведки, которая должна обеспечить проектировщиков, строителей и горняков исчерпывающими материалами для принятия технических решений. Во всяком случае для горняков и строителей знать особенности и технические приемы работ в этих условиях совершенно необходимо.

**Краткая историческая справка.** С необходимостью разработки мерзлых россыпных месторождений столкнулись еще в прошлом столетии, когда началось промышленное освоение россыпей золота в нашей стра-

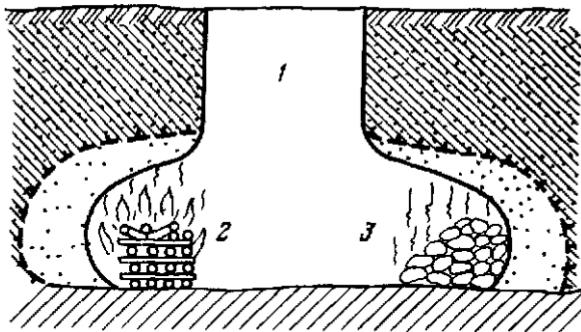


Рис 5 Примитивные способы оттайки, широко практиковавшиеся в начальный период разработки многолетнемерзлых россыпей  
 1 – старательский шурф; 2 – оттайка открытым огнем (пожоги); 3 – оттайка нагретыми камнями (бутовая оттайка)

не — на Урале, в Сибири, Якутии. Но в то время каких-либо других способов, кроме использования открытого огня и нагретых камней (бута), не могло существовать. Открытый огонь (пожоги) и бут широко использовались на старательских разработках в шурфах (рис. 5) при подземной добыче и непосредственно на поверхности мерзлых пород — при открытой добыче. Надо сказать, что этот первобытный метод строители используют иногда и сегодня, когда им, например, необходимо срочно пройти канаву или траншею в мерзлом грунте. Однако такой метод может являться только результатом отсутствия оборудования или же незнания других, более совершенных методов.

По-настоящему необходимость в оттайке крупных объемов мерзлых пород возникла, когда стали применять дражный способ разработки в суровых климатических условиях. Первые опыты по игловой оттайке проводились Д.Х. Майлсом на Аляске в районе г. Нома в 1917–1918 гг. Несколько позже, в 1921 г. американец Пирс проводил опыты оттаивания галечников фильтрационно-дренажным способом. В 1936–1938 гг. игловая гидрооттайка применялась на дражных полигонах прииска Мариый треста Верхамурзолово. В самых суровых климатических условиях (в северо-восточной части нашей страны) такие опыты проводились в сороковых годах. Надо отметить, что в годы Отечественной войны игловое оттаивание применяли даже на подземных работах с целью экономии взрывчатых веществ. Однако значительного успеха такие опыты не имели, подача воды в подземные забои в условиях отрицательной температуры приводила к многим нежелательным последствиям.

В больших объемах игловую гидрооттайку начинают использовать с 1951 г. в северо-восточной части страны, когда впервые в этих условиях применили дражный способ разработки. Первоначально при этом рассчитывали на отработку таликовых участков в руслах крупных рек.

Однако такой расчет не подтвердился, запасы талых пород оказались весьма ограниченными и вопрос об их подготовке искусственным способом встал со всей остротой. Инициаторами применения игловой оттайки были работники прииска им. Фрунзе П.Г. Куклев, П.Т. Чадаев и др. В создании теории и технологии искусственного оттаивания принял участие большой коллектив специалистов Северо-Востока СССР, в результате чего оно стало применяться в достаточно больших объемах уже в первой половине 50-х годов.

Необходимо отметить очень большой вклад в это дело специалистов Магаданского ВНИИ-1: В.Г. Гольдтмана, С.Д. Чистопольского, В.В. Знаменского, Г.З. Перельштейна и др.

Работы по совершенствованию техники и технологии оттайки мерзлых пород продолжаются и в настоящее время во ВНИИ-1, в Иргиредмете (В.Г. Пятаков), в Ленинградском горном (Э.И. Богуславский) и других институтах. Параллельно с совершенствованием иглового и фильтрационно-дренажного способов здесь работают над различными способами предохранения поверхности пород от промерзания, над созданием исчерпывающей теории теплообмена в мерзлых породах и в других направлениях. В последние годы Г.З. Перельштейном и другими специалистами усовершенствованы методы поверхностной тепловой мелиорации мерзлых пород, разработан способ подготовки искусственных сушечек, предложены более простые методы расчета, разработаны математические модели, позволяющие не только подбирать оптимальные параметры оттайки, но и более точно изучать зависимость интенсивности оттаивания и величины коэффициента использования тепла от свойств мерзлых рыхлых пород и условий их залегания.

## Глава 1

### СЕЗОННОЕ ПРОМЕРЗАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И БОРЬБА С НИМ

#### 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Суровость климата в районах распространения толщи многолетнемерзлых пород определяется не только низкими температурами воздуха, но и продолжительностью холодного периода года, которая практически вдвое превышает продолжительность теплого. Некоторые характеристики отдельных районов по климатическим условиям, учитываемым при решении задач оттаивания и предохранения от промерзания, приведены в табл. 1.1.

Характерными показателями принято считать суммы положительных и отрицательных градусосуток, указанные в табл. 1.1. Они пред-

Таблица 1.1

Показатели жесткости климата некоторых районов распространения многолетнемерзлых пород

Показатели	Пос. Комсомольский	Пос. Алискерово	Долина р. Большой Тарын	Город Сусуман	Пос. им. Гастелло	Город Мирный	Город Алдан
Среднегодовая температура воздуха, °C	-10,9	-13,3	-15,6	-13,5	-11,3	-6,3	-5,2
Характерная среднегодовая температура горных пород, °C	-5	-6	-7	-6	-5	-2,5	-1,5
Сумма градусосуток:							
положительных	766	801	1370	1202	1166	1598	1582
отрицательных	4746	5668	7013	6140	5305	3966	3638

ставляют собой суммы среднесуточных температур воздуха за холодный и теплый периоды года. Как видно из таблицы, сумма отрицательных градусосуток значительно превышает сумму положительных. Поэтому для естественного промерзания поверхности пород условия значительно более благоприятные, чем для естественного оттаивания. Оттаявшие искусственным способом в летнее время породы, зимой могут снова промерзнуть на большую глубину. Величина этого промерзания в значительной степени зависит от среднемесячной температуры воздуха (табл. 1.2).

Для открытых горных работ наиболее благоприятен теплый период года, но его кратковременность требует весьма интенсивной организации производства. В свою очередь интенсивная работа может быть организована только при наличии достаточного количества подготовленных к разработке пород. Мерзлые породы можно готовить к разработке в летний период предыдущего года с использованием различных способов оттайки. Однако оттаявшие летом породы зимой неизбежно промерзнут снова на такую глубину, при которой их разработка станет невозможной. Значит промерзший слой с наступлением весны снова придется оттаивать паром или горячей водой (подробно об этих способах оттаивания будет сказано ниже), либо надо обеспечить предохранение талых пород от промерзания в зимний период. О способах предохранения от промерзания и пойдет речь в этой главе.

Промерзание верхней части талых пород неизбежно в любом случае, однако его величина может изменяться от 1–1,5 до 3,5–4 м. Эта величина зависит от температуры воздуха, длительности промерзания, высоты и плотности снега, состава и влажности пород. В существенной

Таблица 1.2

Средняя месячная температура воздуха (в °С) в холодное время года

Районы	Месяцы года						
	X	XI	XII	I	II	III	IV
Амурская область:							
пос. Джеланда	2,1	17,1	26,9	28,2	21,8	12,5	0,8
пос. Сковородино	3,7	17,8	27,4	28,7	22,6	13,9	1,8
Иркутская область:							
г. Бодайбо	2,6	13,7	29,5	33,3	25,6	15,0	4,0
пос. Усть-Кут	2,3	14,9	24,5	25,2	22,1	12,3	2,3
Красноярский край:							
г. Канск		10,4	16,2	19,7	18,3	10,0	
г. Ачинск		9,4	15,9	17,4	15,6	9,6	0,2
Читинская область:							
г. Нерчинск	1,1	15,0	25,9	29,1	23,0	13,3	0,2
Якутская АССР:							
г. Алдан	6,4	20,7	26,8	27,6	23,9	16,1	6,1
пос. Аллах-юнь	13,6	31,1	39,4	42,9	37,3	25,6	13,9
пос. Усть-Нера	14,6	34,4	46,4	48,9	42,8	30,6	12,2
Магаданская область:							
пос. Усть-Омчуг	10,9	26,4	33,1	35,2	31,9	24,2	11,4
пос. Ягодный	11,7	26,6	33,9	35,1	32,1	25,4	13,5
г. Сусуман	15,1	30,4	38,0	39,8	35,6	28,1	14,0
Чукотский национальный округ:							
пос. Красноармейский	10,6	19,9	25,6	27,5	28,0	24,0	16,2
пос. Илирий	13,3	25,5	31,7	32,6	33,2	28,0	18,0

Примечание. Все температуры воздуха отрицательные.

степени она также зависит от наличия и толщины растительного слоя. Поэтому заранее снимать растительный слой с участков, которые подлежат разработке в будущем году, не всегда целесообразно. Лучше это делать ранней весной, как только среднесуточные температуры перейдут через ноль. Однако сохранить растительный слой не всегда возможно, поскольку предохранению от промерзания часто подлежат участки, на которых горные работы уже проводились. Таким образом, на предохраняемых участках чаще всего естественная теплоизоляция отсутствует и создаются наиболее благоприятные условия для глубокого промерзания. Очагами глубокого промерзания являются также канавы, гранши и котлованы, особенно имеющие значительную глубину. Поэтому их проведение лучше осуществлять ближе к весне, когда промерзание практически заканчивается.

Предохранение от промерзания не только обеспечивает необходимый объем подготовки мерзлых пород к разработке, но и позволяет

существенно увеличить продолжительность сезона горных работ, а тем самым и полноту использования техники.

Полное предохранение от промерзания, как правило, не имеет смысла. Небольшой слой мерзлых пород на поверхности талого массива может и не создавать трудностей для разработки, особенно при использовании мощной техники. Кроме того, сама по себе задача полного предохранения может оказаться трудно осуществимой и потребовать очень больших материальных затрат. Поэтому, производя расчеты, необходимо заранее установить допустимую величину промерзания. Например, для работы средней драги (с емкостью черпака 210–250 л) в теплое время, т.е. при положительной температуре воздуха, слой мерзлых пород толщиной 0,8–1 м не является серьезным препятствием. В то же время, если драга работает еще при отрицательных температурах воздуха, этот слой не должен превышать 0,4 м. Слой мерзлой породы толщиной 0,3–0,4 м не создает больших затруднений для работы мощных экскаваторов. Кроме того, такой слой для облегчения разработки всегда можно предварительно разрыхлить при помощи навесных или прицепных тракторных рыхлителей.

Следовательно, ставя соответствующую задачу, необходимо прежде всего определить допустимую величину промерзания и не стремиться к полному предохранению.

## 1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Как уже сказано, величина промерзания в суровых климатических условиях может составлять 4–5 м. Обычно глубину промерзания для каждого участка знают по опыту прежних работ, поэтому в ряде случаев расчет не производят, а ориентируются на практический опыт. Однако пользоваться статистическими материалами в данном случае следует осторожно — условия не могут быть абсолютно одинаковыми. Поэтому всегда лучше практический опыт подтвердить расчетом.

Естественное промерзание — сложный многофакторный теплофизический процесс, точный расчет которого весьма затруднен. Поэтому для инженерных расчетов рекомендуются упрощенные формулы, дающие вполне достаточную точность. Так, для расчета глубины промерзания горных пород  $h_{\text{пр}}$  используют формулу

$$h_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2 \lambda_m t_{\text{вз}} T}{L G + 0,5 c_{\text{ом}} t_{\text{вз}}} + (K h_1)^2} - K h_1, \quad (1.1)$$

где  $\lambda_m$  — теплопроводность мерзлых пород,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot {^\circ}\text{C})$ ;  $t_{\text{вз}}$  — средняя температура воздуха за весь период промерзания,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T$  — период промерзания, ч;  $L$  — скрытая теплота плавления льда,  $\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$ ;  $G$  — льдистость,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $h_1$  — толщина условного слоя теплоизоляции, м;  $K$  — ко-

коэффициент, определяемый из выражения

$$K = \frac{LG}{LG + 0,5 c_{\text{ом}} t_{\text{вз}}}.$$

Величина условного слоя изоляции определяется как

$$h_1 = h_i \frac{\lambda_M}{\lambda_u},$$

где  $h_i$  — толщина фактического слоя изоляции (например, снега), м;  $\lambda_u$  — теплопроводность теплоизоляционного материала, Вт/(м · °C).

В тех случаях, когда слой изоляции отсутствует, то значение  $h_1$  принимают равным нулю.

Наиболее целесообразно проследить за использованием этой формулы на конкретном примере.

**Пример.** Необходимо определить величину естественного промерзания, которое происходит в течение всего зимнего периода, при следующих среднемесячных температурах воздуха, которые мы приравниваем к температуре поверхности горных пород, °C: сентябрь -10, октябрь -20, ноябрь -25, декабрь -30, январь -30, февраль -30, март -15, апрель -10. Все эти значения берутся по данным метеослужбы, или по наблюдениям, производящимся непосредственно на предприятиях. В случае отсутствия температурных данных их можно взять по климатическим справочникам для близкорасположенных районов.

Продолжительность периода промерзания  $T$  в данном случае определяется промежутком времени между переходами среднесуточной температуры через 0°. Допустим, что эти переходы происходят 1 сентября и 30 апреля. Следовательно, по календарю время промерзания составит 242 дня или 5808 ч.

Допустим, что льдистость пород  $G = 200$  кг/м<sup>3</sup>; удельная объемная теплопроводность пород в мерзлом состоянии  $c_{\text{ом}} = 600$  Вт·ч/(м<sup>3</sup> · °C); коэффициент теплопроводности  $\lambda_M = 2,3$  Вт/(м · °C); мощность снежного покрова  $h_i = 0,5$  м; коэффициент теплопроводности для снега средней плотности  $\lambda_u = 0,27$  Вт/(м · °C);  $L = 93$  Вт·ч/кг.

1. Определяют средневзвешенную расчетную температуру воздуха (считая ее равной температуре поверхности пород) за весь период промерзания (учитывают только абсолютные значения температуры):

$$t_{\text{вз}} = \frac{10 \cdot 30 + 20 \cdot 31 + 25 \cdot 30 + 30 \cdot 31 + 30 \cdot 28 + 15 \cdot 31 + 10 \cdot 30}{242} = 21^{\circ}\text{C}.$$

2. Находят значение  $K = \frac{93 \cdot 200}{93 \cdot 200 - 0,5 \cdot 600 \cdot 21} = 0,77$ .

3. Устанавливают величины  $h_1 = 0,5 \frac{2,3}{0,27} = 4,26$  м;  $K h_1 = 3,28$  м.

4. Подставляют полученные значения в формулу (1.1):

$$h_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 21 \cdot 5808}{93 \cdot 200 + 0,5 \cdot 600 \cdot 21}} + 10,76 - 3,28 = 2,5 \text{ м.}$$

Таким образом, в заданных условиях величина промерзания составит 2,5 м.

Надо иметь в виду, что подобный расчет не учитывает теплообмена талых пород с подстилающей их мерзлой толщей, куда неизбежен некоторый отток тепла. Поэтому результаты расчета могут быть несколько занижены. Правда, занижение столь незначительно, что его практически можно не учитывать. Тем не менее округлять полученный расчетом результат, лучше в сторону увеличения.

Если поставить задачу несколько иначе и определить величину промерзания при полном отсутствии снежного покрова и какой-либо теплоизоляции (т.е. принять  $h_1 = 0$ ), то расчетная величина промерзания составит более 4 м. Как видно, разница весьма существенна. Однако для того, чтобы можно было производить разработку, слоя снега толщиной в 0,5 м явно недостаточно, нужны какие-то дополнительные мероприятия по предохранению от промерзания.

### 1.3 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ПРЕДОХРАНЕНИЯ ПОРОД ОТ ПРОМЕРЗАНИЯ

Все способы предохранения можно разделить на две группы: 1) поверхностная тепловая мелиорация, затопление водой, рыхление, снегозадержание; 2) применение искусственных теплоизоляционных покрытий, которые в последнее время находят все более широкое применение.

Необходимо отметить отсутствие универсальных способов, которые можно было бы использовать в любых условиях разработки рассыпных месторождений. Различные районы и даже отдельные участки этих районов отличаются не только климатическими, мерзлотными, гидрогеологическими характеристиками, но и совершенно различными могут быть рельеф поверхности, склоны, размеры участков предохранения и т.д. Поэтому для каждого конкретного случая способ предохранения должен подбираться специально.

Основные способы предохранения от промерзания талых пород и условия их применения. Затопление поверхности предохраняемых участков водой применяется в умеренно суровых климатических условиях при среднегодовой температуре воздуха не ниже минус 4-5 °C (Восточная Сибирь, Забайкалье, Южная Якутия). Такое затопление наиболее целесообразно для применения в нешироких долинах (до 300-600 м), имеющих небольшой продольный уклон. Породы должны быть слабопроницаемы для воды и обеспечивать возможность длительного сохранения заданного уровня.

Создание воздушно-ледяных покрытий применяется примерно в тех же условиях, что и предыдущий способ, однако при хорошей водопроницаемости предохраняемых пород, когда трудно поддерживать заданный уровень воды, и достаточно ровной поверхности предохраняемого участка.

Рыхление и осушение поверхностного слоя горных пород (созда-

ние теплоизоляционного слоя из рыхлой сухой породы). Поверхностный слой при этом должен быть сложен крупнозернистыми породами, хорошо отдающими воду. Применяется в условиях умеренно сурового климата. Глубина рыхления 0,2–0,5 м.

*Накопление снежного покрова* (снегозадержание). Способ целесообразен при возможности создания снежного покрова толщиной более 0,7–0,8 м в районах со сравнительно мягким климатом и сильными ветрами.

*Применение искусственных покрытий из пенополистирольных щитов*. Способ пригоден для любых, в том числе самых суровых, климатических условий. Необходима ровная поверхность предохраняемого участка. Может быть экономически эффективен только при многогоразовом применении теплоизоляционных щитов.

*Покрытие водовоздушными (ВВП) и быстротвердеющими (БТП) пенами*. Способ может применяться в любых условиях, но наиболее эффективен в умеренно суровом климате. Основное преимущество – возможность механизаций работ по покрытию пеной предохраняемых участков. В настоящее время представляется наиболее перспективным способом.

Для каждого из описанных способов предохранения талых пород от промерзания существуют рекомендованные области применения. Тем не менее при невозможности использования рекомендованного способа не исключается возможность применения других способов. Каждый из указанных способов в любых условиях способен в той или иной степени (которая легко поддается расчету) уменьшить глубину промерзания горных пород. Может быть целесообразной комбинация различных способов, например затопление водой и покрытие ледяной корки на поверхности воды пеной.

#### 1.4. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРЕДОХРАНЕНИЯ ПОРОД ОТ ПРОМЕРЗАНИЯ

*Затопление водой* достигается сооружением невысоких плотин, высотой обычно 5–6, в отдельных случаях до 10 м. Высоту плотины  $H_p$  (рис. 1.1) определяют из выражения

$$H_p = i_d L_y + h_{pr} + h_{py} + h_r,$$

где  $i_d$  – продольный уклон долины;  $L_y$  – длина затапливаемого участка, м;  $h_{pr}$  – глубина промерзания воды в зимний период (обычно 1,5–2 м);  $h_{py}$  – понижение уровня воды в течение зимнего периода, м;  $h_r$  – превышение гребня плотины над уровнем воды (0,5±1 м).

Необходимое условие предохранения от промерзания затоплением водой – наличие слоя непромерзшей воды непосредственно на поверхности предохраняемых пород в течение всего времени предохранения. Толщина этого слоя должна быть не менее 0,3 м и над самым высоким

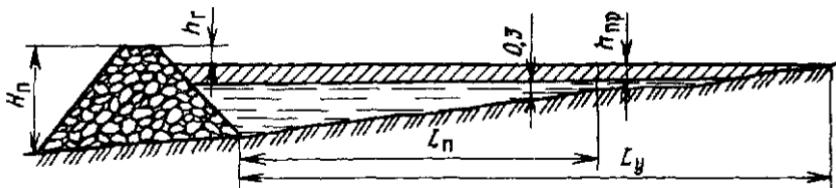


Рис. 1.1. Схема к расчету высоты плотины при затоплении предохраняемого участка водой:

$L_p$  — длина участка предохранения от промерзания; 0,3 м — минимально необходимая толщина слоя воды

местом. Основные расходы при этом способе предохранения связаны со строительством плотин и дамб. Поэтому область применения способа ограничена не только суровостью климата, но и размерами и рельефом поверхности затапливаемого участка. Принято считать, что высота плотин должна быть в пределах 5–10 м. Иначе способ становится слишком дорогим. Область его применения ограничивается также фильтрационной способностью пород, из которых выкладываются дамбы и плотины, а также пород, предохраняемых от промерзания.

При значительной фильтрации воды из котлована приходится искусственно поддерживать ее уровень: лоджаккой или самотеком из ближайших водоемов. Это не всегда возможно, особенно к концу зимнего периода. Поэтому разработаны специальные мероприятия, снижающие фильтрацию через плотины и основания. В частности, довольно широкое применение находят химическая кольматация и создание противофильтрационных экранов. А.В. Рацкин рекомендует принимать тот или иной способ противофильтрационной защиты в зависимости от коэффициента фильтрации. При коэффициенте до 40–50 м/сут целесообразна химическая кольматация, при 50–350 м/сут — пленочные экраны. В зависимости от величины коэффициента фильтрации могут применяться: экран из пленки, экран с понуром и экран с понуром и зубом (рис. 1.2).

При расчете плотин и выборе способа предохранения от промерзания большое значение имеет величина фильтрации воды через плотину. В некотором приближении в том случае, когда никаких противофильтрационных экранов и кольматации не применяют, она может быть рассчитана по формуле

$$w = 0,24 k_{\phi} H_{\phi} (H_1 - H_2),$$

где  $w$  — количество фильтрующейся воды,  $\text{м}^3/(\text{сут} \cdot \text{м})$ ;  $k_{\phi}$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сут}$ ;  $H_{\phi}$  — мощность фильтрующего слоя основания (мощность талого слоя под плотиной), м;  $H_1 - H_2$  — действующий напор воды, Па.

Когда же предусмотрена противофильтрационная пленочная защита (экранирование) в полном объеме, как показано на рис. 1.2, ис-

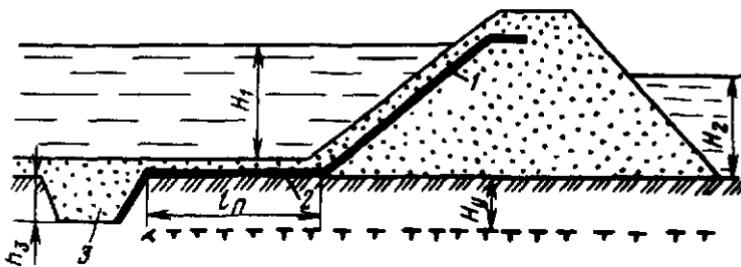


Рис. 1.2. Устройство противофильтрационной шелочечной завесы в плотине:  
1 – экран; 2 – понур; 3 – зуб плотины

пользуют формулу

$$w_3 = 0,24 k_{\phi} H_d (H_1 - H_2)^2 \frac{5 - 2h_3 + 0,2h_3^2}{[(6 - 1,2h_3) l_{\text{пп}} - 17h_3 + 86]},$$

где  $H_d$  – мощность дна плотины, м;  $h_3$  – глубина зуба плотины, м;  $l_{\text{пп}}$  – длина понура, м.

Чтобы была обеспечена максимальная противофильтрационная защита, зуб должен достигать мерзлоты, а длина понура составлять 40–50 м. Можно считать предохранение от промерзания затоплением весьма перспективным способом, область применения которого может быть в дальнейшем несколько расширена.

*Воздушно-ледяные покрытия* (рис. 1.3) применяются редко. Прежде всего потому, что их устройство достаточно сложно и трудоемко. Технология создания таких покрытий заключается в том, что по всей поверхности предохраняемого полигона (предварительно выровненного) на расстоянии 3–4 м друг от друга по квадратной сетке устанавливают колья так, чтобы их высота над уровнем земли была 1,5–2 м. Вместо колышев могут быть насыпаны гряды галечников. Затем участок затапливают водой на глубину 1–1,5 м. После того как образуется ледяная корка толщиной 0,5–0,8 м, воду спускают через проран в плотине. Остается слой льда, как бы висящий на кольях или на

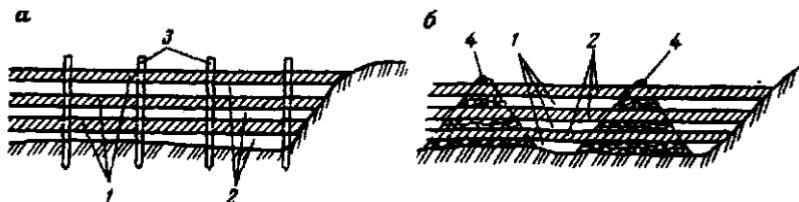


Рис. 1.3. Предохранение от промерзания воздушно-ледяным покрытием:  
а – слои льда (1) подвешены на деревянных кольях (3); б – слои льда (1) поддерживаются грядами галечников (4); 2 – воздушные промежутки между слоями льда

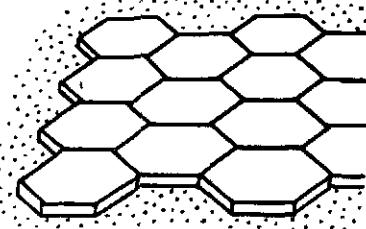
грядах галечника. Когда хотят усилить теплоизолирующие свойства покрытия, затопление и спуск воды производят несколько раз. При этом образуются несколько слоев льда, разделенных между собой воздушными промежутками. Толщина таких слоев 0,2–0,5 м. Как показали специальные исследования, наибольшую тепловую защиту обеспечивают прослои воздуха толщиной до 3–5 см. Практически получить слои такой толщины невозможно. Кроме того, поддерживать тонкие слои льда в подвешенном состоянии весьма трудно, а если их целостность будет нарушена, то за счет циркуляции внутри слоев холодного воздуха теплоизоляционное покрытие потеряет свое значение.

*Рыхление поверхности предохраняемых пород* может производиться при помощи навесных или прицепных тракторных рыхлителей. При рыхлении образуются в породе дополнительные поры, заполненные воздухом, что резко снижает их теплопроводность. Если предохранять необходимо крупносkeletalные рыхлые породы с большим коэффициентом фильтрации, то верхний разрыхленный слой может быть дополнительно осушен за счет проведения сети канав глубиной, несколько превышающей глубину рыхления. Такое осушение особенно целесообразно, когда можно обеспечить остаточную влажность породы не более 10–12 %. Грунтовые воды при этом должны залегать на глубине, на 20–25 % превышающей глубину рыхления. При необходимости возможно понижение их уровня более глубокими канавами. Этот способ предохранения от промерзания не нашел широкого применения в суровых климатических условиях Северо-Востока СССР прежде всего потому, что теплопроводность разрыхленных мерзлых галечников снижается здесь недостаточно. Кроме того, для рыхления на значительную глубину необходимо использовать мощную технику, которая, как правило, всегда бывает нужнее для других работ. Тем не менее в достаточно благоприятных условиях способ может применяться, но как вспомогательный.

*Сохранение и накопление снежного покрова.* Снегозадержание производят при помощи специальных решетчатых щитов размером примерно 1,5×2 м, устанавливаемых рядами поперек господствующего направления ветра. Расстояние между рядами щитов принимают равным 10–15-кратной высоте щита. Способ может быть эффективен там, где действуют достаточно сильные ветры. Высказываются предложения об использовании для этой цели искусственного снега. Правда, пока искусственный снежный покров для предохранения от промерзания не применялся, однако опыт последних Олимпийских игр, когда все лыжные соревнования проходили на искусственном снегу, говорит о том, что в дальнейшем и такое его применение не исключено. Снеговой покров, как правило, также является вспомогательным способом борьбы с промерзанием. Например, он может сочетаться с предохранением при помощи щитов из пенополистирола.

*Покрытие щитами из пенополистирола* (рис. 1.4) было предложено

Рис. 1.4. Укладка щитов из пенополистирола на поверхность талых пород



и испытано работниками Магаданского ВНИИ-1. Щиты из пенополистирола, имеющие в плане форму шестиугольника с длиной грани 1 м и общей площадью от 2 до 2,6 м<sup>2</sup> каждый, укладываются вплотную по всей предохраняемой поверхности. Стандартный щит имеет толщину 15 см и весит около 7 кг. Укладку щитов производят на специально подготовленную выровненную поверхность. Поверх щитов укладываются полизтиленовую пленку. Щиты, расположенные на границах участка предохранения, обваливают и присыпают сверху галечником. Насыпка и уборка щитов производится вручную. За 7-часовую смену два человека могут покрыть щитами площадь в 1000 м<sup>2</sup>. Снежный покров поверх щитов усиливает теплоизоляционный эффект. Сами щиты изготавливают в специальных пресс-формах из гранулированного вспенивающегося полистирола. Расчет показывает, что этот способ предохранения от промерзания может быть экономически эффективным в том случае, когда одни и те же щиты используют в течение нескольких лет. Именно это обстоятельство и ограничивает масштабы их применения.

Практикой установлено, что щиты из пенополистирола могут применяться в самых суровых климатических условиях. Слой пенополистирола толщиной 30 см сокращает промерзание до 1 м даже там, где оно без предохранения достигает 4–5 м.

*Покрытие твердеющими пенами* – самый молодой способ предохранения, который сегодня получил наиболее широкое применение. Основное его преимущество – возможность механизации работ по покрытию полигона пеной. Этот способ не требует такого тщательного выравнивания предохраняемой площади и обеспечивает вполне приемлемые результаты предохранения. Поэтому способ является наиболее современным и перспективным. Он разработан и впервые применен В.Г. Пятаковым (Иргиредмет). Для получения пены необходимы эмульгатор "Волгонат", вода и сжатый воздух.

Создан специальный агрегат, состоящий из четырех передвижных блоков – пеноукладчика, насосной станции, пеногенератора и вспомогательного блока. Слой пены наносят после того, как температура воздуха понизится до минус 5–7 °С. За один проход пеноукладчик укладывает слой толщиной 1 см. После того как слой пены достиг-

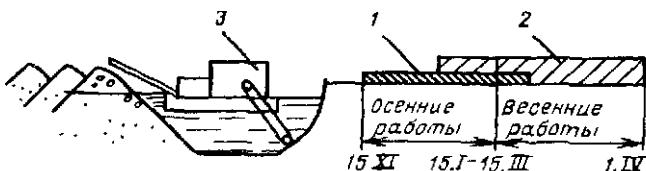


Рис. 1.5. Комбинированное применение быстротвердеющей (1) и водовоздушной (2) пен (3 – драга в забое)

нет расчетной величины, сверху накладывают еще 3–5 слоев. Существуют различные варианты предохранения – укладка водовоздушной пены (ВВП) на поверхность породы, укладка ВВП на лед предварительно затопленного участка, укладка быстротвердеющей пены (БТП) на поверхность породы, комбинированное применение ВВП и БТП.

Технология комбинированного применения различных пен состоит в том, что площади, которые должны отрабатываться в различное время, покрывают разными пенами. Те, которые отрабатываются осенью, покрывают слоем БТП, а отрабатываемые весной – слоем ВВП, как это показано на рис. 1.5. Вполне возможно частичное и даже полное перекрытие различных пен. Слой БТП на участке, который будет разрабатываться в осенне-зимний период – 15–20 см. Участок, который предохраняется от промерзания для работы в начале летнего сезона, должен быть покрыт слоем 0,4–0,7 м.

Имеющиеся материалы свидетельствуют о достаточной эффективности этого способа во всех его разновидностях. Так, применение покрытия ВВП поверх льда затопленного участка сокращает величину промерзания более чем в 2–2,3 раза.

### 1.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ

При организации предохранения от промерзания именно этот вопрос является основным. Для расчета можно воспользоваться формулой (1.1), приведя ее к виду:

$$h_{\text{и}} = \frac{\lambda_{\text{i}}}{K \lambda_{\text{M}}} \left[ \frac{\lambda_{\text{M}} t_{\text{вз}} T}{(LG + 0,5 c_{\text{ом}} t_{\text{вз}}) h_{\text{пр}}} - \frac{h_{\text{пр}}}{2} \right]. \quad (1.2)$$

Пользуясь этой формулой, нельзя задаваться величиной допустимого промерзания, равной нулю. В этом случае формула теряет смысл. Поэтому следует задаваться какой-то допустимой величиной, например, для дражной разработки  $h_{\text{пр}} = 1$  м; для вскрытий работ экскаваторами  $h_{\text{пр}} = 0,4–0,6$  м и т.д.

Задаваясь допустимой величиной промерзания, по этой формуле

можно установить необходимую толщину слоя изоляции с известной теплопроводностью  $\lambda_{ii}$ .

Широко распространенный способ предохранения от промерзания затоплением водой имеет существенный недостаток, заключающийся в необходимости уборки большого количества льда из разреза перед началом дражных работ. Это обстоятельство также ограничивает область применения такого, казалось бы, простого способа предохранения.

Как упоминалось, в качестве теплоизоляции можно использовать верхний слой оттаивших и специально осущенных пород. Расчет по этой же методике показывает, что для предохранения от промерзания необходим слой талых осущенных пород мощностью более 2 м. Перед началом разработки слой галечника (сухой породы) должен быть удален.

Анализируя результаты решения задач на предохранение поверхности пород от промерзания, можно сделать некоторые обобщающие и практические выводы.

1. Полное предохранение от промерзания в условиях, сходных с теми, для которых решались задачи, требует больших трудовых и материальных затрат. В этой связи очень важно правильно установить допустимую величину промерзания, которая не помешает производству горных работ.

2. Затопление водой участков, подлежащих предохранению, может оказаться малоэффективным, прежде всего из-за трудностей, которые связаны с необходимостью поддержания постоянного уровня воды. В таких случаях целесообразно использовать искусственные теплоизоляционные материалы с малыми коэффициентами теплопроводности.

3. Очень часто наиболее эффективно комплексное применение различных способов предохранения. Например, сохранения снежного покрова на полистироловых щитах или на твердеющей пене.

4. При вскрышных работах наиболее целесообразно в конце летнего сезона удалить весь оттаивший в течение теплого времени слой породы. При этом вообще отпадает необходимость в каких-либо специальных мероприятиях по предохранению от промерзания.

Как справочный материал, приводим некоторые сведения о среднегодовой высоте снежного покрова (в м).

Урал . . . . .	0,89
Западная Сибирь . . . . .	0,83
г. Северо-Енисейск . . . . .	0,72
г. Алдан . . . . .	0,74
г. Сусуман . . . . .	0,44
пос. Усть-Нера . . . . .	0,34
пос. Ягодное . . . . .	1

## *Контрольные вопросы и задания*

1. Перечислить основные свойства мерзлых рыхлых пород, влияющие на интенсивность теплообмена и оттаивания.
2. Что такое удельные затраты теплоты на оттаивание и как они определяются?
3. Перечислить все применяемые способы борьбы с сезонным промерзанием поверхности горных пород и дать характеристику каждому из них.
4. Установить зависимость удельной теплоты оттаивания  $Q_{уд}$  от льдистости пород, которую принять равной 50, 100, 150, 200 кг/м<sup>3</sup>; значения  $t_{н}$  и  $t_{к}$  соответственно -6 и +3 °С. Установить зависимость этого же показателя от начальной температуры мерзлых пород, которую принять равной -3, -6 и -12 °С. Конечная температура такая же, как и в предыдущем случае; льдистость пород 300 кг/м<sup>3</sup>.
5. Определить величину промерзания галечника с песчаным заполнителем, имеющего влажность 300 кг/м<sup>3</sup>; срок промерзания с 10 сентября по 10 мая. Значения среднесуточных температур: сентябрь -10, октябрь -18, ноябрь -28, декабрь -32, январь -35, февраль -29, март -16, апрель -11, май -5 °С. Установить зависимость величины промерзания от льдистости (влажности), принимая ее равной 100, 150, 200, 250 кг/м<sup>3</sup>. Величина снежного покрова составляет 0,4 м. Остальные данные – табличные (см. введение и гл. 1).
6. Установить необходимую толщину теплоизоляционного слоя для предохранения от промерзания при тех же условиях (см. контрольное задание 5), задаваясь допустимой величиной промерзания для экскаваторной разработки. В качестве теплоизоляции используется осущененный галечник, водовоздушная пена, снег.

## **Глава 2**

### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТТАЙКЕ МЕРЗЛЫХ ПОРОД**

#### **2.1. ПОНЯТИЕ О РАЗУПРОЧНЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Прежде чем говорить непосредственно об оттайке и ее способах, необходимо определить значение такого понятия, как разупрочнение рыхлых пород. Это понятие более широкое, чем оттаяка, и подразумевает приведение уплотненных или мерзлых рыхлых пород в состояние удобное для разработки и обогащения.

В настоящее время переданные для разработки и разрабатываемые россыпные месторождения чаще всего залегают в сложных условиях, содержат большое (иногда до 75–80 %) количество глины и на 50 % представлены многолетнемерзлыми породами. Поэтому разупрочнение становится все более значимой работой в общем комплексе разработки россыпных месторождений. При открытой разработке многолетнемерзлых россыпей больше половины вскрышных работ производятся с предварительным буровзрывным рыхлением. Общая характеристика приме-

Таблица 2.1

## Способы подготовки мерзлых рыхлых пород к разработке (способы разупрочнения)

Существование способа	Разновидности (варианты) способа	Область применения
<i>I. Естественная оттайка</i>		
Оттаивание происходит в результате непосредственного воздействия тепла солнечной радиации на верхний слой мерзлых горных пород.	1. Послойная оттайка	Разработка россыпи послойным способом (тонкими слоями) при помощи бульдозеров и реже колесных скреперов представляет собой основной и самый дешевый из применяемых в настоящее время способов разработки мерзлых россыпей в теплое время
Технические мероприятия осуществляются с целью сокращения теплопотерь и повышения эффективности оттайки	2. Накопление талого слоя	Разработка россыпи экскаваторами сразу на всю мощность или "мощными" (не менее 1,5–2 м) слоями. Применяется главным образом для продления сезона вскрышных работ. Использование бульдозеров в этом случае менее целесообразно. При накоплении в течение нескольких сезонов должно сочетаться с предохранением от промерзания. Для ускорения естественной оттайки применяют покрытие участков оттайки пленками
<i>II. Искусственная оттайка</i>		
Оттаивание происходит под воздействием тепла, получаемого от специальных теплоносителей, которые искусственно вводятся в массив мерзлых горных пород	1. Затопление поверхности	Применяется для оттайки горной массы на дражных полигонах в условиях умеренно сугревого климата. Должно сочетаться со средствами предохранения от промерзания в зимнее время
	2. Игловая гидрооттайка	Оттаивание мерзлой горной массы в больших масштабах для дражных работ и разработки при помощи экскаваторов. Работы по оттайке производятся в теплое время года
	3. Фильтрационно-дренажная оттайка	Область применения та же, но для пород, обладающих (в талом состоянии) значительной фильтрационной способностью. Вода для оттайки может подаваться системой фильтрационных канал, дождеванием, комбинированным способом и т.д.
	4. Игловая пирооттайка (или оттайка горячей водой)	Применяется для ликвидации сезонной мерзлоты в дражных разрезах или для оттайки мерзлых пород на строительных площадках
	5. Оттайка при помощи электрического тока	В горном производстве применялась только в экспериментальном порядке. В перспективе может использоваться, так как позволяет ликвидировать сезонность работ по оттайке. Находит применение в отдельных случаях на строительных площадках. Может применяться в комбинации с игловой гидрооттайкой

Продолжение табл. 2.1

Существование способа	Разновидности (варианты) способа	Область применения
	6. Комбинированные способы оттакки	Сочетание игловой гидрооттайки с предварительными рыхлением мерзлого массива при помощи БВР, гидроразрывом пласта пород, а также с электростайкой
	7. Оттаивание открытым огнем	Самый дорогой и малозэффективный способ. На горных работах не применяется. Иногда используется строителями для проходки траншей или небольших котлованов в зимнее время
<i>III. Механическое рыхление</i>		
Рыхление производится тракторами или бульдозерами при помощи навесных рыхлителей	1. Глубокое рыхление (на глубину более 0,5 м)	Поспирная разработка разрыхленных мерзлых пород бульдозерами или колесными скрепами
	2. Мелкое рыхление (на глубину 0,2–0,3 м)	Интенсификация бульдозерных работ при разработке "трудных" пород (например, при зачистке плотика или выемке плотных глинистых песков)
<i>IV. Взрывное рыхление</i>		
Рыхление осуществляется в результате взрывов зарядов ВВ, заложенных в специальные скважины (шпуры, выработки)	1. Мелкощуповое	Все подземные работы при разработке многолетнемерзлых россыпей. Канавные и другие горноподготовительные работы в зимнее время. Рыхление трудноразрабатываемых песков
	2. Взрывными скважинами	Подготовка мерзлых пород к открытой разработке в осенне-зимний период, когда строение россыпи неблагоприятно для естественной оттайки (большое количество глинисто-илистого материала). Применяется при необходимости срочного проведения открытых работ для начала сезона оттайки
	3. Взрывными выработками	Применяется редко, главным образом для необходимости организации взрыва "на выброс"

**Примечание.** Среди специалистов существует мнение, что затопление водой не может считаться способом оттайки, а является только одним из способов предохранения талых пород от зимнего промерзания. Тем не менее в районах со сравнительно мягкими климатическими условиями именно затопление (многолетнее) применялось для обеспечения драг талой горной массой, в связи с чем этот способ упомянут в таблице.

няемых способов разупрочнения представлена в табл. 2.1, там же коротко охарактеризованы и области их применения.

Надо иметь в виду, что большая глинистость песков (горной массы) представляет собой препятствие не только для разработки, но и для обогащения, в связи с чем механического разупрочнения (рыхления) в этом случае может оказаться недостаточно. Зерна полезного ископаемого будут теряться при обогащении вместе с мерзлыми и глинистыми комками, в которые они включены. Возникает необходимость в дополнительной дезинтеграции такого материала, т.е. в разрушении даже сравнительно небольших глинистых и мерзлых комков. Оттайка в этом случае имеет явное преимущество перед взрывным рыхлением мерзлых пород — в полностью оттаином материале содержится значительно меньше таких агрегатных образований. Именно поэтому при дражной разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений оттайка — единственно приемлемый способ разупрочнения. Правда, в тех случаях, когда мерзлые породы содержат в больших количествах глину, их оттайка — процесс длительный и трудоемкий.

В технической литературе применяют два термина — "оттайка" и "оттаивание". Оба они обозначают либо сам процесс перехода мерзлых пород в талое состояние, либо комплекс работ, который необходимо осуществить для достижения этой цели. Практически эти термины — синонимы.

Существуют несколько классификаций способов оттайки. Их распределяют по источнику тепла (теплоносителю), способу передачи тепла, применяемому оборудованию. По способу передачи тепла методы оттайки можно разделить на три большие группы, основанные на: 1) кондуктивном; 2) конвективном; 3) смешанном теплообмене в талой зоне. С точки зрения теории, такая классификация наиболее обоснована и необходима, но для того, чтобы иметь общее представление о способах оттайки, их можно разделить на естественные и искусственные. Естественная оттайка происходит в результате воздействия солнечного тепла и не требует каких-либо специальных мероприятий для того, чтобы этот процесс возник и продолжался. Такие мероприятия могут быть направлены только на некоторое регулирование естественного баланса тепла и соответственно на незначительное повышение интенсивности оттайки. Совершенно очевидно, что такая естественная оттайка будет самой дешевой. Но в то же время она не может во всех случаях обеспечить необходимую интенсивность процесса и глубину оттайки. Именно поэтому были созданы и широко применяются искусственные способы оттайки, при которых человек может в полной мере регулировать процесс и добиваться нужной ему интенсивности. Конечно, такая оттайка значительно дороже и более трудоемка, чем естественная.

Итак, оттайка — один из способов разупрочнения. Важной технологической задачей, решение которой необходимо при разработке россыпей, требующих предварительного разупрочнения, является правильный

выбор этого способа. Например, для подземной разработки многолетнемерзлых россыпей сегодня заменить буровзрывное рыхление оттайкой нельзя. Однако в перспективе полностью отвергать подобную возможность не следует. В настоящее время большое значение приобретают геотехнологические методы разработки, например скважинная гидродобыча (СГД). И в этой связи вполне реальной представляется оттайка одного пласта, в котором сконцентрировано полезное ископаемое, с тем, чтобы этот талый пласт, ограниченный со всех сторон мерзлым массивом, в дальнейшем можно было извлечь на поверхность средствами СГД. В перспективе оттайка мерзлых пород может найти применение при всех существующих способах разработки.

## 2.2. ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ОТТАЙКИ

При небольшой глубине разрабатываемых россыпей (в пределах до 5–6 м) основным способом разупрочнения мерзлых пород является их естественная оттайка с послойным снятием (при бульдозерной разработке) или накоплением талого слоя (при разработке с помощью экскаваторов). Сущность естественной оттайки заключается в том, что под влиянием тепла солнечной радиации и в результате контакта с нагретым воздухом верхний слой мерзлых пород оттаивает и это оттаивание постепенно распространяется в глубину. При этом чем больше становится талый слой, тем медленнее происходит дальнейшая оттайка – она затухает. Талый слой в конечном итоге становится теплоизолятором, задерживающим поступление тепла в более глубокие слои. Наиболее интенсивна оттайка, когда мерзлый слой находится непосредственно на поверхности, т.е. в самом ее начале. Именно поэтому наиболее эффективна естественная оттайка с систематическим удалением талого слоя. Практически талый слой должен удаляться ежедневно – при этом интенсивность оттайки будет максимальной. Применяя этот способ, можно за один летний сезон оттаять и убрать породу на глубину от 5 до 8 м в зависимости от климатических и мерзлотных условий.

Оттайка с накоплением талого слоя значительно менее интенсивна – максимальная глубина оттайки за сезон не превышает 2–3 м в том случае, когда заблаговременно удален растительный слой. Если же оттаивание происходит под растительным покровом, то его глубина не превысит 1–1,5 м. Таким образом, чтобы добиться нужной глубины оттайки, необходимы несколько сезонов в сочетании с зимним предохранением талых пород от промерзания.

Наиболее приемлемые результаты дает накопление талого слоя в сравнительно мягких климатических условиях, в то время как оттайка с послойным удалением талого слоя может быть применена практически повсюду. Единственной причиной, которая может заставить отказаться от послойной оттайки, является большое количество иллюстоглинистого материала в сильно льдистых мерзлых породах. Такие породы трудно и долго оттаивают, и после оттайки могут превратиться в плытуны,

которые практически невозможно удалить за пределы полигона и выложить в отвал. Производительность бульдозеров в данном случае будет существенно снижена. Если подобными породами представлены торфа, то может оказаться более целесообразным и даже экономически эффективным их взрывное рыхление и вскрышные работы в зимний период до того, как они начнут оттаивать.

Однако если ледистые мелкодисперсные породы не содержат большого количества глины и хорошо отдают воду, то вполне вероятно, что наиболее целесообразно накопление талого слоя с его одновременным осушением. Такое накопление в сочетании с предохранением от промерзания может продолжаться два-три летних сезона. Если предохранение затруднено, то весь оттаянный в течение лета слой породы необходимо убрать из разреза осенью, когда закончится сезон летней оттайки. Такое "улучшение" качества пород, т.е. их оттайка и обезвоживание в технической литературе получили наименование "тепловая мелиорация" по аналогии с сельскохозяйственными работами.

Из высказанного следует, что для эффективной работы необходимо подбирать участки, на которых естественное оттаивание мерзлых пород происходит наиболее интенсивно.

Из искусственных способов наиболее простой является оттайка при помощи затопления оттаиваемых участков водой. Технология этого способа по существу не отличается от технологии предохранения талых пород от промерзания. В умеренно суровых климатических условиях за 2–3 летних сезона этим способом удавалось оттаивать породы на глубину до 5–6 м, достаточную для дражной разработки. При этом вода в летнее время представляет собой теплоноситель, отдающий свое тепло находящимся под ней мерзлым породам, а в зимнее она же служит теплоизоляцией, предохраняющей талые породы от промерзания. Этот способ оттайки представляется весьма заманчивым из-за своей простоты, в связи с чем неоднократно делались попытки перенести опыт в более суровые климатические условия. Все подобные попытки заканчивались неудачей. Именно поэтому были четко определены условия, в которых оттайка затоплением может быть применена (см. табл. 2.1).

Наиболее универсален способ гидроигловой оттайки (ИГО), который заключается в том, что в иглы-трубы, погруженные в мерзлые породы, нагнетают естественно нагретую воду. Выходя из наконечника иглы, вода по оттаявшему затрубному пространству поднимается на поверхность, отдавая по дороге свое тепло окружающим мерзлым породам (рис. 2.1). Эти породы оттаивают и вокруг иглы образуется условно цилиндрический талик, который все время, пока продолжается нагнетание воды, расширяется. Когда талики отдельных игл сольются в единый массив талых пород — оттайка закончена. Следовательно, наращивание талика происходит в данном случае в горизонтальном направлении. Основное удобство ИГО (кроме его универсальности) то, что интенсивность оттаивания можно регулировать, подбирая ее параметры.

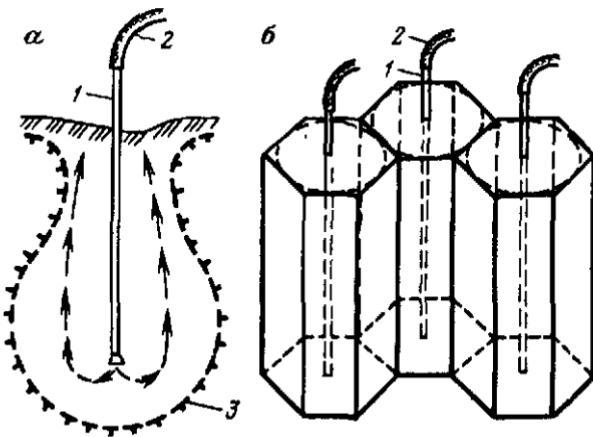


Рис. 2.1. Принципиальная схема игловой гидрооттайки:  
а – истинная форма талыка вокруг гидроиглы; б – условная форма талыка, принятая для расчетов.

1 – игла; 2 – резинотканевый рукав, по которому подается вода в иглу;  
3 – граница талой зоны. Стрелками показано направление движения воды в талике вокруг иглы

**Фильтрационно-дренажная оттайка (ФДО)** заключается в том, что вода, фильтруя по талому слою пород в направлении естественного уклона, отдает свое тепло нижележащим слоям мерзлой породы, в результате чего они оттаивают (рис. 2.2). Прирост талого слоя здесь происходит по вертикали. Способы подачи и дренирования воды могут быть самыми различными (см. гл. 5). Фильтрационно-дренажная оттайка значительно проще гидроигловой, однако менее интенсивна и не столь универсаль-

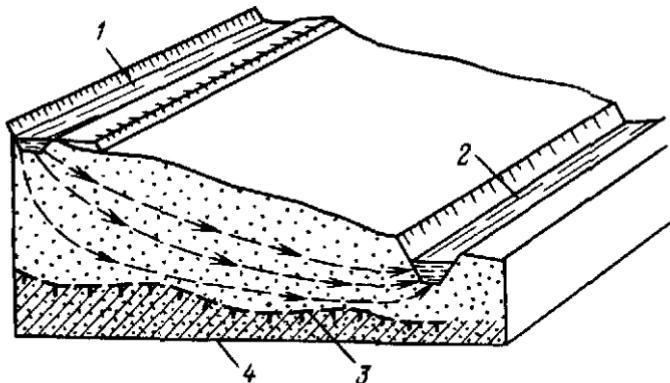


Рис. 2.2. Принципиальная схема фильтрационно-дренажной оттайки:  
1 – питавшая (фильтрационная) канава; 2 – дренирующая (приемная) канава;  
3 – граница талого слоя; 4 – мерзлые породы

на. Основное назначение ИГО и ФДО в настоящее время — подготовка мерзлых россыпей к дражной разработке. В этом случае искусственная оттайка не имеет конкурентов и вопрос может состоять только в том, какой из двух способов предпочтительнее в конкретных условиях. Этот вопрос решается технико-экономическим сравнением, либо определяется заданными сроками разработки, поскольку ИГО всегда происходит интенсивнее.

Очень хорошие результаты дают оба эти способа и для экскаваторной разработки мерзлых россыпных месторождений. Мерзлая россыпь, отаянная любым способом, значительно легче разрабатывается экскаватором, нежели разрыхленная взрывом. Кроме того, сочетание буро-взрывного рыхления с различными способами оттайки позволяет существенно увеличить сезон вскрытий работ. В перспективе замена значительной части буро-взрывных работ искусственной оттайкой представляется совершенно необходимой.

*Оттайка паром и подогретой водой* производится также при помощи игл, однако технология здесь несколько иная (подробнее см. гл. 6). Эти способы оттайки применяют в тех случаях, когда необходимо производить работы в холодное время года или же когда необходимо срочно оттаивать небольшие участки мерзлых пород для проведения траншей, котлованов, строительства фундаментов и т.д. На горных работах основное применение эти способы находят при дражной разработке, когда породы, отаянные прошлым летом, необходимо начать разрабатывать ранней весной. Вода уже появилась, но среднесуточные температуры воздуха еще отрицательны и обычную ИГО для ликвидации образовавшейся за зиму мерзлой корки на поверхности отаянных пород применить нельзя.

*Оттайка при помощи электрического тока* здесь подробно рассматриваться не будет, поскольку в горном деле она практически не применяется. Укажем только самые общие сведения. Ее можно применять в тех же целях, что и паровую оттайку. Существо способа заключается в том, что в специально пробуренные в мерзлой породе скважины погружают металлические электроды, к которым подводят ток промышленного напряжения. Расстояние между электродами 0,5–0,6 м. Иногда погружные электроды заменяют накладными. Оттайка обычно производится на глубину до 1,5 м. Для оттаивания такого слоя требуется около 16 ч. Испытан также способ оттайки током высокого регулируемого напряжения — первоначально на электроды подают ток напряжением 10 кВ. По мере оттаивания напряжение уменьшают. Однако такой способ требует более сложного конструктивного оформления и более жестких мер для обеспечения безопасности работающих. В последние годы в порядке эксперимента проводили в подземных условиях оттайку токами высокой частоты (ТВЧ). Вполне возможно, что такой вариант в будущем и найдет применение.

Достоинство электрооттайки состоит в том, что под ее воздействием хорошо оттапывают глинистые породы, которые гидравлически-

ми способами оттаивать трудно. Поэтому появилось предложение применять для оттайки пород, содержащих линзы и прослойки глинистого материала, комбинированную оттайку. Сперва ведут оттаку электрическим током, причем в качестве электродов используют металлические трубы — иглы. После того как оттаивают глинистые породы, иглы отключают от источника тока и через них начинают нагнетать воду, как при обычной игловой гидрооттайке. Вполне возможно, что такая комбинация в ряде случаев окажется весьма эффективной, однако это вопрос будущего. Пока же применение электрооттайки ограничивается локальными участками на строительных работах.

Другой вариант комбинированной оттайки — игловая оттайка с предварительным рыхлением мерзлого массива, с тем, чтобы дать возможность воде проникнуть в трещины и образовать там дополнительные очаги оттаивания. Такие способы разработаны и испытаны во ВНИИ-1 и в Ленинградском горном институте. Рыхление в этом случае можно производить, взрывая облегченные скважинные заряды ВВ (взрывогидравлическая оттайка) или производя предварительный горизонтальный разрыв мерзлых пород, нагнетая в специальные герметизированные скважины воду под высоким давлением. Обычно такой разрыв происходит по ледяным линзам или прослойкам. Вода из гидроигл, поступая в эти трещины разрыва, также образует дополнительные очаги оттаивания.

Комбинированные способы оттайки пока применялись только в отдельных случаях в экспериментальном порядке.

### 2.3. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОТТАЙКИ

Разупрочнение мерзлых пород, имеющее очень большое значение при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений, тем не менее является подготовительной работой. От своевременности и качества ее проведения зависит весь комплекс вскрышных и добывчих работ. Как правило, ухудшение технико-экономических показателей и снижение объемов работ при разработке мерзлых россыпей прежде всего связаны с недостаточной подготовкой.

Вместе с тем выбор способа оттайки не является самоцелью, он должен обеспечить условия для наиболее эффективной разработки месторождения. Следовательно, сравнивать между собой экономическую эффективность различных способов оттайки можно только в том случае, когда все эти способы обеспечивают одинаковую возможность для применения заданной технологии горных работ. Так, наиболее эффективна и дешева естественная оттайка с послойной разработкой. Однако она может быть применена только при использовании в качестве выемочных машин бульдозеров или (что значительно ржже) скреперов. Для экскаваторной разработки необходимо либо накопление талого слоя, либо искусственная оттайка.

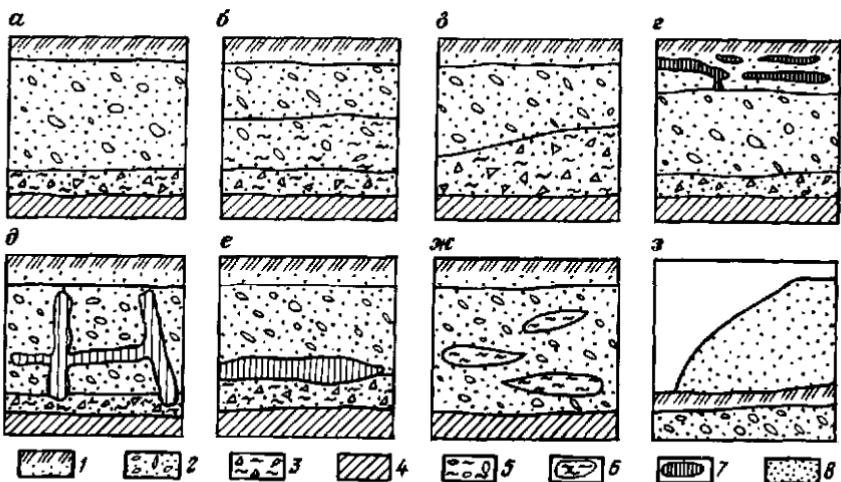


Рис. 2.3. Наиболее характерные вертикальные разрезы по рыхлым горным породам, слагающим россыпь:

1 – почвенно-растительный слой; 2 – галечники с песчаным заполнителем; 3 – обломочный (угловатый) материал с глинистым заполнителем; 4 – коренные породы плотика; 5 – галечники с песчано-глинистым заполнителем; 6 – линзы глины (сильно глинистых пород); 7 – линзы и прослойки льда; 8 – рыхлые породы в отвале

Наилучшие результаты можно получить при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений, комбинируя различные способы разупрочнения. Например, зимой и ранней весной вскрышные работы можно производить с предварительным буровзрывным рыхлением мерзлых пород. Как только температура воздуха станет положительной, возникает целесообразность использования бульдозерной послойной разработки с естественной оттайкой. Одновременно с этим следует на выбранных для этой цели участках производить накопление талого слоя и искусственную оттайку.

Подготовленные таким образом талые породы можно будет разрабатывать осенью, когда естественная оттайка прекратится. Практически в самых суровых климатических условиях по заранее подготовленным талым породам можно работать в октябре и даже в начале ноября. Зимой снова следует прибегнуть к буровзрывному рыхлению. При такой организации работ обеспечивается наиболее эффективная разработка месторождения, продление и улучшение условий использования мощной техники, занятой на вскрышных работах. Очень важно при этом правильно выбрать способы разупрочнения и очередность их применения. Чтобы это сделать, необходимо четко знать условия, благоприятные для различных способов оттайки, которые зависят прежде всего от состава и строения разрабатываемого россыпного месторождения.

На рис. 2.3 показаны наиболее характерные вертикальные разрезы многолетнемерзлых россыпных месторождений, встречающиеся в практике их разработки.

Наиболее благоприятен для применения любых способов оттайки разрез, показанный на рис. 2.3, а, где основная толща пород представлена галечниками с песчаным заполнителем, не имеющими прослоев и линз льда и глинистых пород. Менее благоприятный случай показан на рис. 2.3, б, где над слоем обломочного материала лежит слой галечников с песком и глиной. Легко заметить, что нижние части разрезов на рис. 2.3 (кроме ж и з) представлены более угловатыми минеральными обломками с супесчаным, а иногда и с суглинистым заполнителем. Это в основном продуктивный пласт (пески), в котором содержится большее по сравнению с верхней частью разреза количество глинистого материала. Иногда из таких пород состоит значительная часть разреза (см. рис. 2.3, в). В этом случае условия менее благоприятны для применения фильтрационно-дренажной оттайки, более благоприятны — для игловой.

Мощный растительный слой, под которым залегают линзы и пропластики льда (см. рис. 2.3, г), представляет собой препятствие для любого способа оттайки. Поэтому, когда такой слой не является основным в вертикальном разрезе, а подстилающие его породы дают возможность применять оттайку, то следует весь верхний слой вместе с включениями льда удалить, обнажив галечники. С этой целью возможно применение буровзрывного рыхления или послойной естественной оттайки.

Если же линзы льда распространены по всей толще пород, то вполне возможно, что буровзрывное рыхление будет здесь предпочтительнее оттайки. Наличие в вертикальном разрезе вертикальных или наклонно ориентированных ледяных тел (или же ячеистая текстура) — весьма серьезное препятствие для ИГО. Если размеры включений льда будут значительны, то любая искусственная оттаяка затруднена и следует применять либо буровзрывные работы, либо послойное оттаивание с дополнительным неглубоким механическим рыхлением поверхности пород.

Линзы и прослойки глинистых пород (см. рис. 2.3, д, е, ж) значительной мощности и протяженности не позволяют использовать ФДО либо очень существенно ее замедляют. Если глинистые линзы имеют мощность 1 м и больше, то ФДО практически неприменима.

Для оттаивания отвалов наиболее удобна ФДО с дождевальным питанием. Этот способ чаще называют дождевальной оттайкой.

При любом из указанных на рис. 2.3 разрезов растительный слой перед началом оттайки следует удалять до обнажения галечников.

Таким образом, можно сформулировать условия применения различных способов оттайки.

*Естественная оттаяка с систематическим удалением тглого слоя* может применяться практически в любых климатических условиях. Затрудняют оттайку лед и глинистые породы. Интенсивность оттайки зави-

сит от периодичности удаления талого слоя; максимальная интенсивность — при ежесуточном удалении.

*Естественная оттайка с накоплением талого слоя* наиболее эффективна в условиях умеренно-сухового климата. В зависимости от конкретных условий годовое накопление талого слоя составляет 1,5–3 м. Несколько повышает интенсивность оттайки применение пленочных покрытий.

*Искусственная оттайка затоплением полигона водой* применяется редко в сравнительно мягких климатических условиях при среднегодовых температурах воздуха от  $-2$  до  $-4^{\circ}\text{C}$  (в исключительных случаях до  $-8^{\circ}\text{C}$ ) и сумме положительных градусосуток не менее 1300.

*Игловая гидрооттайка* — наиболее универсальный способ, применимый в различных климатических условиях. Теоретически возможна на глубину до 50 м. Обязательное условие — коэффициент фильтрации оттаиваемых пород (в талом состоянии) не менее 8 м/сут.

*Фильтрационно-дренажная оттайка* возможна при уклоне поверхности до 0,1 и коэффициенте фильтрации не менее 50 м/сут. Если уклон превышает 0,1, то ФДО становится возможной при коэффициенте фильтрации более 20 м/сут.

*Дождевальная оттайка* — вариант фильтрационно-дренажной, применяемый при неровном (холмистом) рельфе поверхности и для оттаивания мерзлых отвалов.

*Зимние способы искусственной оттайки* (оттайка паром, горячей водой) являются самыми дорогими и трудоемкими и применяются в ограниченных масштабах при необходимости проведения работ в холодное время года.

#### 2.4. НЕКОТОРЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОТТАИВАНИЯ

Все основные расчетные формулы будут приведены в разделах, характеризующих технологию оттайки. Поэтому здесь в самой краткой форме изложены только теоретические предпосылки, положенные в основу этих формул. Все расчеты построены на сопоставлении количества тепла, необходимого для оттаивания заданного объема мерзлых пород с фактическим количеством тепла, содержащимся в теплоносителе с учетом коэффициента его использования. Как уже указывалось, процессы теплообмена, приводящие к оттаиванию мерзлых пород, весьма сложны и многофакторны. При этом практически невозможно с достаточной точностью учесть постоянно меняющиеся условия работы, определить коэффициент использования тепла, который меняется в процессе оттаивания, изменения микрорельефа поверхности, проследить за изменением льдистости, которая может весьма существенно изменяться не только в вертикальном разрезе россыпи, но и по ее длине и т.д.

Поэтому все рекомендуемые для расчетов формулы дают приблизительные решения задачи. В то же время опыт показывает, что достоверность этих решений достаточна для инженерных расчетов и проектирования.

Работы по уточнению теории, выявлению и уточнению зависимостей интенсивности оттайки от различных факторов продолжаются. В частности, Г.З. Перельштейном и Э.Я. Черных предложена числовая модель процесса оттайки, которая позволяет более точно выявить ряд зависимостей. Отдельные результаты этого исследования, например, рекомендации по уменьшению глубины бурения под иглы, имеющие практическое значение, использованы в настоящем учебнике.

Тем не менее добиться абсолютной точности расчета не представляется возможным. Очевидно, при инженерных расчетах к этому и не следует стремиться.

Основные показатели, которые необходимы для расчета оттайки и ее привязки к технологии разработки россыпей — глубина оттаивания и время, необходимое для оттайки заданного объема мерзлых пород при установленной ее глубине.

*Игловая гидрооттайка*. Исходное положение для расчета — предположение о том, что вокруг каждой иглы образуется талик цилиндрической формы. В действительности этот талик имеет грушевидную форму. Для того, чтобы зона действия отдельных игл полностью покрывали всю площадь, на которой осуществляется оттайка, цилиндрическое талое тело в расчетах заменяется шестигранной призмой (см. рис. 2.1). Объем такой призмы, соответствующий объему породы, оттаянной одной игрой,

$$V_h = 0,87l^2H,$$

где  $l$  — расстояние между соседними иглами в ряду, м;  $H$  — глубина оттайки, м;  $0,87l$  — расстояние между рядами, м.

Чтобы вокруг каждой иглы образовался талик заданного объема, необходимо в нее подать количество тепла  $Q=Q_{\text{уд}} + Q_m$ , где  $Q_m$  потери тепла в толще мерзлых пород

Это же количество тепла может быть записано так:

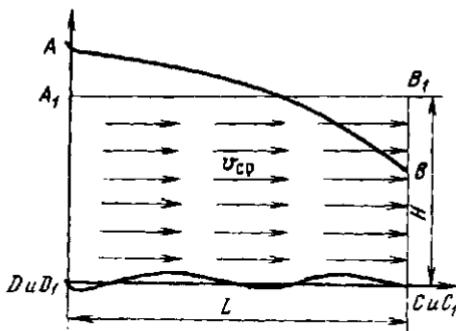
$$Q = c_{\text{ов}} \int_0^T (t_b - t_c) w dT,$$

где  $t_b$  — температура нагнетаемой в иглу воды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_c$  — температура изливающейся на поверхность воды (остаточная),  $^{\circ}\text{C}$ ;  $w$  — количество подаваемой в иглу воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $T$  — время, в течение которого в иглу подается вода, ч.

Интеграл здесь необходим поскольку, поскольку количество воды и ее температура постоянно меняются. Предполагают, что в рассматриваемом отрезке времени эти величины остаются постоянными, т.е.

Рис. 2.4. Схема к упрощенному расчету фильтрационно-дренажной оттайки:

Условная фигура  $ABC\bar{D}$  заменяется реальной фигурой  $A_1B_1C_1\bar{D}_1$ ;  $H$  — средняя мощность оттаиваемого участка;  $v_{ср}$  — средняя скорость фильтрации; стрелками показано направление фильтрации



$t_B = \text{const}$ ;  $w = \text{const}$ . Затем приравнивают:

$$\int (t_B - t_c) dT = \kappa_u t_B T,$$

где  $\kappa_u$  — средний коэффициент теплоотдачи воды за время  $T$ . Расчет этого коэффициента достаточно сложен.

В итоге можно написать, что

$$0,87l^2 H Q_{уд} + Q_m = c_{об} \kappa_u t_B w T. \quad (2.1)$$

Потери тепла в толще мерзлых пород  $Q_m$  тем меньше, чем большее количество игл находится в одновременной работе. Учитывая, что это количество измеряется сотнями и тысячами игл, величиной  $Q_m$  пренебрегают. Из выражения (2.1) получены все формулы для расчета параметров игловой гидрооттайки. Правда, как будет видно дальше, для практических расчетов используют несколько иную формулу, которая удобна тем, что в ней отсутствует коэффициент  $\kappa_u$ . Но надо иметь в виду, что эта формула получена в результате обработки большого количества фактического материала по результатам оттайки, причем в каждом отдельном случае расчеты производились по формулам, выведенным теоретически.

Расчет фильтрационно-дренажной оттайки не менее сложен. Здесь реальную геометрию фильтрационного потока, которая достаточно неправильна (рис. 2.4), заменяют в расчетах прямоугольной пластиной, в которой мощность фильтрационного потока осредняется, а скорость фильтрации принимается постоянной по всей рассматриваемой области. При этих допущениях относительная теплоотдача потока

$$\kappa_u = 2\sqrt{\frac{F_0}{\pi}}, \quad (2.2)$$

где  $F_0$  — число Фурье,  $F_0 = \lambda l / c_{об} v H^2$ ,  $l$  — длина пути фильтрации, м;  $v$  — скорость фильтрации, м/ч;  $H$  — средняя мощность слоя фильтрации (мощность фильтрационного потока), м.

Поскольку при фильтрационной оттайке число Фурье  $F_0$  не превышает 0,1, то действительное уравнение, показывающее величину теплоотдачи с погрешностью, не превышающей 5 %, заменено выражением (2.2).

Количество тепла, отданное фильтрационным потоком в мерзлую толщу,

$$Q_m = \kappa_i c_v u H t_n \Delta T.$$

За счет поступления этого тепла в талое состояние перейдут породы в объеме  $\Delta h l$ . Значит, имеет место равенство

$$\Delta h l Q_{уд} = \kappa_i c_v u H t_n \Delta T.$$

Произведя некоторые преобразования и упрощения, получим:

$$\Delta h = K \frac{t_n \Delta T}{Q_{уд} l} \sqrt{\frac{k_\phi J}{l}},$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от принятой системы измерения количества тепла (см. п. 5.3);  $\Delta h$  – прирост мощности талика по вертикали за время  $\Delta T$ , м;  $l$  – длина пути фильтрации (длина оттаиваемого участка), м;  $t_n$  – начальная температура воды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\kappa_\phi$  – козффициент фильтрации, м/ч;  $J$  – гидравлический уклон.

Последняя формула рекомендуется для инженерных расчетов: она дает вполне удовлетворительные результаты. Если в толще мерзлых пород отдельные слои сильно отличаются по льдистости и козффициенту фильтрации, то для каждого слоя можно производить самостоятельный расчет времени оттаивания (или глубины оттайки), полученные результаты расчетов складывают.

Существуют более сложные методы расчета, с которыми можно ознакомиться в специальной литературе.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Чем вызывается необходимость разупрочнения мерзлых пород?
2. Перечислить все способы разупрочнения и указать условия их применения.
3. Указать исходные предпосылки для вывода расчетных формул игловой и фильтрационно-дренажной оттайки.
4. Составить совмещенную таблицу рекомендуемых областей и условий применения всех способов оттайки.
5. По климатическим справочникам определить географические районы, где возможно применение оттайки затоплением и эффективно накопление талого слоя.

## Глава 3

# ТЕХНОЛОГИЯ И РАСЧЕТЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОТТАЙКИ

### 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Естественная оттайка или оттайка под воздействием тепла солнечной радиации — наиболее простой, дешевый и эффективный способ оттайки, который может быть применен почти в любых условиях. Единственный, но весьма серьезный его недостаток — малая интенсивность, регулировать которую при помощи специальных мероприятий можно только в очень небольших пределах. Тем не менее при достаточно четко организованной работе даже в самых суровых климатических условиях при разработке с применением послойной естественной оттайки в течение одного летнего сезона может быть достигнута глубина 8–10 м, что практически недостижимо для всех остальных способов оттайки, кроме гидроиглового.

Количество поступающего к земной поверхности солнечного тепла определяется составляющими естественного радиационного баланса, а также зависит от многих условий: температуры и влажности воздуха, влажности и теплопроводности пород, состояния их поверхности, экспозиции участка (его ориентации по отношению к солнцу), наличия и мощности растительного слоя, рельефа поверхности и др. Важнейшее значение имеет продолжительность теплого периода года, т.е. периода, в течение которого средние суточные температуры воздуха положительны. Для всех районов Севера и Северо-Востока СССР, в которых распространена толща многолетнемерзлых пород, эти периоды весьма коротки. Именно этим объясняется малая сумма положительных градусосуток (см. табл. 1.1), поскольку в континентальных районах Северо-Востока СССР лето, хотя и теплое, но непродолжительное.

Некоторые сведения о продолжительности теплого периода в отдельных районах приведены ниже.

Но даже и в короткое северное лето суммарное количество тепла, поступающее с солнечной радиацией, если бы его использовать полностью, могло бы при ежедневном удалении талого слоя обеспечить оттайку на глубину 16–20 м. Ниже приведены продолжительности теплого периода (в сут) для некоторых районов.

г. Сусуман . . . . .	.131
пос. Ягодное . . . . .	.134
Мыс Шмидта . . . . .	.97
пос. Усть-Омчуг . . . . .	.139
пос. Маршальский . . . . .	.133
пос. Алдах-Юль . . . . .	.139
пос. Депутатский . . . . .	.414

В основных районах, в которых производят разработку многолетнемерзлых россыпных месторождений, непосредственно для прогрева мерз-

лых пород обычно используется не более 5–7 % поступающего тепла, остальное тепло теряется.

В общем виде уравнение теплового баланса может быть записано так:

$$\Sigma R(1 - K_a) - \mathcal{E}_u = K_t + K_u I + \mathcal{E}_n,$$

где  $\Sigma R$  – суммарная коротковолновая радиация;  $K_a$  – коэффициент отражения поверхности (коэффициент альбедо);  $\mathcal{E}_u$  – эффективное тепловое излучение поверхности в атмосферу;  $K_t$  – турбулентный теплообмен;  $K_u I$  – затраты тепла на испарение воды, находящейся в поверхностном слое горных пород ( $K_u$  – теплота испарения,  $I$  – количество испаряющейся воды);  $\mathcal{E}_n$  – поток тепла в горные породы (эффективная составляющая баланса).

Если переписать уравнение относительно  $\mathcal{E}_n$ , то получим

$$\mathcal{E}_n = \Sigma R(1 - K_a) - \mathcal{E}_u - K_t - K_u I.$$

Рассмотрим, каковы реальные возможности изменения составляющих этого баланса (рис. 3.1).

На балансе существенно сказывается способность поверхности горных пород отражать солнечные лучи. Чтобы проиллюстрировать это положение, приведем значения коэффициента отражения (альбедо) для различных поверхностей.

Снег свежий . . . . .	0,80–0,85
Снег загрязненный . . . . .	0,40–0,55
Трава зеленая . . . . .	0,28
Суспесь оторфованная . . . . .	0,16
Галечник сухой . . . . .	0,15–0,16
Галечник влажный . . . . .	0,10–0,12

Из приведенных данных следует, что отражение коротковолновой радиации от поверхности может колебаться в очень широких пределах.

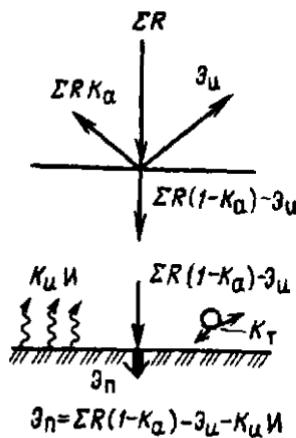


Рис. 3.1. Схема структуры естественного теплового баланса

Поэтому первым мероприятием для изменения теплового баланса является снижение коэффициента отражения оттаиваемой поверхности, которое достигается за счет своевременного удаления снежного покрова. Это наиболее целесообразно делать тогда, когда среднесуточные температуры еще только приближаются к нулю. Возможно зачернение поверхности темной мелкой породой с примесью золы или угольной пыли. Для этого можно использовать материал старых галечных и эфельных отвалов. Трудность здесь состоит в том, что разбрасывать зачерняющий материал на больших площадях приходится вручную. Из-за отсутствия специальных механизмов этот способ применяют редко и только на небольших площадях.

Сокращает отражательную способность поверхности приданье ей зернистой структуры, т.е. неглубокое механическое рыхление. При этом, однако, может несколько возрасти потеря тепла на испарение воды. Поэтому наиболее целесообразно после рыхления накрывать поверхность породы светопрозрачной пленкой, которая предохраняет от потери тепла на испарение, хотя и несколько увеличивает отражательную способность.

За счет всех подобных мероприятий количество тепла, поступающее непосредственно в горные породы, может быть увеличено до 15–18 % от общего количества поступающего тепла.

### 3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОТТАЙКИ С СИСТЕМАТИЧЕСКИМ УДАЛЕНИЕМ ТАЛОГО СЛОЯ

По существу, такая технология – основа открытой разработки многолетнемерзлых песков, залегающих на небольшой глубине, – до 6–8 м. Сама технология весьма проста – как только оттаявший слой достигает 5–10 см, его удаляют при помощи бульдозеров, скреперов или средствами гидромеханизации (рис. 3.2). Технология такой разработки, которая практически представляет собой технологию естественной оттайки, подробно описана в технологических курсах. Поэтому здесь мы коснемся только тех вопросов, которые связаны непосредственно с оттайкой. Интенсивность такой оттайки (разработки) определяется характеристикой разрабатываемых пород (льдистостью, глинистостью, коэффициентом фильтрации), температурой воздуха, наличием талого слоя и периодичностью его удаления. Последние два условия взаимосвязаны, так как талый слой, находящийся на поверхности мерзлых пород, становится теплоизоляцией, препятствующей дальнейшей оттайке пород. Толщина этого слоя зависит от периодичности его удаления. Как показывает практика и подтверждают расчеты, наиболее целесообразно ежесуточное удаление талого слоя. Именно при этом условии достигается максимальная глубина оттайки (разработки). Неоднократные попытки накопления талого слоя приводили лишь к замедлению темпов работы. Так, на опытных полигонах было установлено, что при ежесуточном снятии талого слоя глубина оттайки составила 0,1 м. Если слой снимали один раз в двое

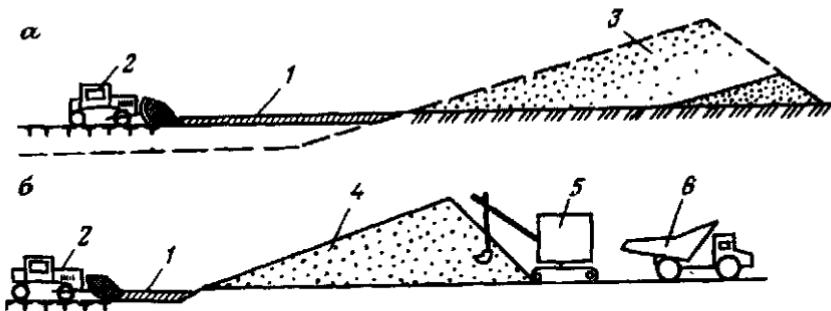


Рис. 3.2. Удаление талого слоя пород при помощи бульдозера в постоянный (а) и во временный – при значительной глубине разработки (б) отвалы:  
1 – талый слой; 2 – бульдозер; 3 – постоянный отвал; 4 – временный отвал;  
5 – экскаватор; 6 – автосамосвал

суток, то среднесуточная глубина оттайки составляла 0,07, один раз в трое суток – 0,05, раз в четверо суток – 0,04 и при снятии один раз в пятеро суток – всего 0,035 м. Таким образом, замедление темпов оттайки весьма заметно.

Существует несколько формул для расчета интенсивности оттайки с удалением талого слоя. Все они основаны на формуле Стефана. Однако результаты расчета, как правило, получаются несколько завышенными по сравнению с практикой работы. Поэтому можно рекомендовать простейшую формулу, которая хорошо согласуется с практикой и учитывает периодичность удаления талого слоя:

$$h_{\text{от}} = \eta_{\text{от}} \sqrt{n}$$

где  $h_{\text{от}}$  – глубина оттайки, м;  $\eta_{\text{от}}$  – глубина естественного оттаивания обнаженной мерзлой поверхности за первые сутки, м;  $n$  – число дней между двумя удалениями талого слоя.

Для расчетов также вполне можно руководствоваться фактически сложившимися в разных районах величинами суточной оттайки обнаженной мерзлой поверхности. Эти величины учитывают все местные условия – литологический состав пород, экспозицию участков оттайки, влажность и др. Надо только иметь в виду, что одновременно они учитывают и организационные недостатки работы. Считают, что для континентальных районов Северо-Востока СССР и северных районов Якутской АССР (кроме приполярных) интенсивность суточной оттайки составляет 0,08–0,1 м при вскрытии работах и 0,06–0,08 м при добывочных с учетом того, что в песках большое содержание глины и поэтому они оттаивают медленно. Для полярных районов, где породы часто более глинистые и мелкозернистые, эти значения несколько меньше и соответственно составляют 0,07–0,08 и 0,05–0,06 м. Для промерзших отвалов галечниковых пород интенсивность оттайки значительно выше, для расчетов ее можно принимать 0,12–0,16 м в зависимости от места работы. Именно эти зна-

чения обычно закладывают в расчеты, если талый слой снимается ежесуточно. Эти же значения принимают в расчет при определении производительности бульдозеров, скреперов и промывочных установок. При этом должно соблюдаться следующее условие:

$$\eta_{\text{от}} S = n_m P_m = P_{\text{пу}},$$

где  $S$  — площадь разрабатываемого участка месторождения;  $n_m P_m$  — суммарная производительность одновременно работающих скреперов или бульдозеров;  $n_m$  — число машин;  $P_{\text{пу}}$  — производительность промывочной установки.

Вместе с тем следует помнить, что такие "установленные" показатели интенсивности суточной оттайки ориентированы на фактический уровень организации работ и могут значительно возрасти при ее совершенствовании.

Кроме интенсивности и дешевизны, разработка с систематическим удалением талого слоя имеет еще то преимущество, что позволяет упростить работы по осушению полигона. Десяти- и даже двадцатисантиметровый слой оттаивших пород не могут дать значительного количества воды. Однако это преимущество теряется сразу же, как только начинается накопление талого слоя.

Теоретические расчеты показывают, что технически можно обеспечить глубину послойной разработки по мере естественной оттайки в центральных районах Северо-Востока СССР до 10 и даже до 15 м и для ледяных районов — до 7–10 м. Практически же достигнуты глубины, не превышающие 5–6 м, и только на экспериментальном участке еще в 50-е годы К. В. Кошлаков достиг глубины 8 м. Следовательно, возможности естественной оттайки с удалением талого слоя далеко еще не исчерпаны.

Своим широким распространением этот способ обязан прежде всего появлению на полигонах горных работ бульдозеров, машин, для которых вполне достаточен слой талых пород 5–10 см.

В последние годы в связи с увеличением глубины залегания россыпей, разрабатываемых открытым способом, удельный вес послойной разработки несколько снизился, однако более эффективной технологии для разработки мерзлых россыпей неглубокого залегания пока не существует. Более того, делаются попытки сохранить естественную оттайку и при значительных глубинах залегания (рис. 3.3). При этом работы становятся дороже и сложнее, однако расчеты показывают, что во многих случаях вариант технологии, показанный на этом рисунке, может быть экономически более эффективным, чем экскаваторная разработка с предварительным буровзрывным рыхлением.

Главная причина, которая может заставить отказаться от естественной оттайки, — это преобладание льдонасыщенных илистых и глинистых супесей или суглинков в разрабатываемых массивах пород. В этом случае оттаившие породы превращаются в плытуны, растекающиеся перед

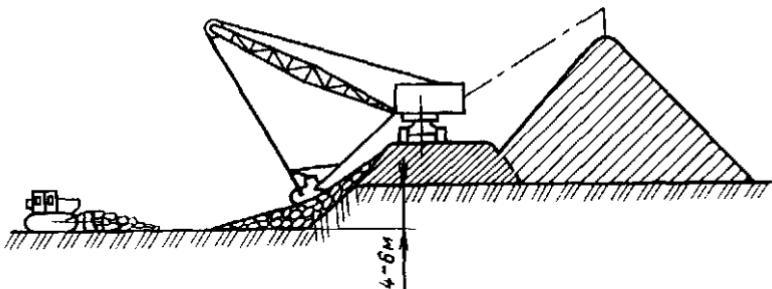


Рис. 3.3. Совместное использование бульдозера и экскаватора для сохранения возможности послойной (по мере оттайки) разработки

отвалом бульдозера. Подобные породы встречаются довольно часто главным образом в тундровых районах. Участки, сложенные ими, наиболее целесообразно оттаивать послойно, но с применением гидравлического смыыва талого слоя. Такой смыв может быть напорным и безнапорным.

Технология естественной оттайки с напорным смывом показана на рис. 3.4. Она предложена и испытана Магаданским ВНИИ-1. Заблаговременно с оттаиваемого участка удаляют растительный слой, который в данном случае не только затрудняет оттайку, но и мешает смыву талых пород. В соответствии с размерами и формой оттаиваемого участка проводят транспортную канаву 4. По этой канаве смытые породы либо

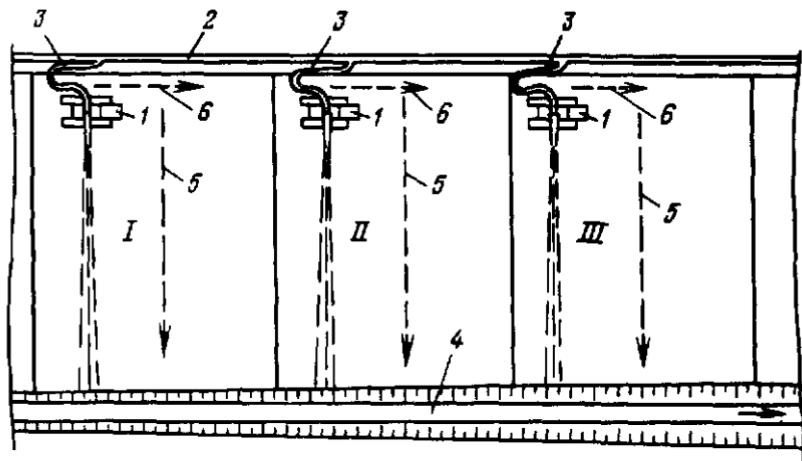


Рис. 3.4. Схема естественной оттайки с напорным гидравлическим смывом оттаившего слоя:

1 – гидромонитор, установленный на бульдозере; 2 – питающий водовод; 3 – гибкие рукава от водовода к монитору; 4 – пульпоприемная канава; 5 – направление смыва; 6 – направление перемещения самоходного гидромонитора. I, II, III – добывочные блоки, на которые разделено месторождение

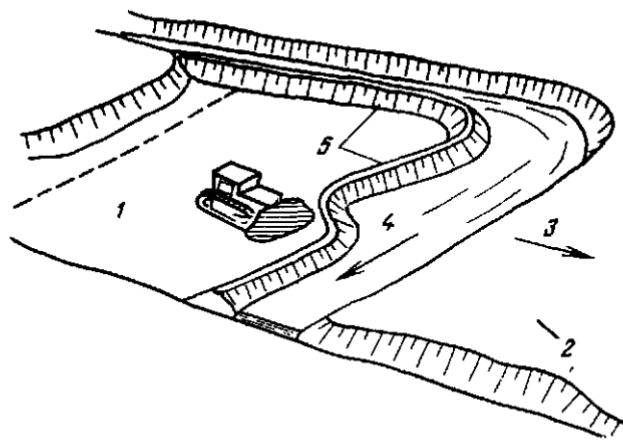


Рис. 3.5. Схема естественной оттайки с безнапорным смывом талого слоя:

1 – площадь, на которой произведен смыв; 2 – площадь, на которой производится естественная оттайка; 3 – направление перемещения фронта работ; 4 – русло, прижатое дамбой 5 к участку смыва. Бульдозер производит перемещение дамбы, прижимая русло потока к фронту размыва

транспортируются самотеком в гидравлический отвал, либо поступают в зумпф землесосной установки, откуда по пульповоду направляются в отвал. Передвижная гидромониторная установка начинает размыв с образования нескольких неглубоких смычных каналов (на рисунке показаны пунктиром). В дальнейшем размыв талых пород ведется от этих каналов. Практика показала, что именно такой размыв наиболее эффективен. Размер блоков оттайки (разработки) в этом случае определяются возможностью производительной работы струи гидромонитора и не превышают 40–50 м.

Гидравлический смыв выгодно отличается от бульдозерной разработки тем, что обнажение мерзлой поверхности происходит непрерывно. Нет необходимости ожидать, пока накопится талый слой толщиной 5–10 см. За этот счет, а также в результате дополнительного теплового воздействия струи или потока воды оттайка происходит более интенсивно. Интенсивность оттайки вдвое выше, чем при бульдозерной разработке и может достигать 20–25 см/сут в континентальных районах Северо-Востока СССР, в полярных 12–17 см/сут.

Технология оттайки с использованием безнапорного смыва (рис. 3.5) заключается в том, что смыв оттаившего слоя производится за счет того, что при помощи дамбы русло естественного водотока располагают поперек оттаиваемого участка россыпи и, перемещая дамбу параллельно самой себе, как бы прижимают к нему русло. Верхний слой оттаившей породы поток смывает, уносит в транспортирующую канаву. Для применения этого способа необходимо, чтобы уклон долины, в которой расположен оттаиваемый участок, был не менее 0,002, а debit во-

ды в размывающем потоке — от 0,5 до 3 м<sup>3</sup>/с. Первоначально от основного русла отводят канаву поперек оттаиваемого участка, в эту канаву заводят воду с небольшим расходом 0,2 м<sup>3</sup>/с. Расход постепенно увеличивают по мере того, как канава расширяется за счет смытия талого слоя. Когда ширина канавы станет достаточной для возведения дамбы, то ее отсыпают бульдозерами из галечников. Высота дамбы составляет 1—1,5 м. В дальнейшем дамбу также при помощи бульдозеров перемещают, ограничивая ширину потока. Таким образом, поток постоянно прижимают к фронту размыва. Опыт показал, что в течение суток фронт размыва может переместиться на 4—6 м. Удельный расход воды при этом составляет от 50 до 80 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> размытой породы.

Самый серьезный недостаток гидравлического смытия — опасность сильного загрязнения воды в реках и водоемах. Поэтому, определяя возможность применения естественной оттайки с гидравлическим смытием, необходимо принимать в расчет требования экологической безопасности — строительство водоотстойников, прудов-осветлителей и другие мероприятия, связанные с очисткой сточных вод. Иногда эти мероприятия могут оказаться дороже, чем непосредственные работы по оттайке и смытию. Поэтому область применения гидроразмыва для удаления оттаившего слоя породы ограничена, а сам гидроразмыв может быть рекомендован только в тех случаях, когда обеспечена безопасность для рек и водоемов вблизи разрабатываемого участка. Если это условие соблюдать невозможно, то разработку с естественной оттайкой следует заменить разработкой с предварительным буровзрывным или механическим рыхлением мерзлых пород.

При проектировании естественной оттайки необходимо учитывать расположение оттаиваемого участка на местности, в соответствии с которым устанавливается очередность его включения в работу. На участках, обращенных к югу (южной экспозиции), оттайка начинается на 10—15 дней раньше, чем на участках с северной экспозицией. Это обстоятельство весьма существенно, поскольку разработка с естественной оттайкой — основной способ добывочных работ при разработке многолетнемерзлых россыпей, и всегда целесообразно, учитывая короткое северное лето, как можно раньше начинать разработку-промывку песков, для которой должны быть подготовлены талые пески. Поэтому, определяя очередьность отработки участков россыпи, полигонов и ввода в работу промывочных установок, в первую очередь следует включать в работу участки южной экспозиции, с малой льдистостью пород, не находящиеся в тени старых отвалов или гор. Последнее обстоятельство также весьма существенно, поскольку оно серьезно влияет на сроки и интенсивность естественной оттайки. В некоторых случаях может даже оказаться целесообразным произвести планировку или снизить высоту отвалов, если это позволит несколько раньше начать промывочный сезон.

Решая вопросы проектирования и организации естественной оттайки, всегда надо располагать сведениями о льдистости разрабатываемых

пород. При отсутствии таких сведений можно льдистость приближенно принимать в соответствии с характеристикой пород. Так, для галечногравелистых пород льдистость обычно составляет от 100 до 300, для илов, суглинков и глин — от 350 до 600, для торфяников от 500 до 800 кг/м<sup>3</sup>.

### 3.3. ЕСТЕСТВЕННАЯ ОТТАЙКА С НАКОПЛЕНИЕМ ТАЛОГО СЛОЯ

Этот способ оттайки применяют значительно реже, однако при правильном сочетании различных способов подготовки мерзлых пород к разработке он может быть весьма эффективен и иметь серьезное значение в общем комплексе горных работ. Существо способа заключается в том, что с оттаиваемого участка удаляют растительный слой, обнажая галечники. Это удаление производят, как правило, с применением послойной оттайки, его можно осуществлять в конце предыдущего летнего сезона. После чего на участке до конца текущего летнего сезона происходит накопление талого слоя. Как уже отмечалось, интенсивность такого накопления невелика. В центральных районах Северо-Востока СССР за лето может образоваться талый слой мощностью не более 2,5–3 м, а в полярных районах — 1,5–2 м. Поэтому накопление в настоящее время применяют значительно реже, чем послойное оттаивание. Указанные глубины оттайки недостаточны для подготовки песков к открытой разработке (необходимая глубина оттайки составляет 5–6 м). Поэтому накопление приходится производить в течение нескольких летних сезонов, а это значит, что оно должно сочетаться с предохранением от промерзания.

Интенсивность накопления талого слоя определяется теми же факторами, о которых было сказано в предыдущем параграфе. К мероприятиям, позволяющим несколько увеличить интенсивность оттайки с накоплением талого слоя (кроме обязательного удаления растительного слоя и илов), относится осушение верхнего оттаявшего слоя, которое существенно снижает его теплоизоляционные свойства. Осушение целесообразно производить при помощи канав, расположенных на расстоянии 30–60 м друг от друга, которые необходимо систематически не реже, чем через 3–5 дней расчищать и по мере оттайки углублять. При необходимости понижения уровня грунтовых вод наиболее целесообразно канавы проводить сразу на всю глубину оттайки или немногого глубже.

Следует подчеркнуть, что систематическая очистка канав — требование обязательное. Именно необходимость такой повседневной работы по поддержанию, расчистке, углублению канав зачастую приводит к отказу от применения оттайки с накоплением талого слоя. Сказывается здесь и отсутствие специальной техники. Например, расчистку и углубление проще всего производить при помощи небольших экскаваторов с оборудованием обратной лопаты и емкостью ковша 0,3–1 м<sup>3</sup>. Таких экскаваторов предприятия, как правило, не имеют, в связи с чем для ухода за канавами необходимо снимать бульдозеры с добывочных или вскрышных работ, а это не всегда возможно. Область применения оттай-

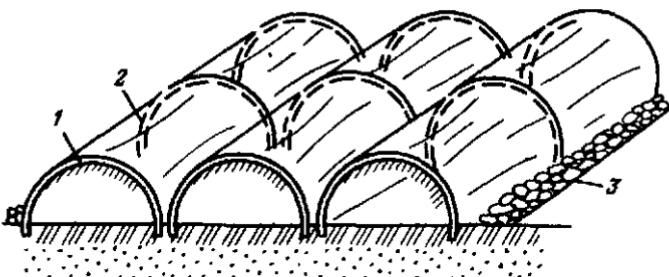


Рис. 3.6. Пленочное покрытие на дуговых опорах:

1 – дуговые опоры; 2 – пленка на дуговых опорах; 3 – подсыпка галечника на краю полотнища пленки

ки с накоплением талого слоя должна определяться прежде всего наличием участков, сложенных горными породами, наиболее пригодными для этого способа. Так, удобны для этой цели отдельные небольшие россыпи, сложенные галечно-гравелистыми породами, имеющие глубину залегания 2–3 м. В этом случае возможно после окончания оттайки осенью полное удаление талого слоя. Если условия для оттайки наиболее благоприятны, это удаление производят в конце летнего сезона. Это дает возможность успеть с применением послойной оттайки разработать и промыть пески. Осенние вскрышные работы на участках накопления талого слоя приводят к увеличению объемов работ и повышению степени использования техники.

Практический опыт показывает, что для средних условий за 30 летних дней в центральных районах Северо-Востока СССР может быть накоплен талый слой 0,6 м, за 60 дней – 1,2 м, за 90 – 1,9 м. Расчетами установлено, что при льдистости пород 200 кг/м<sup>3</sup> и средней температуре воздуха 10 °С, галечники за летний сезон могут протаять до 2,2 м, а при той же температуре и льдистости 400 кг/м<sup>3</sup> – всего до 1,8 м.

В известной степени повысить интенсивность накопления талого слоя можно за счет применения пленок, которыми покрывают участок оттайки. Пленочное покрытие может быть положено непосредственно на поверхность породы, пленка расстилается внахлест и пригружается камнями или галечником, чтобы ее не сдуло ветром. Отдельные полосы пленки сваривают в единое полотнище. Но возможно и сохранение воздушного промежутка между пленкой и поверхностью породы. Такое покрытие наиболее эффективно, но и наиболее трудоемко. В последнем случае пленка может быть натянута на дугообразные опоры (рис. 3.6).

Применение пленочных покрытий приводит к изменению всех составляющих естественного теплового баланса. Так, резко уменьшаются потери тепла на испарение воды, на эффективное излучение, несколько увеличивается отражательная способность поверхности. Под пленкой возникает свой микроклимат, характеризующийся повышенной температурой и стопроцентной влажностью. Так, температура пород под плен-

Таблица 3.1

Экспериментальный поправочный коэффициент для различной влажности пород

Влажность пород, %	Поправочный коэффициент при продолжительности оттаивания (в днях)						
	1	15	30	45	60	75	90
<10	1,8	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1
10–20	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1
>20	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1

кой может быть на величину от 2 до 20 °С выше температуры на непокрытых участках. Все это способствует усилию теплового потока в толщу пород и ускоряет оттайку. В качестве покрытия могут применяться полиамидные и полизтиленовые пленки толщиной от 0,06 до 0,2 мм. В соответствии с последними исследованиями А.В. Рашина, наиболее целесообразно использование пленки минимальной толщины и максимальной жесткости. В районах с большими ветровыми скоростями толщина пленки должна быть не менее 0,1–0,2 мм.

Опыт показал, что в условиях Забайкалья с применением пленочных покрытий можно за лето накопить талый слой до 4,5 м. Затруднения здесь заключаются прежде всего в необходимости ручной настилки, сварки и пригрузки пленки, механизмы для этих работ пока не созданы. Кроме того, пленка может выдержать работу в течение только одного сезона, затем она выходит из строя. Следовательно, всю пленку необходимо ежегодно полностью списывать на стоимость оттайки, существенно удорожая ее. Тем не менее, при необходимости форсирования накопления талого слоя, пленочные покрытия могут быть рекомендованы. Следует учитывать, что максимальный эффект пленочное покрытие дает в первый период оттаивания. В дальнейшем этот эффект снижается. Чтобы оценить практический результат применения пленочного покрытия, рекомендован расчет по простейшей формуле А.В. Павлова

$$h_{\text{пп}} = h_{\text{от}} k_{\text{п}},$$

где  $h_{\text{пп}}$  — глубина оттаивания под пленкой;  $h_{\text{от}}$  — глубина оттаивания в аналогичных условиях без пленки;  $k_{\text{п}}$  — экспериментальный поправочный коэффициент (табл. 3.1).

Наиболее достоверные результаты при расчете глубины оттаивания без применения пленочных покрытий могут быть получены по формуле:

$$h_{\text{от}} = \sqrt{\frac{2 \lambda_t t_{\text{п}} T}{Q_{\text{уд}}} + h_0^2}, \quad (3.1)$$

где  $\lambda_t$  — коэффициент теплопроводности талой породы, кДж/(м·ч·°С);  $t_{\text{п}}$  — средняя (за рассматриваемый промежуток времени) температура

Таблица 3.2

Плотность теплового потока, направленного к поверхности пород, и результирующий коэффициент внешнего теплообмена для различных климатических районов

Районы	Значения $q_0, \text{Вт}/\text{м}^2$ (числитель) и $\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C})$ ( знаменатель)				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Северо-Восток СССР, полярные районы	— —	244 52	429 52	191 53	— —
Северо-Восток СССР, континентальные районы	151 27,1	406 36,2	534 37	371 32,8	92,8 29,8
С умеренно суровым климатом	348 44,5	614,8 41,5	719,2 39	603,2 37	301,6 34,2

поверхности,  ${}^\circ\text{C}$ ;  $T$  — время оттаивания, ч;  $Q_{уд}$  — удельная теплота оттаивания,  $\text{КДж}/\text{м}^3$ ;  $h_0$  — мощность талого слоя в начальный период оттайки, м.

Температура горных пород (поверхности) с известной долей условности может быть принята равной средней температуре воздуха за этот же период. А.В. Павловым и Г.З. Перельштейном предложен более достоверный способ ее определения.

$$t_n = \left( \frac{\sqrt{B^2 + 4 \alpha q_0} - B}{2 \alpha} \right)^2, \quad (3.2)$$

где  $B = \sqrt{\frac{2 \lambda_t L G}{T}}$ ;  $L$  — удельная теплота плавления льда,  $\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$ ;

$G$  — льдистость,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\alpha$  — результирующий коэффициент внешнего теплообмена,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C})$ ;  $q_0$  — плотность теплового потока, направленного к обнаженной поверхности пород (табл. 3.2).

Если накопление начинается с самого начала теплого периода, то в формуле (3.1) значение  $h_0$  принимается равным нулю.

### 3.4. ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕПЛОВАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Поверхностная тепловая мелиорация горных пород представляет собой естественную оттайку с накоплением талого слоя и с одновременным его осушением. Выделяют тепловую мелиорацию потому, что она кроме

оттайки обеспечивает качественное изменение оттаянных пород и делает возможной их разработку с применением землеройной техники.

При длительной тепловой мелиорации за счет вытаяки льда достигается также уменьшение объема пород и их усадка. Поэтому ее целесообразно применять при вскрышных работах, когда породы вскрыши представлены сильольдистыми супесями или торфяниками, чтобы избежать буровзрывного рыхления. Тепловая мелиорация проводится в течение одного—трех летних сезонов. При длительной мелиорации в конце каждого сезона оттаянный и высушенный слой горных пород полностью удаляют (производят вскрышные работы). Работы по мелиорации начинают весной. На расчищенном участке проводят систему осушительных канав на расстоянии 30—60 м друг от друга, глубиной до 0,8 м, с продолжительным уклоном не менее 0,001. При предварительной расчистке убирают не только растительный слой, но и по возможности верхний оторфованный слой пород. В конце лета талый слой удаляют. Все работы проводят в течение одного года (реже двух лет). Эта технология представляет собой *сезонную тепловую мелиорацию*, которая производится в течение одного летнего сезона (значительно реже двух). В этом случае достигается вытаяивание льда, в связи с чем существенно снижаются объемы, подлежащие разработке. Удельная осадка льдистых пород после тепловой мелиорации может быть определена по формуле

$$s = \Pi_m - \Pi_t,$$

где  $\Pi_m$  и  $\Pi_t$  — пористость (в долях единицы) соответственно мерзлой и оттаявшей породы.

Пористость определяют экспериментально для участков, на которых предполагается проведение мелиорации. На этих участках происходит осадка пород, а осущенные и уплотненные илистые породы значительно легче разрабатывать с помощью землеройной техники. Галечники с песчаным заполнителем, замерзшие в осушенном состоянии можно разрабатывать без дополнительных мероприятий по их оттаиванию. На практике такую сезонную мелиорацию часто сочетают с применением светопрозрачных пленок.

В условиях умеренно сурового климата (например, в некоторых районах Сибири и Якутской АССР) применяют на дражных разработках *многолетнюю тепловую мелиорацию*. В этом случае несколько лет подряд (обычно 3—4 года) производят осушение талого слоя и его защиту от промерзания в зимний период. Предохранение от промерзания чаще всего производят затоплением полигона речной водой при помощи системы невысоких плотин и дамб. Ранней весной воду и образовавшийся лед спускают через проран в плотине. После этого в теплое время года полигон необходимо защищать от затопления паводковыми водами, удалять осевший за время затопления ил, расчищать и углублять осушительные канавы. Установлено, что такая "мелиорация" целесообразна тем,

где температура мерзлых пород не ниже  $-3^{\circ}\text{C}$ , а среднегодовая температура воздуха колеблется от  $-2$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАССОЛОВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ОТТАИВАНИЯ И ПРЕДОХРАНЕНИЯ ОТ ПРОМЕРЗАНИЯ

Рассолы можно применять для консервации гидроигла, а также для ускорения и продления сезона фильтрационно-дренажной оттайки. При этом используется свойство водяных растворов солей  $\text{NaCl}$  и  $\text{CaCl}_2$  не замерзать при достаточно низких температурах. Об использовании рассолов для повышения эффективности оттайки известно мало — этот способ применялся весьма редко, прежде всего для оттаивания сезонно промерзшего слоя горных пород. С этой целью поверхность оттаиваемого участка заливалась солевым раствором (от 2,5 до 10 кг раствора на 1 м<sup>2</sup> площади оттаивания).

Необходимо указать, что в условиях северо-восточной части СССР искусственное засоление мерзлых рыхлых пород может быть также применено для продления промывочного сезона. Промывка засоленных песков может начинаться раньше и заканчиваться значительно позже по сравнению с незасоленными. Так, ранее весной, когда температура воды в естественных водоемах близка к  $0^{\circ}\text{C}$ , а среднесуточная температура воздуха (до  $-10^{\circ}\text{C}$ ) еще не позволяет начинать работы по естественно тальным породам, засоление песков в отвалах подземной добычи дает возможность начинать промывку на 10–15 дней раньше.

Осенью искусственное засоление песков на полигонах открытых работ можно применять при температурах воздуха также до  $-10^{\circ}\text{C}$ . В этом случае засоливать можно только крупнокристаллические породы, имеющие в составе минимальное количество глин.

Для приготовления солевых растворов пригодны любые соли — наиболее распространены хлористый кальций и хлористый натрий: 35 %-ный раствор хлористого кальция в мерзлых породах затвердевает при температуре  $-50^{\circ}\text{C}$ , а 23 %-ный раствор хлористого натрия — при  $-21^{\circ}\text{C}$ . Опыт показывает, что даже при содержании в воде 3–5 % солевого раствора прочность мерзлых пород существенно снижается. Солевой раствор проникает в породу по пленкам незамерзшей воды, находящимся на контактах между частицами породы и льда. В целом применение солевых растворов целесообразно при температурах горных пород выше  $-10^{\circ}\text{C}$ . Концентрация этих растворов зависит от влажности (льдистости) и температуры горных пород и колеблется от 7–8 до 50–60 кг/м<sup>3</sup>.

Подача солевого раствора в мерзлые породы может производиться наливом через специальные скважины, но возможна также подача раствора на поверхность мерзлых пород, предварительно разрыхленных взрывом. В последнем случае рыхление необходимо для образования системы трещин в массиве. В некоторых случаях раствор подают непосредственно на поверхность мерзлых пород.

Количество раствора для засоления слоя пород на глубину 1 м также зависит от влажности и температуры мерзлых пород. Для пород, содержащих 100–200 кг льда в 1 м<sup>3</sup> при температуре –10 °С, необходимо на каждый квадратный метр засоливаемой площади подавать 20–40 л рассола. Раствор должен проникать в толщу горных пород в течение 3–4 сут. В это время на засоливаемых участках горных работ не производят. Оттаянный слой снимают бульдозером и обнаженную мерзлую поверхность снова заливают рассолом.

В больших масштабах применение солей не производилось, однако в отдельных случаях опыты давали неплохие результаты. Впервые действие солевых растворов было проверено на прииске "Экспериментальный" для ускорения естественного оттаивания мерзлых песков подземной добычи, выложенных в отвал. На поверхности отвала была проведена траншея на глубину 0,3 м. Дно траншеи равномерно заливали раствором хлористого кальция, имевшим концентрацию 27,5 %. Всего было израсходовано 600 л такого раствора на площади 82,5 м<sup>2</sup>. После этого дно траншеи ежесуточно поливали водой, чтобы смыть часть раствора, которым были смочены верхние, уже оттаявшие слои песков.

Когда оттаявшая часть песков была удалена (направлена на промывку), глубина оттайки оказалась на засоленном участке в 1,5–2 раза больше по сравнению с контрольным.

Заканчивая раздел, в котором охарактеризованы все применяемые способы оттайки мерзлых пород, необходимо указать и на сравнительную экономическую эффективность этих способов. Она определяется прежде всего себестоимостью работ (себестоимостью 1 м<sup>3</sup> оттаянной породы). Наиболее дешевой является естественная оттайка с накоплением талого слоя. Несколько дороже оттайка с его удалением, так как при этом учитывают работы, связанные не только с процессом перехода пород в талое состояние, но и горные работы по удалению оттаявших пород. Поэтому в данном случае сравнение себестоимостей недостаточно показательно. Самые дорогие способы – паровая иглооттайка и электротайка.

Ниже приводятся примерные соотношения стоимостей различных способов оттайки. Примерные они потому, что различие в стоимости по разным географическим районам весьма ощущимо. Кроме того, имеет большое значение и уровень организации работ, который также весьма отличен на разных предприятиях. Доказано, например, что при хорошей организации игловая гидрооттайка может стоить не более 0,35–0,40 руб./м<sup>3</sup>. Но в то же время на некоторых предприятиях эта стоимость поднимается до 0,6–0,8 руб./м<sup>3</sup>. Поэтому приведенные данные имеют весьма приближенный характер и дают основание считать, что резервы повышения эффективности всех без исключения способов оттайки еще весьма значительны.

Чтобы не увеличивать разброс стоимостных показателей, примем за единицу стоимость игловой гидрооттайки (ИГО) в средних условиях.

Тогда остальные способы будут характеризоваться следующими примерными показателями:

Фильтрационно-дренажная оттайка . . . . .	0,5–0,7
Паровая иглооттайка . . . . .	1,7–2,0
Оттайка подогретой водой . . . . .	1,5–1,8
Электрооттайка . . . . .	2–2,5
Электрогидрооттайка . . . . .	1,4–1,5
Естественная оттайка с удалением талого слоя . . . . .	0,8–1,0
Естественная оттайка с накоплением талого слоя . . . . .	0,4–0,5

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Назвать составляющие естественного радиационного баланса.
2. Какие мероприятия способствуют увеличению теплопотока в толще пород?
3. Какова интенсивность оттайки с удалением и накоплением талого слоя в различных климатических условиях?
4. Рассчитать глубину оттайки по формуле (1.1), в которой заменить коэффициент теплопроводности и удельную объемную теплоемкость мерзлых пород на эти же показатели для талых пород. Принять  $k_1=0$ . Затем произвести расчет по формуле (3.1). Результаты расчетов сравнить. Исходные данные для расчетов установить самостоятельно.
5. Определить возможную глубину оттайки галечно-гравелистых пород в условиях Сусуманского района. Накопление происходит в течение двух летних сезонов. П р и м е ч а н и е: температура поверхности определяется отдельно для каждого месяца, затем определяют средневзвешенную температуру за весь сезон, осенне-тальные породы полностью удаляют (до мерзлоты).
6. Проанализировать зависимость глубины оттаивания от льдистости пород при прочих равных условиях. Породы – галечники с песчаным заполнителем.

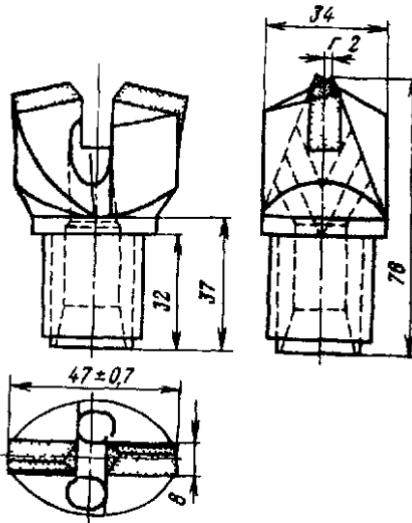
## Глава 4

### **ИГЛОВАЯ ГИДРООТТАЙКА**

#### **4.1. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ИГЛОВОЙ ГИДРООТТАЙКИ**

Игловая гидрооттайка – наиболее универсальный, но и самый трудоемкий способ оттайки мерзлых пород. Технология ИГО состоит из двух основных процессов – установки игл и нагнетания в них воды. Перед проведением ИГО необходимо осуществить подготовительные работы: 1) полное удаление растительного и илистого слоев до галечников; 2) планировку поверхности, на которой будет производиться оттайка; 3) проведение выработок водозабора и водоснабжения; 4) осушение поверхности оттаиваемого полигона. Планировка поверхности в данном случае совершенно необходима, так как только она может обеспечить строгую вертикальность бурения скважин под иглы, что очень важно для качества оттайки. Осушение поверхности обеспечивает нормальные условия для осуществления контроля за действием игл, их восстановления и извлечения, создания электробезопасных условий работы, а также для за-

Рис. 4.1 Коронка-наконечник для вибровращательного бурения КВУБ-2 с двумя отверстиями для выхода воды (размеры в мм)



шиты водяных магистралей от воды. Осушение производят сетью мелких (глубиной 0,5–0,6 м) канав, покрывающих полигон по сетке от 30×30 до 60×60 м. Все канавы должны иметь сброс воды.

Таким образом, последовательность работ ИГО следующая: удаление растительного слоя, планировка, организация систем водоснабжения и осушения, бурение скважин на заданную глубину по сетке, определяемой льдистостью и коэффициентом фильтрации пород, установка в скважинах гидроигл и подключение их к воде, подача воды в иглы с одновременным контролем за работой каждой иглы, отключение игл и их извлечение на поверхность.

Отключение производят после того, как специальными средствами контроля подтверждено окончание оттайки и весь массив мерзлых пород перешел в такое состояние.

Установка игл может производиться различно. В настоящее время основной способ – это оставление в пробуренной скважине буровой штанги с буровой коронкой. Штанга становится иглой, а буровая коронка – ее наконечником, через который из иглы в мерзлую породу поступает вода. Для таких игл созданы специальные коронки-наконечники (рис. 4.1), имеющие одно или два отверстия для выхода воды. Следовательно, в данном случае бурение скважин и установка игл совмещаются. После окончания бурения игла может быть сразу же подключена к источнику водоснабжения.

Вместе с тем бурение скважин может производиться и заранее, до начала сезона оттайки. Обычно это связано с нехваткой буровых станков или же со стремлением раньше начать оттайку, не теряя теплого времени на бурение. Такое бурение целесообразно и в том случае, когда бури-

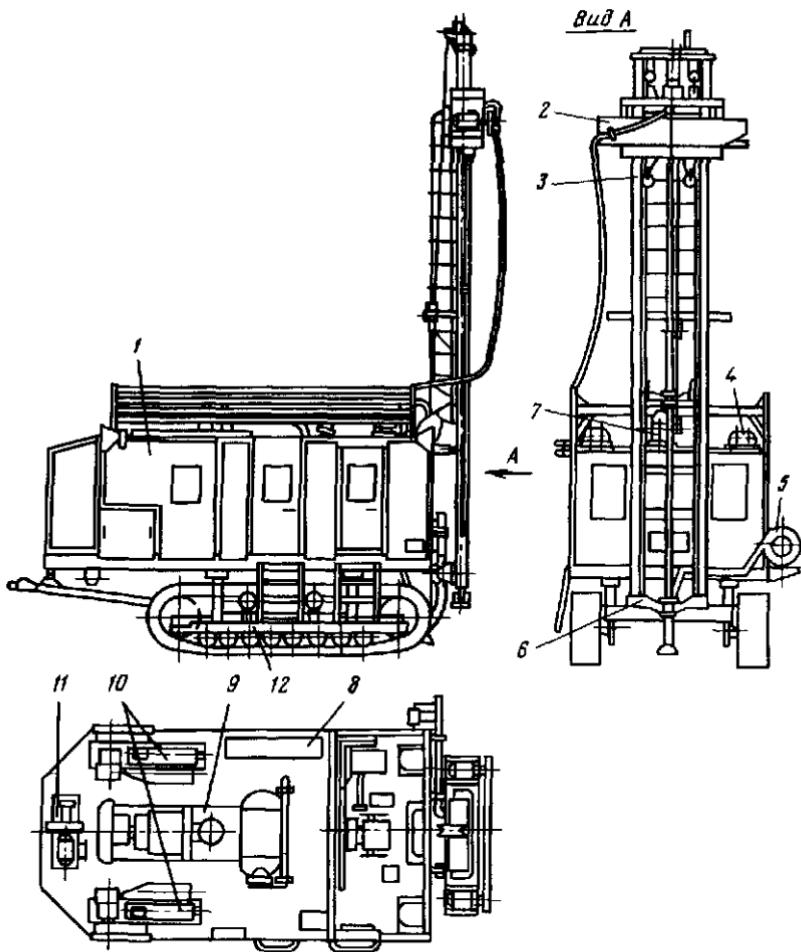


Рис. 4.2. Общий вид станка вибровращательного бурения СВВ-42 для установки гидроигл:

1 — корпус; 2 — вибровращательная каретка; 3 — мачта; 4 — фара; 5 — пылеотдув; 6 — направляющие буровой штанги; 7 — лебедка подъема и опускания каретки; 8 — электрошкаф; 9 — компрессорная станция; 10 — приводы ходовой части; 11 — лебедка подъема и опускания мачты; 12 — ходовая часть

ые штанги извлекают из скважины и заменяют специальными иглами. Так как применение игл из полизиленовых труб — одно из перспективных направлений совершенствования технологии ИГО, очевидно, что предварительное бурение в дальнейшем получит более широкое распространение. При этом способе установки игл наиболее выгодно производить бурение в холодное время года с продувкой скважин сжатым воздухом, применяя специальные методы консервации (см. ниже), сохра-

нять скважину и погруженню в нее полиэтиленовую иглу в сухом состоянии до начала работ по оттайке. В данном случае опасность для сохранности скважин представляет верхний слой пород, который весной начнет оттаивать под влиянием солнечного тепла и зальет скважину. В нижней части скважины сохраняется отрицательная температура, в связи с чем скважина неизбежно промерзнет.

Предварительное бурение можно осуществлять и в теплое время — осенью предыдущего года. В этом случае бурение производят с промывкой и оставляют в скважине штангу-иглу. С началом сезона оттайки такие скважины размораживают — оттаивают.

В начальный период создания технологии игловой оттайки проводили постепенное погружение игл, когда игла первоначально опускается в неглубокую скважину и по мере того, как под ней происходит оттайка, ее осаживают. Однако такой способ оказался более трудоемким и гораздо менее эффективным по качеству и интенсивности оттаивания. Поэтому в настоящее время постепенное погружение (осадка) игл применяется только при оттайке сезонномерзлого слоя паром или подогретой водой.

Для бурения скважин под иглы применяют в основном станки вибровращательного бурения, инициатором создания которых является Магаданский ВНИИ-1. В настоящее время наибольшее распространение получил станок СДВВ-II, однако уже создан и проходит промышленные испытания более мощный и производительный станок СВВ-42 (рис. 4.2). Вместе с тем могут быть использованы любые станки вертикального бурения, обеспечивающие необходимые глубину и диаметр скважин. Ниже приведены характеристики буровых станков, используемых для бурения скважин и погружения гидроигл.

Тип станка . . . . .	СДВВ-II	СВВ-42
Принцип бурения . . . . .	Вибровращательный	Вибровращательный
Масса станка, кг . . . . .	11 900	23 000
Глубина бурения, м . . . . .	15—20	15
Диаметр буровой коронки, мм . . . . .	46—105	42—125
Установленная мощность двигателей, кВт . . . . .	52,5	80—150
Средняя скорость бурения, м/ч . . . . .	10—15	11
Способ передвижения . . . . .	Станок на базе трактора	Самоходный

Игла (она же буровая штанга) представляет собой трубу, составленную из отдельных отрезков длиной по 3—4 м, соединенных ниппельными соединениями (рис. 4.3). Трубы изготавливают из стали 30ХГС двух типов: 1) легкого — с внешним диаметром 34 мм, внутренним 24 мм и толщиной стенок 5 мм; 2) тяжелого — соответственно 42, 28 и 7 мм. Иглы легкого типа предназначены для оттайки на глубинах до 15 м, при большей глубине необходимо применять тяжелые иглы.

Конец иглы, выходящий на поверхность (его длина обычно 1—1,5 м)

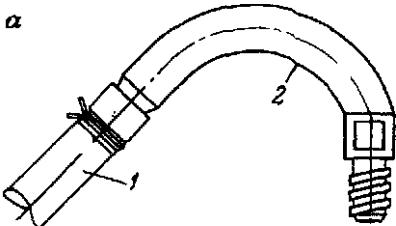


Рис. 4.3 Игла для гидроигловой оттайки

*a* – устройство иглы; *b* – игла в сбое, погруженная в мерзлую породу.

1 – рукав от гребенчатого распределителя; 2 – отвод для присоединения рукава; 3 – труба; 4 – соединительный ниппель, 5 – коронка буровая (она же наконечник иглы)

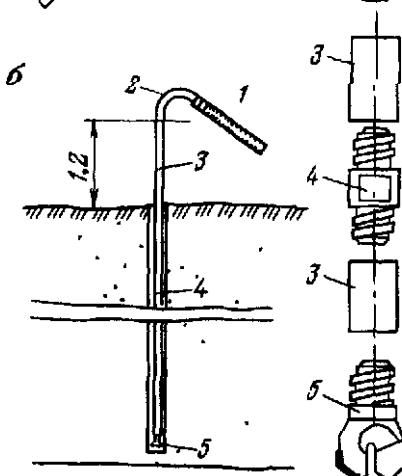
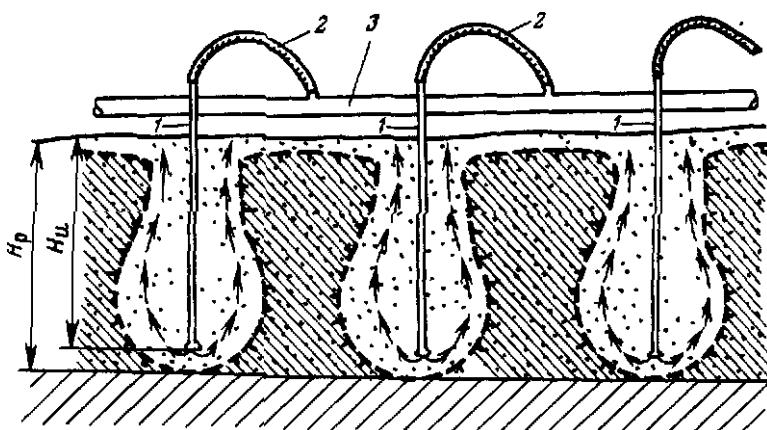


Рис. 4.4 Схема питания игл водой от гребенчатого распределителя

1 – игла; 2 – резинотканевый рукав; 3 – гребенчатый распределитель;  $H_p$  – мощность россыпи;  $H_n$  – глубина погруженной части иглы



загнут и заканчивается патрубком, на который надевается резинотканевый рукав, соединяющий иглу с водяной магистралью (рис. 4.4). Вода в иглу подается из специальных распределителей. Эти распределители называют гребенчатыми из-за большого количества патрубков, отходящих от них. От каждого гребенчатого распределителя питаются водой

Таблица 4.1

## Потери напора в гидроигле

Элементы гидроиглы	Диаметр отверстия, мм	Потери напора (в м) при расходе воды (в $\text{м}^3/\text{ч}$ )					
		0,72	1,44	1,80	2,52	3,60	4,32
<i>1. Гидроигла в сборе</i>							
Трубы 34x5 мм длиной 10 м	24	—	—	—	—	—	—
Три ниппеля	17	—	—	—	—	—	—
Коронка с отверстием	16	—	—	—	—	—	—
Шланг длиной 10 м	25	0,574	1,942	2,87	5,13	9,94	14,60
<i>2. То же, но коронка с отверстием</i>	12,3	0,779	2,63	3,94	7,20	13,95	19,97
<i>3. Гидроигла в сборе</i>							
Трубы 42x7 мм длиной 10 м	28	—	—	—	—	—	—
Три ниппеля	20	—	—	—	—	—	—
Коронка с отверстием	16	—	—	—	—	—	—
Шланг длиной 10 м	25	0,43	1,28	1,91	3,63	7,15	10,23
<i>4. Труба игловая 34x5 мм длиной 1 м</i>	24	0,025	0,085	0,125	0,216	0,411	0,616
<i>5. Труба игловая 42x7 мм длиной 1 м</i>	28	0,012	0,033	0,050	0,105	0,213	0,310

40–50 игр. Количество подаваемой воды регулируется специальной задвижкой сразу по всем этим иглам. Один гребенчатый распределитель со всеми относящимися к нему иглами представляет собой блок оттайки. Такой блок покрывает площадь  $\sim 600\text{--}800 \text{ м}^2$ . Ширина блока, определяется стандартной длиной резинотканевых рукавов (9 м) и составляет  $\approx 18$  м. Таким образом, каждый блок оттайки может из одном месте оттаивать объем породы, равный  $\approx 700 H_{\text{от}} \text{ м}^3$  (где  $H_{\text{от}}$  – глубина оттайки).

Диаметр иглы имеет значение не только для ее механической прочности, его также необходимо учитывать в гидравлических расчетах, при определении потери напора  $h$  в гидроигле (табл. 4.1).

На рис. 4.5 показана схема водоснабжения ИГО, производимого при помощи комплекта оборудования водоснабжения гидрооттайки (ОВГ). Такие комплекты, существующие в различных вариантах в зависимости от их производительности ( $350\text{--}600 \text{ т}\cdot\text{м}^3/\text{год}$ ), включают насосные

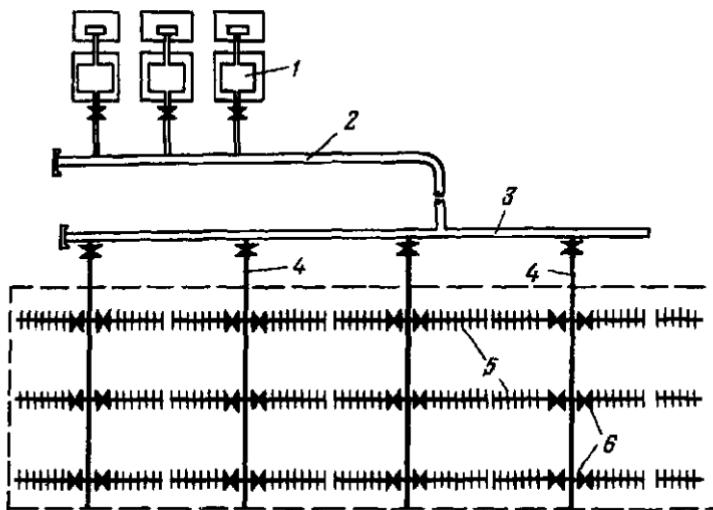


Рис. 4.5. Схема водоснабжения игловой гидрооттайки:

1 – насосная станция АН-П-14НДС; 2 – водоотвод диаметром 600 мм; 3 – магистральный трубопровод диаметром 600 мм; 4 – главные распределители диаметром 400 мм; 5 – гребенчатые распределители диаметром 125 мм; 6 – задвижки

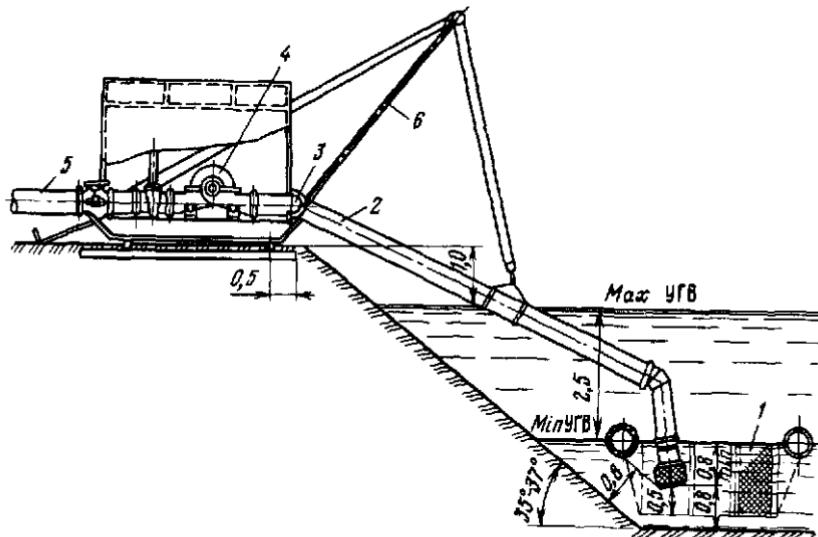


Рис. 4.6. Общий вид передвижной насосной станции АН-П-14НДС:

1 – плавающий всас; 2 – наклонная подвижная всасывающая труба; 3 – шарнир; 4 – насос; 5 – напорный трубопровод; 6 – стрела. УГВ – уровень грунтовых вод

установки 14-НДС (рис. 4.6), трубопроводы различных диаметров, имеющие быстроразъемные соединения, монтажное оборудование. Комплект ОВГ, показанных на рис. 4.6, может обслуживать до 1500 игл в одновременной работе.

Водоснабжение оттайки имеет решающее значение, поэтому к нему предъявляются весьма серьезные требования. Прежде всего, это чистота воды, она не должна содержать взвесей более 50 мг/л. Поэтому для ИГО не рекомендуется обратное водоснабжение, которое может быть допущено только в том случае, когда другие схемы невозможны. Если вода не удовлетворяет указанному требованию, необходимы специальные водоотстойники. Продолжительность подачи воды в иглы, которая и определяет полноту и качество оттайки, зависит от температуры воды в водоеме, на котором установлены насосные станции. Доказано, что наиболее полное использование тепла, содержащегося в воде, имеет место в том случае, когда температура нагнетаемой воды не превышает 20–25 °С. Естественно нагретая вода в реках и водоемах, как правило, значительно холоднее. Обычно к концу лета она имеет температуру 10–15 °С. Поэтому создание водоемов небольшой глубины и отстойников, имеющих значительную площадь, будет способствовать не только осаждению взвесей, но и дополнительному прогреву воды.

Считается, что оттайку (т.е. подачу воды в иглы) следует начинать, когда температура воды превысит 2 °С. Заканчивают оттайку при температуре воды менее 3 °С. Этим и определяется продолжительность сезона оттайки, которая в зависимости от климатических характеристик района может составлять от 100 до 150 сут в год.

Основное условие успешной работы по оттайке – бесперебойная подача воды в мерзлые породы, она не должна прекращаться в течение всего времени работы игл. Как только прекратится подача воды – изменится направление теплообмена и немедленно начнется промерзание уже образовавшегося талика. Поэтому перерыв в подаче воды по любой причине особенно в начальной стадии оттаивания приводит к выходу из строя игл. Это обстоятельство связано с необходимостью повседневного контроля за работой каждой отдельной иглы. Такой контроль, а также консервация и восстановление работы законсервированных и вышедших из строя игл, является важной частью технологии ИГО.

Основные причины, по которым иглы могут выйти из строя:

1. Недостаточно чистая вода, вызывающая кольматацию пород вокруг выходного отверстия иглы и закупоривание самого отверстия (рис. 4.7, а).

2. Иногда взвесь может осесть в изгиба рука, подающего воду в иглу (рис. 4.7, б), в результате прекращается поступление воды.

3. Буровая коронка (наконечник иглы) оказывается погруженной в прослоек льда или в талые породы. При этом после оттайки льда может произойти отток воды, которая практически уйдет из процесса оттайки. Такой случай установить трудно и иногда только во время горных работ

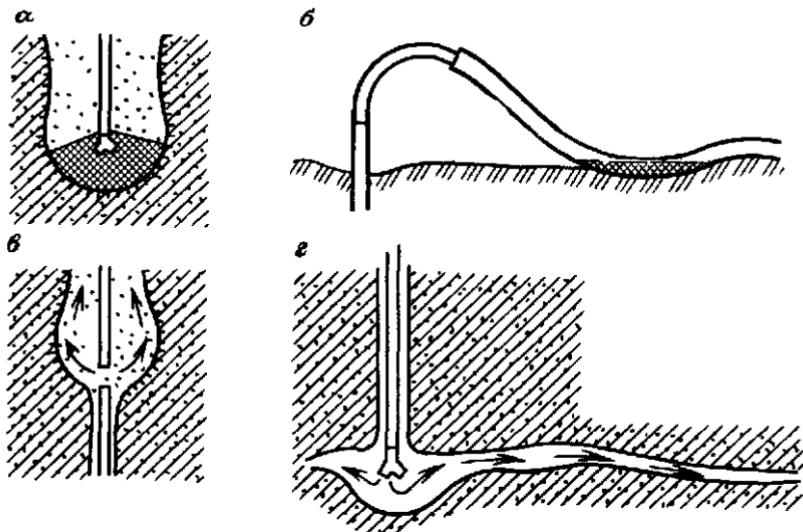


Рис. 4.7 Основные причины выхода из строя гидравлической иглы  
 а – кольматация в нижней части скважины; б – осаждение мелких частиц в резинотканевом рукаве; в – разрыв трубы или срезание ниппеля; г – отток тепла вместе с водой по полости, образованной в результате вытапливания льда

обнаруживается, что вокруг иглы сохранились мерзлые породы (рис. 4.7, г).

4. Во время бурения может быть сорвана резьба ниппельного соединения, при этом образуется отверстие, через которое уходит вода (рис. 4.7, в). Следствием, как правило, является оттаивание верхней части мерзлой толщи (выше ниппеля) и сохранение нижней части в мерзлом состоянии.

5. В результате перебора наконечник иглы может погрузиться в плотные породы плотика, а промежуток между иглой и породой заполнится буровым штыбом.

Это наиболее часто встречающиеся случаи нарушения нормальной работы игл (в действительности могут быть и иные, иногда полностью непредсказуемые). Однако результат всегда один — процесс оттайки в данном месте прекращается. Именно поэтому необходим контроль за работой игл. Прежде всего должна быть обеспечена строгая вертикальность бурения. Очень важно, чтобы все иглы были погружены до заданной отметки, при этом не страшен некоторый недобур, но перебора допускать нельзя. Недобур чаще всего происходит из-за встречи с валуном. Если это произошло более чем в полутора метрах от заданной глубины бурения, необходимо данную скважину оставить и на расстоянии 20–30 см от нее пробурить новую. При использовании нового комплекта игл характерный показатель правильности их погружения — пример-

но одинаковая высота наружных (оставшихся непогруженными) частей игл. Однако таким показателем можно руководствоваться только тогда, когда все иглы имеют одинаковую длину.

После того как бурение закончено и иглы подключены к системе водоснабжения, необходимо каждую иглу поднять на 15–20 см, чтобы проверить прохождение воды и уменьшить вероятность засорения отверстия коронки. Такой подъем производят при помощи домкратов, входящих в комплект ОВГ. В дальнейшем, в процессе оттайки, каждые 5 дней следует поднимать иглу на 10–15 см, чтобы предотвратить засорение отверстия в ней.

Поступление воды в каждую иглу контролируется ежедневно. Определить вышедшую из строя иглу достаточно просто. Во-первых, находящаяся на поверхности часть иглы в этом случае нагревается значительно больше, чем соседние работающие иглы, и не покрыта конденсатом. Во-вторых, не слышно шума, который производит проходящая по игле вода. Существуют для этой цели и специальные индикаторы, например вставки из оргстекла, имеющие внутри нить. Такие вставки размещают в подводящих рукавах. Когда вода проходит через вставку, нить натянута и вибрирует. Когда воды нет – она опускается. Несмотря на простоту и надежность в работе, такие индикаторы практического применения не находят. Их размещение в рукавах требует значительных затрат труда, в то время как вышедшую из строя иглу можно обнаружить и простейшими средствами.

Обнаруженная неисправная игла должна быть немедленно восстановлена. Для этого ее сразу отключают от питания и медным грузиком на троцике промеряют глубину свободного прохода воды. Если вода замерзла – иглу приподнимают, а затем промывают струей подогретой до 60 °С воды из тонкого шланга. Подогрев воды производят с помощью переносных подогревателей. Такой промывки и последующего подтягивания иглы часто оказывается достаточным для ее восстановления.

Когда игла оказывается закупоренной породной пробкой, то эту пробку можно устраниć гидравлическим ударом, используя небольшой поршень, который вставляют в иглу и по которому наносят сильный удар. Засоренные породой иглы можно прочищать специальной жесткой проволокой. В случае, показанном на рис. 4.7, в, иглы восстановлению не подлежат. Необходимо на расстоянии 20–30 см от старой иглы пробурить новую.

Все сказанное выше – это контроль за действием отдельной иглы. Кроме того, в комплекс работ по оттайке входит контроль за оттайкой всего массива в целом. Для этой цели используют контрольные иглы или мерзлотомерные скважины.

Продолжительность действия игл устанавливается проектом. Однако проект не может полностью учесть все характеристики мерзлых пород, которые существенно меняются для каждого блока оттайки. Поэтому, начиная со второй половины установленного времени подачи воды в иг-

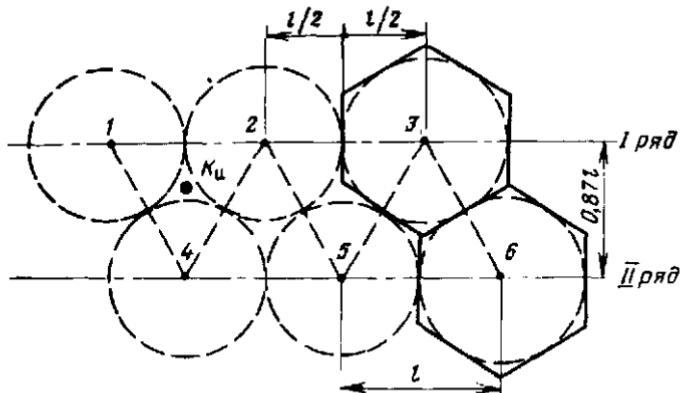


Рис. 4.8. Установка контрольной иглы:

1–6 – действующие гидроиглы;  $K_i$  – контрольная игла, установленная в центре треугольника, образованного действующими иглами 1, 2, 4;  $l$  – шаг установки гидроигл

лу, необходим дополнительный контроль, для которого и предназначены контрольные иглы. Эти иглы (рис. 4.8) устанавливают в центре треугольника, образованного рабочими иглами. Расстояние между контрольными иглами составляет  $4H_{ot}$ , но не более 40 м. Должно быть две такие иглы на каждый блок оттайки. По своей конструкции контрольная игла такая же, как и рабочая, но посажена на 1,5 м глубже и не подключена к воде.

Установка контрольных игл производится не менее чем за 15 дней до начала оттайки, с тем чтобы игла к этому времени успела полностью промерзнуть. Окончание оттайки на участке контрольной иглы определяют, измеряя с помощью медного грузика глубину, на которой вода в игле находится в замерзшем состоянии. Как только грузик свободно проходит по всей длине иглы – оттайка закончена. На практике пользуются и еще более простым способом – иглу пытаются провернуть в скважине с помощью газового ключа. Если игла свободно проворачивается, значит оттайка произошла по всей ее глубине.

Кроме контрольных игл для контроля за оттайванием могут быть использованы мерзлотомерные скважины. Эти скважины пробуривают заблаговременно в холодное время года и в них опускают трубу, закрытую с нижней стороны. Таким образом внутри трубы есть свободное яространство, в котором могут быть размещены обычные термометры, термометры сопротивления или шланг, заполненный водой. Термометры могут показать температуру пород по всей длине скважины. Если применяются термометры сопротивления, то от них обычно выводят концы на поверхность и температуру можно установить непосредственно, замеряя сопротивления между выведенными концами. Шланг с во-

дой извлекают на поверхность и по наличию пробок льда судят о той глубине, на которую распространилась оттайка.

После того как установлено окончание оттайки, иглы извлекают. Это делают с помощью специального навесного оборудования на тракторе или бурового станка. Тот участок водяных магистралей, который питал оттаянный блок демонтируют и переносят на новое место.

Из сказанного следует, что оттайка представляет собой комплекс непрерывно производимых работ, требующий постоянного присутствия людей, обслуживающих ее. Качество оттайки зависит от полноты и регулярности всех указанных операций, которые должны производиться в период постановки и работы игл.

Кроме оборудования, входящего в состав комплекта ОВГ, нужны дополнительные инструменты и механизмы. Необходим подъемный кран на базе трактора (типа КТН), бульдозер для оперативной планировки, перемещения магистралей и других работ. Нужны сварочные аппараты, газовые ключи, переносные подогреватели воды и т.д.

Экономическая эффективность оттайки в значительной степени зависит от того, как будут использоваться иглы. Они должны быть использованы многократно. Однако при извлечении, особенно в том случае, когда оно производится домкратом или рычагом, а не навесным извлекателем, игла неизбежно деформируется. Чтобы ее использовать в последующих циклах оттайки, деформаций необходимо устранить. Для этого созданы и применяются специальные станки для правки игл. Такие станки должны быть на каждом полигоне оттайки, но вместе с тем необходимо соблюдать осторожность и при извлечении игл.

Поскольку предварительное бурение скважин под иглы – одно из направлений совершенствования и повышения эффективности ИГО, большое значение приобретает работа по консервации заранее установленных игл.

Поэтому несколько подробнее остановимся на вопросе о рекомендуемых в настоящее время способах консервации:

1) установка в устье скважины обсадной трубы на глубину, превышающую мощность оттаявшего слоя, которая будет иметь место в начале оттайки данного блока;

2) установка на ту же глубину обсадной трубы без плотной обсадки и создание в конце трубы льдопородной пробки с последующим заполнением промежутка между обсадной трубой и стенками скважины буровым шламом;

3) установка параллельно гидроигле трубки, соединяющей полость скважины с атмосферой, и создание льдогрунтовой пробки на глубине, превышающей глубину поверхности оттайки;

4) установка вдоль иглы полизтиленовой трубы, соединяющей нижнюю часть иглы с атмосферой, в нижней части иглы создается ледяная пробка, через которую проходит полизтиленовая трубка.

Все эти способы консервации показаны на рис. 4.9.

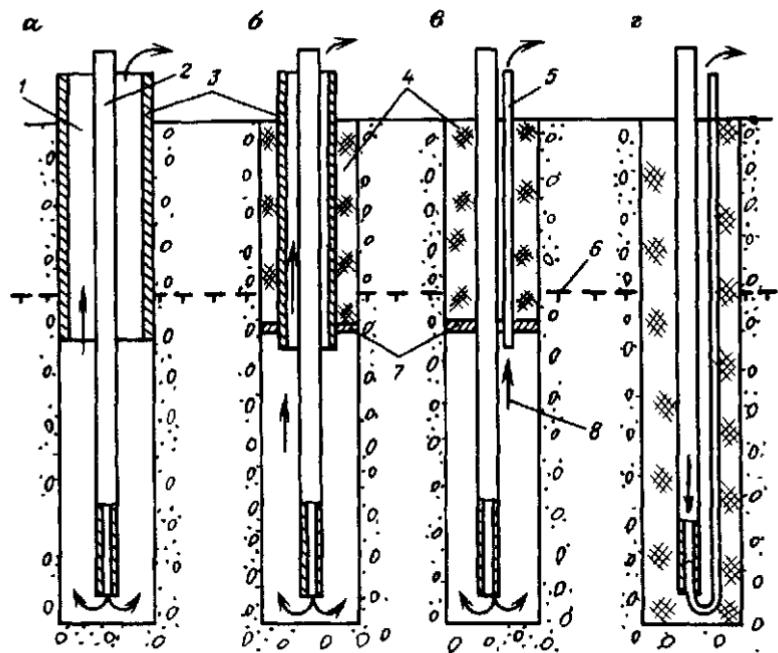


Рис. 4.9 Способы консервации гидроиглы

*а* – установка в устье скважины обсадной трубы на глубину, превышающую мощность слоя талых пород, на время запуска иглы в работу; *б* – установка обсадной трубы и создание на глубине, превышающей мощность талых пород, льдогрунтовой пробки, пространство между обсадной трубой и стенкой скважины заполнено буровым шламом; *в* – установка параллельно игле трубы, сообщающей полость скважины с атмосферой, и создание льдогрунтовой пробки; *г* – установка вдоль иглы полиэтиленовой трубы, сообщающей нижний конец иглы с атмосферой, пробка образуется у наконечника гидроиглы.

1 – буровая скважина; 2 – игла; 3 – обсадная труба; 4 – груято-ледяная пробка; 5 – трубка, сообщающая с атмосферой; 6 – граница талого слоя породы; 7 – уплотнительная пробка; 8 – направление движения воды

При глубине оттайки до 15 м применяют разовое погружение игл, т.е. иглу погружают сразу на заданную глубину и она продолжает работу до тех пор, пока не будет закончено оттаивание пород. Или при этом необходимо время от времени приподнимать. Если же глубина оттайки превышает 15 м, то возможно применение двухъярусного погружения игл. В этом случае предлагается погрузить иглу на всю глубину и нагнетать в нее воду до тех пор, пока нижние части таликов отдельных игл не сольются между собой. Время, необходимое для этого, можно определить расчетом или фиксированием слияния таликов по показаниям мерзлотомерных скважин. Затем иглу поднимают так, чтобы глубина ее пог-

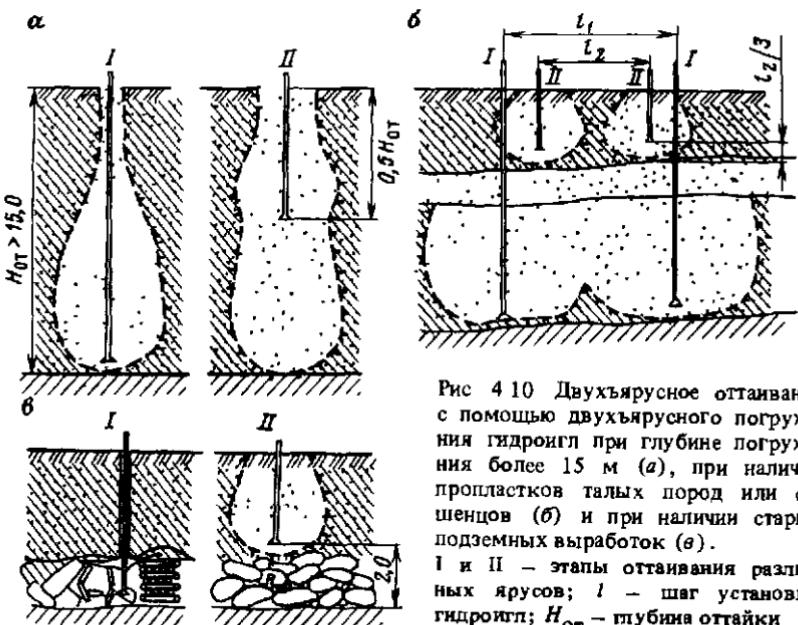


Рис. 4.10 Двухъярусное оттаивание с помощью двухъярусного погружения гидроигл при глубине погружения более 15 м (а), при наличии пропластков талых пород или сушенцов (б) и при наличии старых подземных выработок (в).

I и II – этапы оттаивания различных ярусов; l – шаг установки гидроигл;  $H_{01}$  – трубина оттайки

ружения составила 0,5–0,6 первоначальной. В таком положении в иглу подают воду еще в течение 30–40 % времени выстойки на первоначальной глубине.

В том случае, когда мерзлые породы разделены слоем талых, оттайку можно вести также двумя ярусами (рис. 4.10). Сперва опускают иглы на всю глубину и оттаивают нижний слой, затем забуривают новые скважины с меньшим шагом установки на глубину верхнего слоя мерзлых пород с недобуром, составляющим 1/3 шага. Этими иглами оттаивают верхний слой. Время выстойки для каждого слоя определяют отдельно. Однако следует учесть, что двухъярусное погружение игл пока еще не прошло всесторонних промышленных испытаний и намного усложнит общую организацию работ.

Иногда слой таликов находится в приплотиковой части россыпи или необходимо оттаивать мерзлые породы, под которыми имеются пустоты, — например выработки, оставшиеся после подземных разработок (см. рис. 4.10, в). В первом случае необходим также недобур в 1/3 шага установки. Во втором — иглы погружают на полную глубину и в них нагнетают воду до тех пор, пока не оттают породы, которыми завалены старые выработки и не обрушится кровля. После этого иглы следуют поднять на 1,5–2 м и продолжать оттайку. Попытки производить оттайку, не учитывая наличия старых выработок, как правило, заканчивались неудачей.

#### 4.2. ПАРАМЕТРЫ ИГЛОВОЙ ГИДРООТТАЙКИ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Как и любой процесс, оттайка характеризуется набором показателей – параметров, которые определяют технико-экономические результаты ИГО и могут быть разделены на группы. Заданные и не подлежащие регулированию параметры – *объем оттаиваемых пород и глубина оттайки*. Четыре параметра: *шаг установки игл, время нагнетания воды, температура и количество нагнетаемой в иглу воды* – основные регулируемые параметры, при помощи которых устанавливается необходимый ход процесса в целом. При этом температуру нагнетаемой воды можно регулировать только в весьма незначительных пределах (если не прибегать к помощи искусственного подогрева, что связано с очень большими материальными затратами). Количество нагнетаемой воды можно регулировать в известных пределах, но не по каждой отдельной игле, а по группе в 40–50 игл. Поэтому вполне допустимо, что в питании отдельных игл будут некоторые отклонения от заданной его величины.

Наконец, существуют расчетные параметры – *число игл в одновременной работе, число игл для оттайки всего заданного объема, производительность одной иглы* в сутки и за весь период нагнетания воды. Для проектирования оттайки необходимо выбрать значения всех параметров. Установить их одинаковыми на весь срок работы нельзя, они должны изменяться по мере того, как меняются температура воды и характеристика оттаиваемых пород. На практике для простоты иногда принимают средние значения параметров и стараются выдерживать их в течение всего времени оттайки. Такая простота себя не оправдывает – она приводит в конечном итоге к значительному удорожанию. Поэтому соответствие всех параметров условиям работы каждого участка в течение всего сезона оттайки – основное условие достижения высоких технико-экономических показателей.

**Определение объема оттаиваемых пород  $V_{\text{от}}$ .** В целом этот объем определяется необходимым уровнем подготовки песков к промывке. Однако, поскольку наиболее часто игловая оттайка используется для подготовки горной массы к драгированию, этот случай может быть представлен как типовой. Допустим, что годовой объем горной массы, перерабатываемый драгой, составляет  $V_g$  тыс. м<sup>3</sup>. Существует понятие "входящий остаток подготовленной горной массы". Под таким остатком в данном случае подразумевается объем горной массы, которая была оттаяна в прошлом году для работы драги в данном сезоне. Условие нормальной работы заключается в том, чтобы оттаивать такой объем, который обеспечил бы выполнение драгой заданного объема  $V_g$  плюс исходящий остаток, равный объему входящего. Другими словами, объем оттайки каждый год должен быть равен объему годовой переработки горной массы драгой. Это в том случае, когда все разрабатываемое месторождение сложено мерзлыми породами. Если наряду с мерзлыми, на полигоне встречаются участки талых пород, то мерзлотная разведка должна точно оконтурить участки, подлежащие оттайке, и ее объем будет

определяться суммой объемов горной массы на таких участках.

Глубина оттайки  $H_{\text{от}}$  определяется глубиной залегания россыпи, которая должна быть оттаяна до коренных пород за вычетом мощности растительного и илистого слоев (их необходимо удалить). Глубина оттайки всегда больше глубины погружения игл (глубины бурения). Долгое время принято было считать, что глубина бурения должна быть на 0,5–1 м меньше глубины оттайки. Результаты последних исследований свидетельствуют о том, что эта разница может быть существенно больше и достигать 1,5–2 м. Поэтому в качестве рекомендации для определения глубины бурения (в м) может быть принято соотношение  $H_b = H_{\text{от}} - 1,5$ .

Необходимо иметь в виду, что глубина оттайки может быть различной на разных участках оттаиваемого полигона. Поэтому возможны значительные колебания в глубине погружения игл. Практика показывает, что оттайка может производиться на глубинах от 4 до 30 м (теоретически – до 50 м). Объем бурения существенно возрастает, когда мерзлые породы залегают слоями, чередующимися со слоями талых. В этом случае приходится первоначально оттаивать верхний мерзлый слой, для которого глубину бурения рассчитывают отдельно, и затем нижний слой, залегающий под тальми породами (см. п. 4.1).

Шаг установки игл  $l$  (см. рис. 4.8) важнейший параметр, в значительной степени определяющий все технико-экономические показатели оттайки. Малый шаг обеспечивает минимальные затраты времени на оттаивание, большой – минимальные затраты на бурение и водоснабжение оттайки. Поэтому существует оптимальное значение шага. Величина шага определяется прежде всего льдистостью, коэффициентом фильтрации оттаиваемых пород, а также температурой нагнетаемой в иглы воды. Кроме того, он зависит от глубины оттайки, количества нагнетаемой воды, заданного (если это необходимо) времени оттайки. Таким образом, имеет место весьма сложная зависимость, в силу чего проще пользоваться рекомендованными значениями шага (табл. 4.2).

В табл. 4.2 представлен достаточно широкий интервал значений шага – от максимально до минимально допустимого. В этом интервале следует подбирать шаг для заданных условий оттайки. Оптимальное значение шага определено из расчета наиболее полного использования тепла, содержащегося в нагнетаемой воде. Выход за рекомендованные пределы означает, что тепло будет использовано недостаточно. Для больших глубин (более 30 м) шаг оттайки в таблице принимают расчетным (теоретическим), поскольку оттайка на глубину, превышающую 30 м, пока не производилась.

По табл. 4.2 могут быть определены предельные значения шага установки игл в зависимости от конкретных условий и тот интервал, в котором значение шага может изменять без существенного изменения технико-экономических показателей оттайки.

Как видно из рис. 4.8, иглы устанавливают в вершинах равносторон-

Таблица 4.2

Рекомендуемые значения шага установки игл ( $l$ , м)

Глубина погружения, м	Глинистые породы			Галечно-гравелистые породы		
	$l_{\min}$	$l_{\text{opt}}$	$l_{\max}$	$l_{\min}$	$l_{\text{opt}}$	$l_{\max}$
2,5–4	1,5	2,5	3	2	3	4
4,5–7	2	3	4	2,5	4	5
8–11	2,5	4	5,3	3,5	4,5	6,4
12–17	3,5	5,3	6,4	5,3	6,4	9
18–29	5,3	7	9	6,4	9	13
30–45	6,4	10	15	9	12	16

П р и м е ч а н и е. Опыт показывает, что при шаге установки игл более 5,5 м мерзлые породы в суровых климатических условиях не успевают оттаивать, поэтому здесь не имеет смысла принимать значения шага больше величины, выделенной шрифтом. Максимальные значения шага установки (более 5,5 м) могут быть приняты только, когда оттайка производится в условиях умеренно сурового климата.

них треугольников, причем расстояния между рядами игл составляют  $0,87l$ , т.е. для определения всей сетки установки игл достаточно знать только величину шага.

Продолжительность нагнетания воды в иглы  $T$  (время работы игл), важнейший параметр, который определяет возможность проведения работ по оттайке в течение короткого северного лета. В гл. 2 были изложены основные положения, принятые для расчета времени оттайки. Однако созданные на их базе формулы неудобны тем, что в них обязательно фигурирует коэффициент использования тепла, который в каждом отдельном случае установить достаточно сложно. Поэтому для практического применения рекомендована приведенная ниже формула и в дополнение к ней справочные материалы, облегчающие расчет. В формуле фигурируют все параметры оттайки, поэтому, пользуясь ею, можно рассчитать не только время, но и шаг установки игл, количество нагнетаемой воды и т.д., что будет показано на конкретных примерах:

$$Tt = 0,895 b^{2,134} \left( \frac{G}{w} \right)^{0.707} (0,11 H_{\text{от}} + 1) e^{0.02(t-10)}, \quad (4.1)$$

где  $T$  – время оттаивания, сут;  $t$  – температура нагнетаемой воды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $b$  – величина, равная половине шага установки игл, м;  $G$  – льдистость пород,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $w$  – расход нагнетаемой воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $H_{\text{от}}$  – глубина оттайки, м.

В связи с дробными степенными показателями оперативный расчет по этой формуле несколько затруднен. Поэтому, учитывая, что проектировщики не всегда располагают вычислительной техникой, ниже приве-

дены зависимости между используемыми в формуле степенными выражениями и значениями отдельных параметров. Промежуточные значения получают интерполяцией. Зависимость расчетной величины  $b^{2,234}$  от шага установки игл приведена ниже.

$t, \text{ м. . . . .}$	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$b^{2,234} . . . . .$	1	1,65	2,47	3,49	4,7	6,12	7,74	9,58

Зависимость расчетной величины  $e^{0,02(t-10)}$  от температуры воды

$t, {}^{\circ}\text{C} . . . . .$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$e^{0,02(t-10)} . . . . .$	0,852	0,887	0,923	0,961	1	0,041	1,083	1,128	1,174	1,191

Зависимость расчетной величины  $(G/w)^{0,707}$  от фактического соотношения  $G/w$

$\frac{G}{w}, \frac{\text{кг}/\text{м}^3}{\text{м}^3/\text{ч}} . . . . .$	20	40	50	60	80	100	150	200	300
$(\frac{G}{w})^{0,707} . . . . .$	8,3	13,2	15,5	17,5	21,6	26	35	42	57,5

Продолжительность нагнетания воды  $T$  в значительной степени зависит от ее температуры, от льдистости пород и от глубины оттайки. Как видно из табл. 4.3, температура воды в течение лета резко меняется. Кроме того могут изменяться льдистость и глубина оттайки (из-за просчетов мерзлотной разведки, местных понижений и повышений плотника и т.д.). Для упрощения инженерных расчетов предложены приближенные формулы пересчета времени оттайки, которые позволяют с некоторой погрешностью избежать расчетов по формуле (4.1) для каждого случая изменения условий работы.

Если меняется один из параметров, то пользуются формулой пересчета только по этому параметру. Если же меняются все три, то пересчет производят в той последовательности, в которой ниже приведены сами формулы, причем в каждой последующей формуле учитывают уже пересчитанное по предыдущему фактору значение времени оттайки.

Пересчет в связи с существенным изменением температуры нагнетаемой в иглы воды:

$$T' = T \frac{t_{\text{расч}}}{t_{\text{факт}}} .$$

Пересчет в связи с изменившейся льдистостью горных пород:

$$T'' = T' \frac{G_{\text{факт}}}{G_{\text{расч}}} .$$

Пересчет в связи с изменением глубины оттайки:

$$T''' = T'' \frac{H_{\text{факт}}}{H_{\text{расч}}}.$$

**Пример.** В расчете были заложены следующие данные:  $t_{\text{расч}} = 6^{\circ}\text{C}$ ;  $G_{\text{расч}} = 150 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $H_{\text{расч}} = 9 \text{ м}$ . Время оттайки по расчету получилось равным 25 сут. Через несколько дней условия изменились: вода прогрелась до  $t_{\text{факт}} = 10^{\circ}\text{C}$ , льдистость оказалась больше расчетной и составила  $G_{\text{факт}} = 200 \text{ кг}/\text{м}^3$ , необходимая глубина оттайки стала на 0,5 м меньше. Для оперативного руководства оттайкой необходимо определить, как повлияли эти изменения на срок выстойки игл:

$$T' = 25 - \frac{6}{10} = 15; T'' = 15 \frac{200}{150} = 20;$$

$$T = 20 - \frac{8,5}{9} = 19.$$

Таким образом, несмотря на увеличивающуюся льдистость, срок выстойки значительно сократился (с 25 до 19 дней).

Пересчетные формулы удобны тем, что они позволяют оперативно устанавливать сроки, в которые необходимо пересматривать расчет и менять параметры оттайки.

Анализируя результаты пересчетов, можно заметить, что наиболее существенную роль для сроков оттайки (времени подачи воды в иглы) играет температура нагнетаемой воды.

Температура нагнетаемой в иглы воды  $t$ . Этот показатель оказывает решающее влияние на интенсивность оттайки, для которой используется естественно нагретая вода при температуре выше  $+2^{\circ}\text{C}$ . Поэтому сезон работ по оттайке начинается тогда, когда вода в используемом для водоснабжения оттайки источнике прогревается до  $+2^{\circ}\text{C}$ . Окончание сезона оттайки — при охлаждении воды до  $+3^{\circ}\text{C}$ . Температура, подаваемой в иглы воды, может быть несколько повышенена за счет естественного нагрева в специальных прудах-отстойниках небольшой глубины или же в самих магистралях, если они имеют достаточную длину. Для расчета следует брать сведения гидрометеослужбы о подекадных температурах воды для данного района. В тех случаях, когда таких сведений нет, можно воспользоваться данными о среднесуточных температурах воздуха, уменьшив их на 25–30 %. Можно также руководствоваться данными для близлежащих (в сходных климатических условиях), примерно одинаковых по обилию воды рек.

Наиболее целесообразно использовать в расчетах средние температуры воды, определенные на основе многолетних наблюдений. В табл. 4.3 приведены такие температуры для различных районов Северо-Востока СССР.

В расчет принимают средневзвешенное значение температуры за весь период нагнетания воды в иглы. Если продолжительность нагнетания сос-

Таблица 4.3

Средние подекадные температуры воды (в  $^{\circ}\text{C}$ ) в некоторых реках Северо-Востока СССР за теплый период года

Наименование реки (участка)	май	июнь			июль	август	сентябрь		
	III	I	II	III	I-III	I-III	I	II	III
Берелех (г. Сусуман)	1,5	5,2	7,6	9,5	11,1	9,8	6,2	4,6	2,4
Омчак	2,3	4,3	6,7	7,9	9,4	8,8	6,3	5,0	3,3
Омчуг (пос. Усть-Омчуг)	1,4	3,9	5,7	6,9	8,0	8,0	6,0	4,9	3,3
Лебин	1,3	4,8	7,5	10,1	11,8	9,7	6,0	4,4	2,3
Малый Анюй	0,2	2,6	6,2	9,5	11,3	9,1	4,6	2,6	0,9
Пыркакайвеем (пос. Красноармейский)	—	2,6	5,0	6,4	8,0	6,1	2,2	1,6	0,4
Малые реки континенталь- ных районов Северо-Вос- тока СССР	—	0,9	4,9	9,0	12,2	6,9	3,1	—	—

тавляет несколько декад, то берут средневзвешенное подекадное значение температур. Если нагнетание производится в течение одной декады, то принимают среднедекадную температуру. В тех случаях, когда время нагнетания воды еще не определено, но необходимо знать ее среднюю температуру, то такое определение делают приближенно, зная примерно период, в течение которого будут работать иглы. Пользоваться значениями среднемесячных температур не рекомендуется. Их следует использовать только в тех случаях, когда иглы работают в течение полного календарного месяца (отклонения в один–три для можно в расчет не принимать).

Для нагревания воды, отбираемой из холодных водоисточников можно использовать мелкие пруды–нагреватели, в которых небольшой слой воды хорошо прогревается под воздействием солнечного тепла. Такие пруды должны иметь значительную площадь, а глубину не более 0,3–0,6 м. Эффективность прогрева воды определяется соотношением  $w/S$ , где  $w$  – расход воды,  $\text{m}^3/\text{ч}$ ,  $S$  – площадь поверхности воды в пруде. В континентальных районах Северо-Востока СССР нагрев воды в прудах может быть весьма значительным (табл. 4.4).

Напор воды у входа в иглу  $h_i$  (в Па) определяют из расчета преодоления гидравлического сопротивления иглы и свободного выхода воды в горную породы по формуле  $h_i = (1 \div 1,4) H_{\text{от}}$ .

Расход воды через иглу  $w$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Теоретический расчет количества воды, подаваемой в иглу, производится по весьма сложным формулам. Количество воды зависит от шага установки игл, глубины их погружения, коэффициента фильтрации, коэффициента гидравлического сопротивления и т.д. Чаще всего необходимое количество воды определяют по специальным графикам и nomogramмам. В технологической схеме оттайки не предусмотрено регулирование подачи воды по каждой игле.

Таблица 4.4

Расчетное изменение температуры воды в мелких прудах-нагревателях за июнь – август

Начальная температу- ра воды, °C	Средняя температура воды (в °C) при $w/S$					
	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
4	4,5	5,0	5,9	7,6	10,2	12,0
6	6,4	6,8	7,5	8,7	10,8	12,1
8	8,3	8,5	9,0	9,9	11,3	12,3
10	10,1	10,3	10,6	11,1	11,9	12,5

Такое регулирование возможно только по блокам оттайки (для групп в 40–50 шт.). Оно производится при помощи задвижки на ответвлении от магистрального водовода. В общем виде расход воды на иглу изменяется от 0,2 до 4 м<sup>3</sup>/ч, составляя в среднем примерно 1,5 м<sup>3</sup>/ч; рекомендуемое значение 0,5–2,5 м<sup>3</sup>/ч. Большее значение расхода – для хорошо фильтрующих пород, меньшее – для слабопроницаемых (глинистых). Для глинистых пород при выборе расхода воды можно руководствоваться табл. 4.5.

В табл. 4.5 указаны предельные величины, выше которых расход воды может быть только в породах с коэффициентом фильтрации, превышающим указанный.

Поскольку увеличение количества подаваемой воды приводит к возрастанию гидравлического сопротивления иглы, то установлены предельно допустимые потери напора (в Па), исходя из которых и ограничивают расход воды. Принято, что максимальное сопротивление иглы не должно превышать 0,4Н, где Н – длина иглы. В табл. 4.1 показана зависимость гидравлического сопротивления иглы в сборе и отдельных ее элементов от расхода воды. Пользуясь этой таблицей, всегда можно проверить допустимость принятого в расчет расхода воды.

Ниже приведены расчетные параметры ИГО.

Таблица 4.5

Расход воды для глинистых пород

Характеристика пород	Коэф- фици- ент фильт- рации, м/сут	Максимальный расход (в м <sup>3</sup> /ч) при глубине оттайки (в м)			
		4	8	12	20
Шебенистые супеси	3	0,8	1,1	1,5	2
Пески пылеватые, глинистые с галькой	3÷8	1,6	2,1	2,5	3,2

1. Производительность одной иглы, м<sup>3</sup>:

а) за весь срок оттайки

$$P_{\text{общ}} = 0,87l^2 H_{\text{от}} ;$$

б) за сутки работы

$$P_{\text{сут}} = \frac{0,87l^2 H_{\text{от}}}{T} .$$

2. Общее число игл на весь объем оттайки, шт.:

$$N_{\text{общ}} = 1,15 \frac{S}{l^2} ,$$

где  $S$  – площадь, на которой производится оттаяка, м<sup>2</sup>;  $l$  – шаг установки игл, м.

Поскольку величина шага должна изменяться в течение сезона, то в расчет надо принимать среднюю величину за весь сезон.

3. Число одновременно работающих игл проще всего определять по графику оттайки. Однако иногда необходимо знать его заранее, когда еще не определены сроки работы игл. В этом случае задаются средним значением  $T$  (приблизительным) и число одновременно работающих игл (в шт.) определяют по формуле В.Г. Гольдтмана

$$N_{\text{од}} = \frac{T(N_{\text{общ}} - N_{\text{пр}})}{T_{\text{общ}} - T}$$

где  $T$  – предварительно установленная продолжительность нагнетания воды в иглы;  $N_{\text{пр}}$  – число игл, для которых бурение производилось заранее, до начала сезона оттайки;  $T_{\text{общ}}$  – продолжительность всего сезона оттайки (нагнетания воды в иглы), сут.

В заключение – несколько примеров, показывающих, как можно пользоваться формулой (4.1) для определения различных параметров оттайки.

*Пример 1.* Установить время, необходимое для оттайки при следующих условиях:  $H_{\text{от}} = 6$  м;  $l = 4$  м;  $t = 10$  С;  $w = 0,9$  м<sup>3</sup>/ч;  $G = 150$  кг/м<sup>3</sup>.

По заданным параметрам найдем значения расчетных величин:  $b^{1,234} = 4,7$ ;

$e^{0,02(t-10)} = 1$ . При помощи интерполяции определим  $(G/w)^{0,707} = 36,4$ . Подставим полученные значения в формулу (4.1) для решения задачи относительно  $T$ :

$$T = \frac{0,895 \cdot 4,7 \cdot 36,4 \cdot 1,66}{10} = 25,4 \approx 26 \text{ сут.}$$

Таким образом, при заданных условиях для оттайки на глубину 6 м необходимо 26 сут.

*Пример 2.* Определить необходимый шаг установки игл, который обеспечит оттайку на глубину 6 м при работе иглы в течение 20 сут,  $G = 200 \text{ кг}/\text{м}^3$ , количестве нагнетаемой воды  $1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$  и температуре нагнетаемой воды  $7^\circ\text{C}$ .

Интерполяцией находим:  $(G/w)^{0,707} = 27,98$ ;  $e^{0,03(t-10)} = 0,942$ ;  $0,11H_{\text{от}} + 1 = 1,66$ .

Подставляем полученные значения в формулу (4.1):

$$b^{2,134} = \frac{7 \cdot 20}{0,895 \cdot 27,98 \cdot 0,942 \cdot 1,66} = 3,57.$$

Значения  $b^{2,134} = 3,57$  в справочном материале нет. Поэтому снова необходимо прибегнуть к интерполяции, которая покажет, что это значение соответствует шагу установки игл, равному 3,7 м.

*Пример 3.* Определить расход нагнетаемой воды, который обеспечит в течение 18 сут оттаяку на глубину 10 м при плотности  $180 \text{ кг}/\text{м}^3$ , температуре нагнетаемой воды  $8^\circ\text{C}$ , шаге установки игл 4 м.

Определив значения расчетных величин, соответствующие заданным условиям, и подставив их в формулу, получим

$$\left(\frac{G}{w}\right)^{0,707} = \frac{18 \cdot 8}{0,895 \cdot 4,7 \cdot 2,1 \cdot 0,961} = 16,96.$$

Соответствующее этому отношению значение  $G/w$  находится в интервале от 40 до 60. Проводим очередную интерполяцию и определяем, что число 16,96 соответствует отношению  $G/w$ , равному 58. Отсюда

$$w = \frac{180}{58} = 3,1 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Анализируя результат расчета, можно отметить, что такой расход воды несколько велик (рекомендуемые расходы находятся в пределах  $0,5-2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), поэтому целесообразно несколько уменьшить величину шага установки, приняв его равным 3,5 м. Если произвести пересчет по этому шагу, то значение  $w$  получится равным  $2,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что вполне соответствует рекомендованным расходам.

Пользуясь этой формулой, можно определить также и необходимую температуру нагнетаемой воды. Однако такое определение несколько сложнее, поскольку  $t$  входит в формулу дважды. Поэтому проще всего в данном случае решить задачу упрощенно, задаваясь значениями  $t$  и проверяя эти значения подстановкой в формулу.

#### 4.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИГЛОВОЙ ГИДРООТТАЙКИ

В перспективе искусственная оттайка будет все в больших масштабах применяться не только для дражных работ, но и для разработки россыпей с помощью экскаваторов и бульдозеров.

Поэтому очень большое значение имеют проектирование оттайки, поиск и реализация оптимальных проектных решений. Проектировать ИГО чаще всего приходится при составлении годовых проектов непосредственно на производстве, однако не исключена такая возможность

и при перспективном проектировании. Порядок проектирования остается в обоих случаях одинаков.

Учитывая очень большие объемы оттайки, необходимо обеспечивать ее высокие технико-экономические показатели, что возможно только на основе тщательного проектирования.

**Состав проекта и общий порядок проектирования.** Составление проекта игловой гидрооттайки включает решение проектных задач примерно в такой последовательности.

1. Анализ исходных материалов, определение объемов и очередности работ по подготовке к оттайке, установление объема оттаиваемых пород и необходимых сроков оттайки; выбор схемы водоснабжения.

2. Анализ условий, в которых будет производиться оттаяка, предварительное определение ее основных параметров.

3. Составление рабочего графика и графика водоснабжения, уточнение параметров по периодам сезона оттайки, согласование рабочего графика с календарным планом горных работ.

4. Расчет водоснабжения и гидравлический расчет магистралей и водоводов.

5. Расчет буровых работ.

6. Составление плана мероприятий по контролю за работой игл и по контролю за ходом оттайки в целом.

7. Составление проекта организации работ и технико-экономические расчеты.

В пояснительной записке должны быть охарактеризованы все условия, определяющие расчеты, перечислены организационно-технические мероприятия, обеспечивающие высокий технический и организационный уровень работ, указан состав бригады и форма организации труда в бригаде, меры обеспечения безопасности работ.

Проект оттайки для конкретной россыпи может быть выполнен в одну стадию, т.е. одновременно с расчетами должны быть подготовлены рабочие чертежи.

**Требования к чертежам.** Чертежи представляют собой основной документ, на основании которого производится оттаяка. На них должны быть необходимые сведения для непосредственного руководства работами. Поэтому все размеры, сроки и взаимоувязки по блокам оттайки и участкам полигона должны быть показаны четко, недопустимы их различные толкования.

Хотя сама оттаяка — подготовительная работа, для нее, в свою очередь, необходима специальная подготовка. Основные мероприятия такой подготовки — удаление растительного слоя, планировка и осушение поверхности.

Большое значение имеют скрышные работы, если они предусмотрены проектом дражной разработки. В этом случае необходимо сравнить различные варианты — либо послойная вскрыша по мерзлой естественной оттайке и после нее игловая оттаяка, либо оттаяка гидроиг-

лами на всю глубину и уже после оттайки — вскрышные работы экскаваторами. Выбор варианта обосновывается технико-экономическими расчетами и увязывается с общим проектом дражной разработки.

Если на поверхности полигона размещены отвалы торфов или хвостов промывки, их необходимо удалить в процессе вскрышных работ или спланировать (если это не помещает работе драги), планировка отвалов производится на заранее подготовленной поверхности — с удаленными растительностью и растительным слоем.

Наконец, важнейшая подготовительная работа — организация системы водозабора и водоснабжения оттайки — выбор места для зумпфа и его проходка, установка насосов, сооружение отстойников, дамб, прудов-нагревателей, гидротехнических сооружений для защиты от паводков и т.д.

Все эти мероприятия входят в состав проекта гидрооттайки, и их стоимость относится на себестоимость оттайки.

**Определение сроков и объема оттайки.** Здесь большое значение имеют определение первоочередного объема оттайки и времени, в течение которого она должна быть проведена.

Необходимый объем оттайки, который должен быть обеспечен в первую очередь  $V_1$ , определяется исходя из среднесуточной производительности драги  $P_c$  и фактического объема оттаянной в прошлом сезоне горной массы (объема входящего остатка подготовленной горной массы)  $V_{bx}$ .

Время, необходимое для того, чтобы полностью был переработан входящий остаток подготовленной горной массы  $T_h = V_{bx}/P_c a$ , где  $a$  — коэффициент, учитывающий снижение суточной производительности драги, когда условия работы еще недостаточно благоприятны, а драга только начала работу после зимнего ремонта;  $a = 0,7 \div 0,75$ .

Зная, с какого времени драга начинает работу (эта дата установлена в проекте дражной разработки), и прибавив к этой дате время  $T_h$ , получим дату, к которой должна быть закончена оттаяка первой партии горной массы. Зная дату начала сезона оттайки и прибавив к ней время ( $T_h - 5$ ) сут (где 5 сут — резервное время), получим окончательный срок, к которому должна быть окончена оттаяка  $T_f$ . Этот срок закладывается в проект. Тем самым, окончательный срок, к которому должна быть закончена оттаяка первого объема горной массы, установлен на 5 дней раньше, чем будет полностью переработан входящий остаток. Этим создается некоторое опережение работ по оттайке. В дальнейшем объем оттаваемых пород всегда должен быть несколько больше, чем объем перерабатываемой драгой за этот же период (из расчета максимальной производительности драги). В целом объем оттайки рассчитывают исходя из того, что к концу дражного сезона должен быть создан исходящий остаток талой горной массы по своему объему равный входящему остатку:  $V_{их} = V_{bx}$ .

**Определение основных параметров оттайки. Шаг установки и гл. 1. В**

соответствии с характеристикой оттаиваемых пород, для заданной глубины оттаивания по табл. (4.2) определяют минимальное  $l_{\min}$ , оптимальное  $l_{opt}$  и максимальное  $l_{\max}$  значения шага установки игл.

В дальнейшем все изменения шага, которые будут необходимы по ходу проектирования, должны находиться в пределах интервала  $l_{\max} - l_{\min}$ .

*Количество нагнетаемой в иглу воды* подбирается в соответствии со сделанными ранее рекомендациями. Для тех случаев, когда необходимо оттаивать породы, имеющие малый коэффициент фильтрации, приведены значения  $w$  при  $k_f = 30 \text{ м/сут}$  и глубине оттаивания 10 м.

Величина шага, м . . . . .	3	4	4,5
Расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$ . . . . .	1,8	2,2	2,3

В тех случаях, когда необходимо оттаивать глинистые, пылеватые пески, обладающие коэффициентом фильтрации от 3 до 8 м/сут (такая необходимость иногда возникает), расход воды можно принять в соответствии с этими же рекомендациями.

Целесообразно, чтобы значения  $w$  были разными в различные периоды оттайки, уменьшаясь в благоприятные периоды и несколько увеличиваясь с понижением температуры воды.

*Расчетное время оттаивания* (время работы игл) определяют для различных периодов по формуле (4.1), принимая соответствующие условия работы значения параметров и средневзвешенную температуру нагнетаемой воды за предварительно установленное (приближенное) время оттайки.

#### Расчет времени оттаивания и построение графика оттайки.

1. График оттайки (рис. 4.11) строят в координатах  $N-T$ , где  $N$  – число работающих игл;  $T$  – время их работы. Расчетом определяют общее число игл (иглоустановок) для оттаивания всего заданного объема  $N_{\text{об}}$  и откладывают его по вертикальной оси от начала координат – точке  $O$ , которая соответствует началу нагнетания воды в иглы. Из точки  $N_{\text{об}}$ , соответствующей общему числу иглоустановок, проводят горизонтальную прямую. На горизонтальной оси от точки  $O$  откладывают отрезок, соответствующий продолжительности сезона оттайки (времени нагнетания воды в иглы), и получают точку  $T_{\text{от}}$ . Из этой точки проводят вертикальную прямую, которая пересечется с горизонтальной в точке  $K$ , соответствующей окончанию оттайки (отключению от питания последней группы игл).

2. Зная значение  $T_1$ , определенное по условию переработки входящего остатка оттаянных песков, подбирают параметры оттайки, обеспечивающие это время. Поскольку температура воды еще низкая, то значение  $l_1$  принимают по табл. 4.2 минимальным или близким к нему, значение  $w_2$  можно принять средним или несколько больше среднего. Средневзвешенную температуру воды  $t_1$  рассчитывают за период  $T_1$ . По формуле (4.1) определяют  $T_1$ . Если оно равно или меньше  $T_1$ , то его прини-

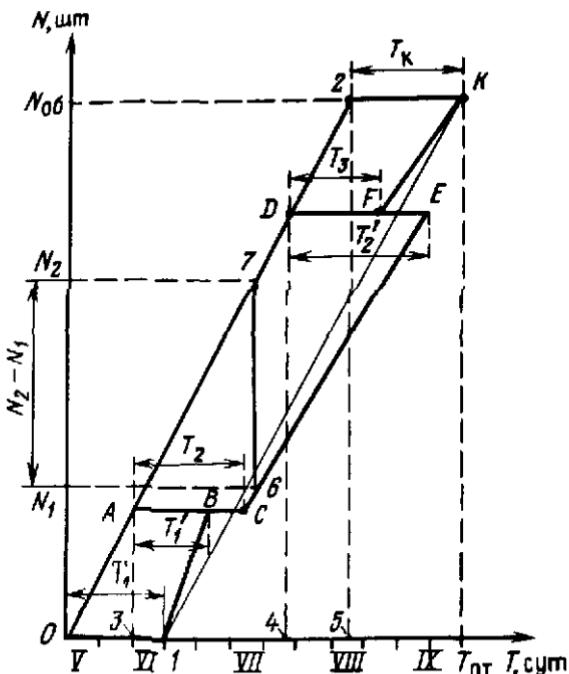


Рис. 4.11. График игловой гидрооттайки:  
 $O2$  – линия подключения игл к системе водоснабжения;  $T_{\text{от}}$  – продолжительность сезона оттайки;  $IBCEFK$  – кривая отключения игл от водоснабжения;  
 $N_2 - N_1$  (или прямая  $6-7$ ) – соответствует числу игл в одновременной работе;  
 $V-IX$  – месяцы

мают для построения графика. Если же  $T_1 > T_K$ , то необходим пересчет при других значениях  $l$  и  $w$ . Окончательно принятое значение  $T_1$  откладывают на горизонтальной оси от точки  $O$ , конец периода  $T_1$  обозначают цифрой 1.

3. По формуле (4.1) рассчитывают время работы игл в конце сезона. При этом делесообразно, чтобы время  $T_K$  не слишком отличалось от  $T_1$ . Для этого принимают значение  $l_K$  близкое к значению  $l_1$ , расход воды  $w_K$  можно несколько увеличить против  $w_1$ , учитывая ухудшающиеся условия оттаивания. Полученное значение  $T_K$  откладывают на прямой  $N_0$  влево от точки  $K$ . На графике начало этого периода обозначается цифрой 2.

4. Соединив прямыми соответственно точки  $O$  и 2; 1 и  $K$ , получают условный (теоретический) график оттайки  $O2K1$ . Работа по такому графику не может быть экономически эффективной, поскольку он целиком построен на близких к минимальным значениях  $l$ , которые сохраняются в течение всего сезона оттайки.

5. По таблицам температур воды (или по данным гидрометеослужбы) определяют дату (начало декады), когда на первом этапе оттайки фактическая температура значительно превысит температуру  $t_1$ , принятую в расчете. Условно считая, что продолжительность оттайки пропорциональна температуре нагнетаемой воды, делают приближенный пересчет по пересчетной формуле. При этом  $t_1 = t_{\text{расч}}$ , а  $t_{\phi}$  — фактическая температура воды на дату пересчета (например, на 10.VI). Полученное значение  $T_1'$  будет соответствовать фактическому времени работы игл, подключенных к воде 10.VI (условно), и оно существенно меньше чем  $T_1$ . Значение  $T_1'$  откладывают по горизонтали из точки  $A$  (точка пересечения линии  $O2$  и перпендикуляра восстановленного к этой линии из точки  $3$  на горизонтальной оси, соответствующей дате, на которую сделан пересчет — условно 10.VI). Полученный отрезок  $AB$  соответствует фактическому времени выстойки. Соединив точки  $1$  и  $B$ , получают фигуру  $OAB1$ , которая показывает фактический ход оттайки в первый ее период при значениях  $l_1$  и  $w_1$ .

6. Поскольку  $T'$  много меньше  $T_1$ , то для следующего периода оттайки целесообразно изменить параметры (увеличить  $l$  и при необходимости несколько уменьшить  $w$ ). Продолжительность следующего периода оттайки должна определяться временем, в течение которого сохраняется примерно постоянная температура воды (колебания в 1–2 °C могут в расчет не приниматься). Этот период на оси времени обозначают отрезком  $3-4$ , продолжительность которого устанавливается в каждом конкретном случае, исходя из местных условий. Установив для этого периода средневзвешенную температуру воды  $t_2$  и приняв новые значения  $l_2$  и  $w_2$ , по формуле (4.1) определяют продолжительность работы  $T_2$  и откладывают ее по горизонтали от точки  $A$ . Полученный отрезок  $AC$  соответствует начальному времени выстойки игл нового периода оттайки.

7. Из точки  $4$  восстанавливают перпендикуляр по прямой  $O2$ , точку его пересечения с этой прямой обозначают буквой  $D$ . В точке  $4$  температура воды (по графику температур) заметно отличается от заложенной в расчет  $t_2$ , поскольку по условию выбор продолжительности нового периода был сделан, исходя из сохранения примерно постоянной температуры. Поэтому снова делают перерасчет по пересчетной формуле, считая  $t_{\text{расч}} = t_2$ , а  $t_{\phi}$  — фактическая температура в точке  $4$ . Полученное значение  $T_2'$  откладывают вправо от точки  $D$  и получают отрезок  $DE$ . То, что отрезок  $DE$  больше отрезка  $AC$ , свидетельствует о том, что температура воды снижается. Фигура  $ADEC$  показывает фактический ход оттайки за период  $3-4$ .

8. Поскольку температура снижается, для следующего периода оттайки необходимо уменьшить значение  $l$  и, возможно, несколько увеличить  $w$ . Заложив в формулу новые значения  $l_3$  и  $w_3$  и приняв средневзвешенную температуру за период  $4-5$  ( $t_3$ ), находят новое значение  $T_3$ , которое откладывают от точки  $D$  (отрезок  $DF$ ).

Таблица 4.6

Параметры оттайки по ее периодам

Период оттайки	Сроки работы $T$		Шаг оттайки $l$	Количество воды $w$
	в начале периода	в конце периода		
1	$T_1$	$T_1'$	$l_1$	$w_1$
2	$T_2$	$T_2'$	$l_2$	$w_2$
3	$T_3$	$T_K$	$l_3 (l_K)$	$w_3 (w_K)$

9. Необходимость в дальнейших пересчетах определяется интенсивностью снижения температуры воды. Обычно при составлении графика делают 3–4 пересчета, изменяя значения  $l$  и  $w$ . Наиболее экономичная работа может быть обеспечена, когда перерасчеты делаются, исходя из следующих изменений шага установки игл  $l_{\min} \rightarrow l_{\text{opt}} \rightarrow l_{\max} \rightarrow l_{\text{opt}} \rightarrow l_{\min}$ . Однако для этого необходимы пять пересчетов, что практически никогда не делается.

Если в течение последнего периода оттайки температура воды меняется достаточно плавно (в нашем примере сделано такое допущение), то можно ограничиться уже проведенными двумя пересчетами. При этом соединяют точку  $D$  с точкой  $2$  и точку  $F$  с точкой  $K$ . Полученная фигура  $D2KF$  покажет ход оттайки в последний ее период. При этом следует в расчет времени  $T_3$  по формуле (4.1) заложить значения  $l_3$  и  $w_3$  соответственно равные значениям  $l_K$  и  $w_K$ .

Для простоты контроля, полученные расчетами материалы целесообразно представить в виде (табл. 4.6).

В рассмотренном примере расчет несколько упрощен за счет того, что в нем предусмотрены только два пересчета.

График оттайки дает возможность:

1) определять время работы игл в любой период оттайки, оно всегда равно горизонтальному отрезку, соединяющему линию подключения игл  $O2$  с ломаной линией отключения водоснабжения игл  $IBECFK$ ;

2) определять число одновременно работающих игл также в любой период оттайки — оно всегда равно длине вертикального отрезка внутри графика, ограниченного с одной стороны ломаной  $DIBCEFK$ , с другой — прямой  $O2$ . На рис. 4.11 такими отрезками, например, являются  $ZA$  и  $BD$ ;

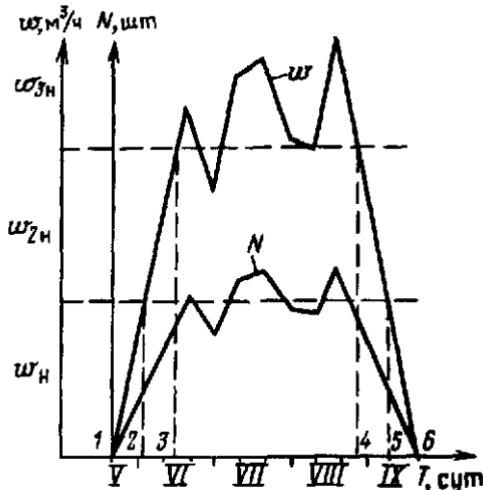
3) разбить все число игл, работающих в течение каждого периода на блоки оттайки, определив для каждого время подключения и отключения игл;

4) контролировать ход оттайки по каждому периоду и отдельному блоку;

5) зная расход воды и число работающих игл по периодам оттайки, построить график ее водоснабжения.

Рис. 4.12. График водоснабжения оттайки:

*I–6* – точки, соответствующие датам отключения и подключения насосов; *N* – число одновременно работающих игл; *w* – количество потребляемой воды; *w<sub>н</sub>* – производительность насоса (проекции пунктирных линий на горизонтальную ось – даты подключения и отключения насосов); V–IX – месяцы



Распространенная практика принятия постоянных параметров оттайки на весь ее срок не может быть признаком целесообразной – это то же самое, что и работа по теоретическому графику.

График водоснабжения строится на основе графика оттайки. По горизонтальной оси откладывают время так же, как и на графике оттайки. По вертикальной – число одновременно работающих игл, которое устанавливают на каждый момент оттайки, построив и измерив отрезок между линиями подключения и извлечения игл. Из соответствующих точек на горизонтальной оси графика вверх по вертикали откладывают в принятом масштабе число одновременно работающих игл и, соединив полученные точки, получают кривую *N* (рис. 4.12). В каждом случае число работающих игл умножают на соответствующий расход воды *w* из табл. 4.6 и получают кривую суммарного расхода воды *W* (рис. 4.12). Строят дополнительную вертикальную ось, на которой откладывают водопроизводительность используемых насосных установок. На рисунке пунктирными параллельными линиями показана водопроизводительность одной насосной установки *w<sub>н</sub>*, двух насосных установок *w<sub>2н</sub>* и т.д. Точки пересечения пунктирных линий с кривой *W*, спроектированные на шкалу времени, покажут даты подключения и отключения насосов в процессе оттайки для нормального ее водоснабжения. Таким образом, график водоснабжения дает возможность знать количество воды, необходимое в любой период оттайки, а также число и время работы отдельных насосных установок.

Расчет буровых работ. Все буровые работы должны быть закончены к сроку, указанному точкой 2 на графике (см. рис. 4.11). Полный метраж бурения для погружения всех игл

$$L_6 = N_{\text{общ}} H_6 = \frac{1,15S}{t^2 \cdot \text{ср}} H_6.$$

Если сменную производительность одного бурового станка обозначить  $L_{\text{см}}$ , то общее число буровых смен, необходимое для всего объема буровых работ  $n_{\text{см}} = L_6 / L_{\text{см}}$ .

Время бурения в летний период  $T_{\text{бл}} = T_{\text{общ}} - T_{\text{IV}}$ , где  $T_{\text{общ}}$  — продолжительность сезона оттайки.

Тогда возможное число станко-смен, соответствующее наличию станков  $T_{\text{ст}}$  на предприятии, определяется как

$$n_{\text{см.л}} = T_{\text{бл}} a N_{\text{ст}},$$

где  $a$  — число рабочих смен в сутки по принятому режиму работы.

Если  $n_{\text{см.л}} \geq n_{\text{см}}$ , то все бурение можно закончить в летний период, если же  $n_{\text{см.л}} < n_{\text{см}}$ , то часть буровых работ необходимо производить заранее в зимний период с консервацией игл. Объем зимнего бурения в этом случае определяется как

$$L_{\text{з.б}} = (n_{\text{см}} - n_{\text{см.л}}) L_{\text{см.з}},$$

где  $L_{\text{см.з}}$  — сменная производительность станка в зимнее время.

Необходимое число станков для завершения всех буровых работ в летний период можно определить из выражения

$$N'_{\text{ст}} = \frac{n_{\text{см.л}}}{T_{\text{бл}} \beta}.$$

Однако в этом расчете не учтены контрольные скважины. Число этих скважин (по 2 на блок оттайки)

$$n_{\text{к.с}} = \frac{2N_{\text{общ}}}{40}.$$

Общая длина скважин (объем бурения)

$$L_{\text{к.с}} = n_{\text{к.с}} (H_6 + 1,5).$$

Этот объем бурения необходимо добавить к общему объему бурения и в графике буровых работ предусмотреть бурение под контрольные иглы за 15–20 дней до начала оттайки в данном блоке.

Увязка работ по оттайке с добывчными работами. Увязка начинается с совмещения плана горных работ с планом работ по оттайке (рис. 4.13), для чего оттаиваемую площадь разбивают на блоки, которые должны покрыть всю площадь месторождения, предназначенную для разработки.

Все расчеты гидравлической сети и привязку к добывчным работам ведут от блоков оттайки (рис. 4.14). Одновременно все периоды оттай-

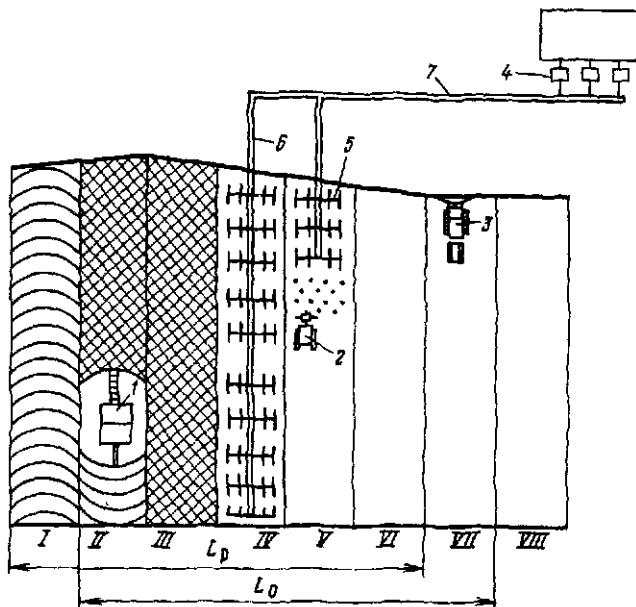


Рис. 4.13. Общая схема организации работ по оттайке при дражной разработке:  
I-VIII – заходки: I – отработанная; II – разрабатываемая драгой; III – оттайная;  
IV – в которой производят оттайку; V – в которой производят бурение  
и установку гидроиглы; VI – подготовленная к бурению; VII – в которой производят  
планировку поверхности; VIII – с удаленным растительным слоем.

1 – драга; 2 – буровой станок; 3 – бульдозер; 4 – насосные установки; 5 – магистральный водовод; 6 – главный распределитель; 7 – гребенчатый распределитель.

$L_p$  – длина участка россыпи, который будет отработан драгой;  $L_0$  – длина участка оттайки

ки на графике разбивают на блоки (рис. 4.15). Каждому блоку на плане горных работ должен соответствовать блок на графике оттайки.

**Расчет гидравлической сети.** Гидравлический расчет оттайки не отличается от обычных гидравлических расчетов, учитывающих потери напора в водных магистралях. Его ведут, начиная от самой удаленной (по отношению к насосной станции) действующей иглы. Считают, что потери напора в игле (вместе со шлангом от гребенчатого распределителя) не должны быть больше  $0,4H_{\text{от}}$ , где  $H_{\text{от}}$  – глубина оттайки. Для расчета принимают значение конечного напора у входа в иглу с учетом ее части, выступающей над поверхностью земли (1–1,2 м),  $h_k = (1 \div 1,5)H_i$ , где  $H_i$  – вся длина иглы.

Дальше по схеме водоснабжения и по таблицам потерь устанавливают потери во всех магистралях

$$h_{\Sigma} = h_h + h_m + h_{\text{гр}} + h_k + h_{\text{геод}},$$

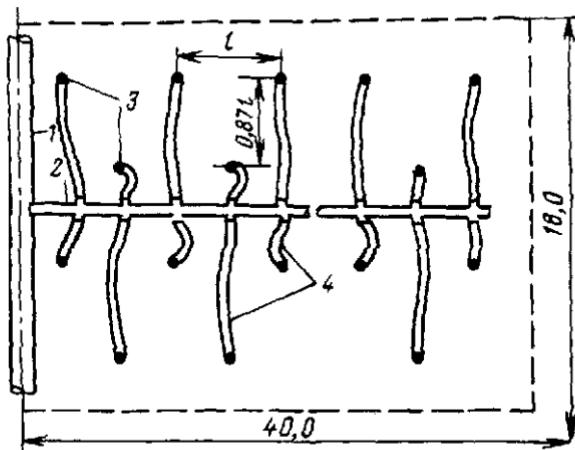


Рис. 4.14. Блок оттайки (гребенчатый распределитель со всеми относящимися к нему иглами):

1 – главный распределитель; 2 – гребенчатый распределитель; 3 – иглы

где  $h_n$  – потери напора в самой насосной установке;  $h_m$  – потери напора во всех магистралях вплоть до гребенчатого распределителя ( $h_{rp}$ ), зависящие от количества воды, проходящей по трубам;  $h_{geod}$  – разница в геодезических уровнях места установки насоса и крайней действующей иглы.

Зная  $h_{\Sigma}$  и  $W$ , устанавливают необходимый тип насосов и количество насосных установок.

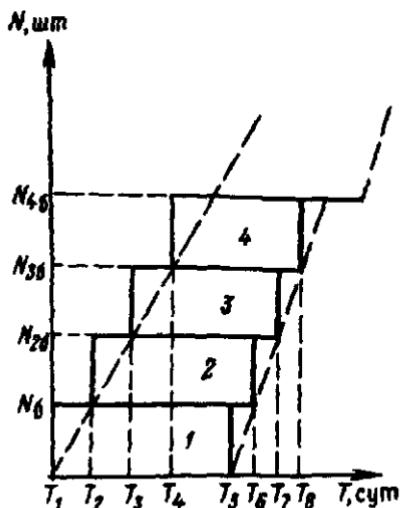


Рис. 4.15. Блоки оттайки (1–4), нанесенные на график оттайки.  
N – число работающих игл

**Экономические расчеты оттайки.** Высокая эффективность оттайки обеспечивается в первую очередь качеством проектирования, в процессе которого должны быть приняты оптимальные технологические и технические решения, и уровнем технологической дисциплины. Показатели эффективности — качество и сроки оттаивания и себестоимость работ.

Себестоимость оттайки определяется калькуляцией по статьям затрат: заработная плата, материалы, амортизация оборудования, текущий ремонт, электроэнергия и цеховые расходы.

Исходные данные для определения зарплаты: состав бригады, установленный режим работы, все коэффициенты и надбавки к зарплате, зависящие от географического расположения предприятия.

Ниже приведен примерный состав бригады оттайки в смену (слева) и в сутки (справа) при двухсменной работе.

1. Горный мастер . . . . .	1	2
2. Бурильщики (буровые мастера) . . . . .	$N_{ct}$	$2N_{ct}$
3. Буровые рабочие . . . . .	$N_{ct}/2$	$N_{ct}$
4. Электрослесари . . . . .	1	2
5. Мотористы насосной станции . . . . .	1	2
6. Слесарь водоснабжения . . . . .	0,5	1
7. Вспомогательные рабочие (подноска, извлечение, восстановление игл) . . . . .	2–3	4–6
8. Тракторист (перевозка, извлечение игл) . . . . .	0,5	1

Таким образом, в состав бригады должно входить 6–11 человек в смену или 12–16 человек в сутки ( $N_{ct}$  — число буровых станков, находящихся в работе). При автоматизированной насосной станции в составе бригады может не быть мотористов. Обязанности слесаря водоснабжения могут быть возложены на других членов бригады. Зарплата горного мастера в себестоимости не учитывается, она входит в состав цеховых расходов. В целом для условий Северо-Востока СССР в себестоимости оттайки зарплата составляет примерно 30 %.

**Материалы.** Оттаяка — весьма материалоемкая работа. В стоимости материалов учитывают: трубы из стали 30ХГС для изготовления игл, буровые коронки, армированные победитом (наиболее целесообразно применение коронок типа КВУБ-2), гибкие шланги для подключения игл (можно считать 7–9 м на каждую подключенную к сети иглу). Необходимо предусматривать многоразовое использование игл и буровых коронок. До полного выхода из строя каждая коронка КВУБ-2 должна пробурить 80–90 м скважин.

**Амортизация оборудования.** Расчет производится в соответствии с установленными нормами амортизации. Основное оборудование оттайки: буровые станки, насосные установки, водяные магистрали, оборудование для извлечения игл, станки для правки игл. Рекомендуется применять типовой комплект оборудования, входящий в состав комплекта ОВГ-250 или ОВГ-600.

**Электроэнергия.** Основные потребители электроэнергии — насосные установки и буровые станки. Кроме них необходимо учитывать

работу подогревателей воды для восстановления замерзших и законсервированных игл, работу станка для правки игл, освещение полигона оттайки и др.

**Текущий ремонт.** Расчет ведется в соответствии с принятными на данном производстве нормативами для оборудования, указанного выше.

Цеховые расходы составляют обычно 13–15 % от величины прямых затрат, определяемых калькуляцией.

**Примерная структура цеховой себестоимости оттайки, %:** зарплата – 30; материалы – 20; электроэнергия – 22; амортизация оборудования – 3,5; текущий ремонт и транспортные расходы – 10,5; цеховые расходы – 14.

**Графическое оформление проекта.** Ниже указано минимальное количество необходимой документации. При каких-либо отклонениях от средних условий, необходимость в дополнительных документах должна быть установлена в зависимости от конкретных обстоятельств.

1. План горных работ масштаба 1:1000 (предпочтительно) или 1:2000, на котором показана взаимовязька работ по оттайке и разработке месторождения, размещены блоки оттайки. Здесь же показывают расположение насосных станций, водяных магистралей, распределительных водоводов и общую схему водоснабжения оттайки. На плане должны быть нанесены горизонтали через 0,5 м. На водяных магистралях указываются длина и диаметр труб на каждом участке. В крупном масштабе (1:200) показывают сетку расстановки игл в блоке (фрагмент блока оттайки), отмечают точки установки контрольных игл.

2. Вертикальные разрезы. Их число зависит от изменчивости характеристик горных пород, слагающих россыпное месторождение. На разрезах должны быть указаны послойные коэффициенты фильтрации, значения льдистости мерзлых пород и их температура.

3. Графики или таблицы изменения температуры воды в течение сезона оттайки. Схема работы одиночной иглы, форма талика вокруг которой должна соответствовать послойным значениям коэффициентов фильтрации.

4. График оттайки с указанием начала и конца работ по каждому блоку и в целом оттайки.

5. График водоснабжения и работы насосной станции.

6. Календарный график работ по оттайке с разбивкой по блокам и указанием сроков бурения, установки, подключения, отключения и извлечения игл по каждому блоку.

#### 4.4. ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИГЛОВОЙ ОТТАЙКИ

Значение подготовки мерзлых пород к выемке в общем объеме разработки россыпных месторождений все время растет. Пока самый универсальный и надежный из всех способов такой подготовки – ИГО. Расширение масштабов применения мощных экскаваторов на вскрышных работах делает ИГО еще более необходимой. Поэтому проводятся серьез-

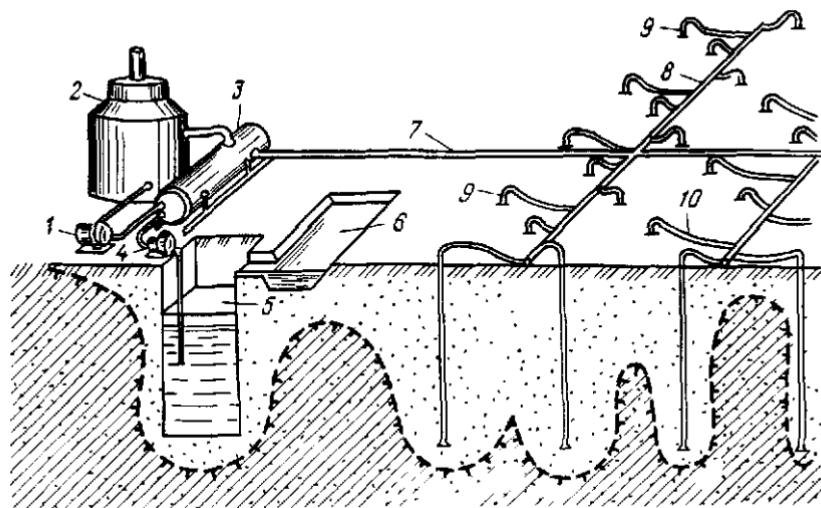


Рис. 4.16. Оттайка подогретой водой:

1 – насос теплообменника; 2 – нагреватель; 3 – теплообменник; 4 – насос охлажденной воды; 5 – приемный зумпф обратной воды; 6 – дренажная канава со сливом в зумпф; 7 – магистраль подогретой воды; 8 – гребенчатый распределитель; 9 – работающая игла; 10 – резинотканевый рукав

ные исследовательские и экспериментальные работы по повышению эффективности игловых оттаяек, стоимость которой в настоящее время достаточно высока и в зависимости от условий колеблется от 25 до 85 коп за 1 м<sup>3</sup> оттаянных пород. При этом с увеличением глубины разработки стоимость оттаяки может повышаться. Активная работа по совершенствованию ИГО ведется в Магаданском институте ВНИИ-1. Надо сказать, что изыскать новые способы оттаяки, которые бы были конкурентами ИГО пока не удается, и все результаты исследований сводятся в основном к некоторым совершенствованиям техники и технологии ИГО.

Заслуживают особого внимания отдельные направления исследований и экспериментальных работ.

**Игловая гидрооттайка с применением подогретой воды.** Существо такой оттаяки заключается в том, что вода, нагнетаемая в иглы, предварительно подогревается. Для этой цели используют электронагреватели или нагреватели, работающие на жидком топливе. Выбор типа нагревателя и топлива для него в данном случае весьма серьезный вопрос, поскольку более 50 % всех расходов на оттаяку составляют затраты на подогрев воды. Поэтому выбор в каждом конкретном случае должен быть сделан на основе экономических расчетов. Тем более, что при повышении температуры воды растут теплопотери.

Как уже сказано, при ИГО применения оборотной воды лучше избегать, однако в данном случае его приходится применять, поскольку в холодное время года (для которого главным образом и рекомендуется оттайка с подогревом воды) проточной воды может не быть. Вариант игловой оттайки с подогревом оборотной воды показан на рис. 4.16.

Хотя теплоотдача воды, нагнетаемой в иглы, зависит от ее температуры и снижается с ее повышением, тем не менее в определенных условиях оттайка с подогревом воды может быть экономически эффективной.

Это объясняется следующими обстоятельствами.

1. При использовании подогретой воды, в течение всего периода оттайки ее температура может быть практически одинаковой, поэтому не возникает необходимости в изменении параметров оттайки — шага установки, расхода воды. Это обстоятельство в значительной мере облегчает и удешевляет организацию работы.

2. Появляется возможность (при наличии воды) производить оттайку в холодное время года, что позволяет удлинить сезон работы оборудования оттайки и землеройной техники и более интенсивно подготавливать пески (горную массу) для разработки.

Опыт показал, что наиболее целесообразен подогрев воды до 30 °С. Более высокая температура не даст значительного ускорения оттаивания, но существенно повышает потери тепла.

Значительную роль в повышении стоимости оттайки, кроме подогрева, играет создание надежной теплоизоляции магистралей, по которым осуществляется подача подогретой воды.

Еще одним достаточно серьезным преимуществом данного способа оттайки является то, что он вполне может заменить игловую парооттайку сезонномерзлого слоя пород. По сравнению с паровой оттайкой этот способ обеспечивает большую безопасность работ и меньшую их стоимость. При этом промерзание поверхности пород можно предотвратить за счет укладки пенополистироловых щитов. Спой пенополистирола в 10 см уже достаточен, чтобы промерзание не превысило допустимой величины.

**Электрогидрооттайка.** Особые затруднения на горных предприятиях бывают связаны с необходимостью оттаивания мерзлых толщ значительной мощности, представленных чередующимися слоями водоупорных (глинистых) и водопроницаемых пород. В таких условиях ИГО становится малоэффективной и дорогой, но в то же время применение других способов оттайки исключено. Поэтому одно из направлений совершенствования ИГО применительно к указанным условиям — сочетание с электрическим оттаиванием.

Экспериментально установлено, что электрооттайка в первую очередь воздействует на глинистые породы (рис. 4.17), поэтому такое сочетание может быть в некоторых случаях весьма удачным. При этом увеличивается опасность травматизма и необходимо соблюдение самых строгих мер электробезопасности.

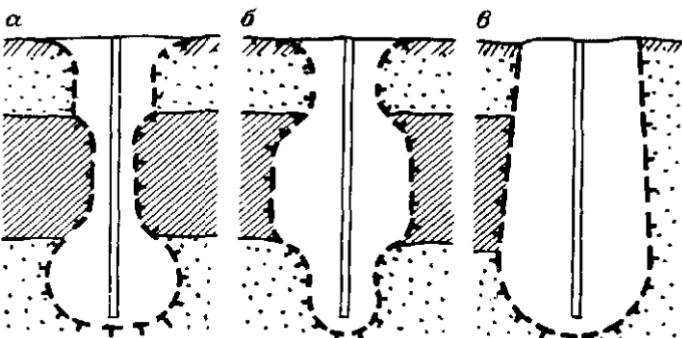


Рис. 4.17. Форма талика в породах, содержащих глинистую прослойку (заштрихована) при гидроигловой оттайке (а), электрооттайке (б) и комбинированной электро-гидравлической оттайке (в)

Электрогоидрооттаивание (рис. 4.18) предусматривает попаременное использование штанг из буровой стали в качестве гидроигл и электродов. Электропитание производят от отдельного трансформатора с изолированной нейтралью, током промышленного напряжения (380–400 В). Напряжение на иглу подается в холодное время года (март, апрель, май)

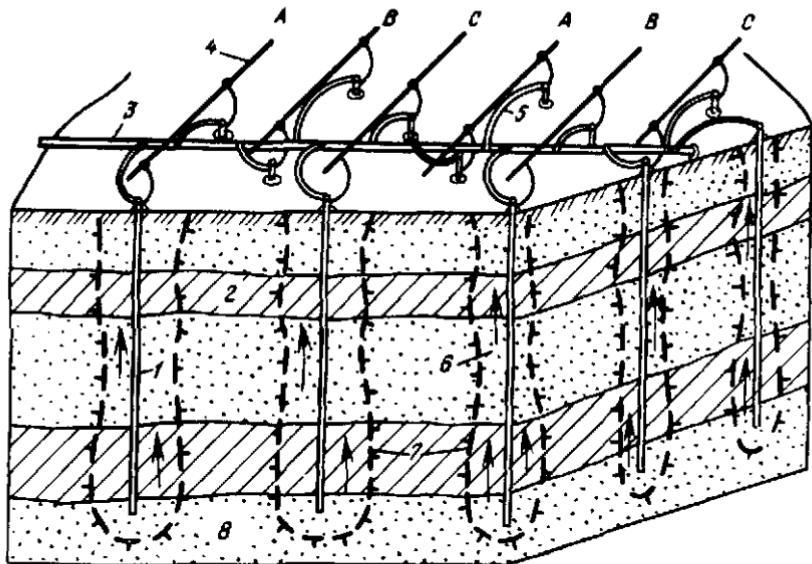


Рис. 4.18. Схема электрогоидрооттаивания мерзлых пород:  
1 – электрогоидроигла; 2 – прослойки глинистых пород; 3 – гребенчатый распределитель; 4 – вводы (A, B, C) трехфазной электролинии; 5 – резинотканевый рукав; 6 – направление фильтрации; 7 – граница оттаиваемой зоны; 8 – песчано-галечные породы

В это время прогреваются и оттаиваются глинистые слои. Летом (июнь, июль, август) в иглу подается вода.

Следует указать, что достаточно четкой и теоретически обоснованной технологии электрогоидрооттаивания пока не существует и ее создание следует рассматривать как одно из серьезных направлений совершенствования ИГО. Опыты, которые проводились сотрудниками ВНИИ-1 на р. Маракан, показали, что таким способом можно оттаивать слоистые породы при средней льдистости  $200 \text{ кг}/\text{м}^3$  на глубину до 30 м. Продолжительность оттаивания составляет в этом случае примерно 190 сут. Из них в течение 93 дней на иглы следует подавать только напряжение, а в остальные 97 — подачу воды сочетают с питанием электроэнергией.

Расчетный расход электроэнергии на оттайку 1 м<sup>3</sup> мерзлых пород составляет 22 кВч. Опыт показал, что 55 % всех затрат при этом составляют затраты на электроэнергию. Пока этот способ достаточно сложен и дорог и может быть рекомендован только на основе тщательного расчета.

В последние годы была предложена оттайка гидронглами с предварительным гидроразрывом толщи многолетнемерзлых пород. С этой целью первоначально в иглы (после их герметизации) при помощи специальных насосов высокого давления подается вода под давлением 10–20 МПа. Слоистая структура пород и наличие трещин, заполненных льдом, способствуют тому, что на значительной площади возникает гидроразрыв толщи мерзлых пород, т.е. на какой-то глубине образуется горизонтально ориентированная полость. Эта полость может находиться на разной глубине в зависимости от конкретной характеристики мерзлой толщи. Об образовании такой полости свидетельствует резкое падение давления воды, иногда даже некоторое вскипивание поверхности полигона. После образования полости в иглы начинают подачу воды под обычным давлением, которое необходимо для ИГО. Наличие полости, которая заполняется водой, способствует более интенсивной оттайке (за счет интенсивного теплообмена с мерзлыми породами и не только вокруг каждой отдельной иглы, но и в вертикальном направлении вверх и вниз от полости).

Этот способ оттайки пока не получил применения. Его технология значительно сложнее технологии обычной ИГО, кроме того необходимо достаточно дорогое оборудование для создания высоких давлений, приходится герметизировать устья скважин и т.д. Более удобен способ фильтрационно-дренажной оттайки с гидроразрывом, о чем будет сказано ниже.

Применение комбинированных способов оттайки также может рассматриваться как одно из направлений повышения эффективности ИГО (этот вопрос подробнее изложен в гл. 5).

Продление сезона оттайки может быть достигнуто за счет применения вместо воды солевых растворов различной концентрации (в зависимости от температуры воздуха и мерзлых пород). Однако пока такой

способ применяют только иногда для консервации отдельных игл, в которые на последней стадии бурения закачивают примерно по 20 л рассола. В гл. 5 рассмотрим применение рассолов для фильтрационно-дренажной оттайки (ФДО).

Для разупрочнения глинистых пород (в талом состоянии) иногда применяют специальные реагенты — плав хлоридов, полиакриламид и др. Вполне возможно, что в дальнейшем будет испытано и применение этих (или других) реагентов в составе воды, нагнетаемой в иглу. Во всяком случае поиски реагентов, которые способны ослаблять льдоцементные связи в мерзлых породах и разупрочнять глинистые породы, продолжаются.

В перспективе ИГО останется основным способом разупрочнения мерзлых пород и поэтому совершенствование ее техники и технологии должно уделяться самое серьезное внимание. Необходимы буровые станки более высокой производительности, но в то же время легкие и маневренные; необходимы простые и надежные средства контроля за работой каждой иглы; средства подогрева воды, обеспечивающие быстрый подогрев до умеренно высоких температур; должны широко применяться быстроразъемные комплекты труб для водоснабжения оттайки. В настоящее время существует технологическое оборудование для всех операций оттайки, однако производительность этого оборудования становится уже явно недостаточной. Кроме того, изготовление этого оборудования производится в малых количествах, главным образом на заводах Северо-Востока ССР. В составе оборудования для водоснабжения гидрооттайки (ОВГ) не предусмотрены совершенно необходимые краны, извлекатели игл, станки для выправления игл, приспособления для восстановления замерзших и консервированных игл и т.д.

В ряде случаев высказывались предложения об увеличении диаметра скважин под иглы до 50 мм и более. Однако этот вопрос пока достаточно не изучен, кроме того, необходимо учитывать неизбежный в этом случае рост мощности станков и увеличение расхода материалов.

Очень перспективной представляется замена металлических игл на иглы из синтетических материалов. Такие иглы можно погружать в скважины прямо из бухты, разматывая барабан (рис. 4.19).

Накоплен некоторый опыт применения ИГО с использованием полимерных труб, что дает основание несколько подробнее охарактеризовать технологию такой оттайки. Прежде всего следует упомянуть о том, что когда буровые работы производят одновременно с оттаиванием, то из общего (и без того короткого) сезона работ по оттайке теряется дополнительно еще 20–30 дней. Производство буровых работ летом часто затруднено из-за нехватки людей. В силу этих причин предварительное бурение считается перспективным с точки зрения повышения эффективности ИГО. Вместе с тем и замена металлических труб полимерными — тоже весьма прогрессивное мероприятие, позволяющее существенно удешевить и упростить всю работу. Поэтому сочетание этих двух направлений дает весьма ощутимый эффект.

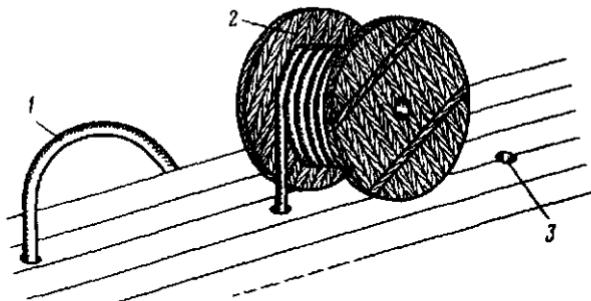


Рис. 4.19 Бухта синтетических труб, используемых вместо металлических гидроизгл:

1 — синтетическая труба, погруженная в сухую скважину; 2 — барабан с синтетическими трубами; 3 — пробуренная скважина

Скважины бурят в холодное время года с продувкой сжатым воздухом. В пробуренные скважины погружают полиэтиленовые трубы, затем их консервируют. Чтобы предотвратить попадание и замерзание воды из верхнего слоя пород, который начнет оттаивать, как только пригреет солнце, устье скважины обсаживают полиэтиленовой трубой большего диаметра, затем в скважине создают ледяную или льдогрунто-

Таблица 4.7

Средняя глубина оттаивания обнаженных пород (в м) под действием тепла солнечной радиации

Породы, их льдистость, кг/м <sup>3</sup>	Декады мая			Декады июня		
	1	2	3	1	2	3
Гравийно-галечни- никовые, 125	0,23	0,53	0,85	1,08 0,35	1,30 0,69	1,40 0,80
Гравийно-галечни- ковые, 250	0,21	0,42	0,63	0,84 0,26	1,05 0,51	1,15 0,65
Шебенистая супесь, 300	0,18	0,35	0,45	0,58 0,21	0,65 0,36	0,70 0,44
Суглинок оторفو- ванный, 600	0,09	0,18	0,26	0,36 0,11	0,40 0,22	0,44 0,30

П р и м е ч а н и я. 1. В числителе — глубина оттаивания в континентальных районах Северо-Востока СССР, в знаменателе — в полярных районах. 2. При отсутствии данных о льдистости можно руководствоваться значениями глубины оттаивания для льдистости 250 кг/м<sup>3</sup>.

вую пробку на глубине несколько превышающей глубину оттайки поверхностного слоя пород (см. рис. 4.9). После того как температура воды в водоеме достигнет 5 °С (конец мая – начало июня), все иглы, установленные в зимний период, подключаются к системе водоснабжения.

Глубина оттаивания галечников при снятом растительном слое в начале июня обычно составляет 0,81–1,15 м. Глубина, на которой должна создаваться ледяная или льдогрунтовая пробка, указана в табл. 4.7.

В качестве гидроигл применяют винилластовые трубы диаметром 25 мм с толщиной стенок 2,3 мм. Для обсадки при консервации используют трубы диаметром 40–50 мм, диаметр самой скважины составляет 56 мм.

Наблюдения показали, что бурение скважин следует начинать после полного промерзания сезонно протаивающего слоя (не ранее декабря) и заканчивать до того, как установится положительная среднесуточная температура воздуха. Подключение игл к источнику водоснабжения целесообразно производить в конце мая – начале июня.

Предварительное бурение скважин не рекомендуется в том случае, когда в россыпи присутствуют таликовые или сущевшковые включения.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Перечислить основные характеристики мерзлых пород, определяющие возможность и интенсивность игловой гидрооттайки.
2. Перечислить параметры оттайки и указать методы их определения или расчета.
3. Что такое расчетные параметры оттайки и как их определить?
4. Как производится расчет бурения при игловой гидрооттайке?
5. При заданном времени оттаивания 15, 20, 25, 30 сут и глубине оттайки 8 м подобрать шаг установки игл и расход воды на иглу. Задано: температура падающей воды 6 °С; льдистость пород 300 кг/м<sup>3</sup>. Проследить, как при изменении глубины оттайки (6, 8, 10, 12 м) и постоянном шаге установки меняется время оттаивания.
6. Составить проект игловой гидрооттайки дражного полигона в условиях Сусуманского района. Основные данные: объем перерабатываемых пород составляет 800 т·м<sup>3</sup>; объем входящего остатка оттаивших пород – 100 т·м<sup>3</sup>; сезон работы драги – с 25.IV до 25.XI; сезон работ по оттайке – с 20.V по 20.IX; буровые станки СДВВ-2 – 2 шт.; льдистость пород – 250 кг/м<sup>3</sup>; глубина оттайки – 8 м; породы – галечники с песчаным и супесчаным заполнителем. Все остальные данные подобрать по таблицам и справочным материалам.

## Глава 5

# ФИЛЬТРАЦИОННО-ДРЕНАЖНЫЕ СПОСОБЫ ОТТАЙКИ

### 5.1. ПИТАНИЕ И ДРЕНИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА

Отличительная особенность ФДО — распространение талика по вертикали и подача воды-теплоносителя в мерзлые породы без дополнительного напора — только под воздействием гравитационных сил. Иногда эти способы оттайки называют в силу такой особенности безнапорно-фильтрационными. О способах ФДО говорится во множественном числе, поскольку ее разновидностей довольно много и их разделяют по способам подачи воды (способам питания фильтрационного потока) и способам дренирования воды, отдавшей свое тепло мерзлым породам. Эти способы перечислены ниже.

Способы питания и дренирования фильтрационного потока.

1. Через дно и стенки канав. Этот способ применяется при относительно небольшой глубине оттаивания, ровном рельфе поверхности, наличии уклона.

2. Через поглощающие скважины или колодцы — рекомендуется для оттаивания на значительную глубину в течение двух-трех сезонов при неровном рельфе поверхности (рис. 5.1).

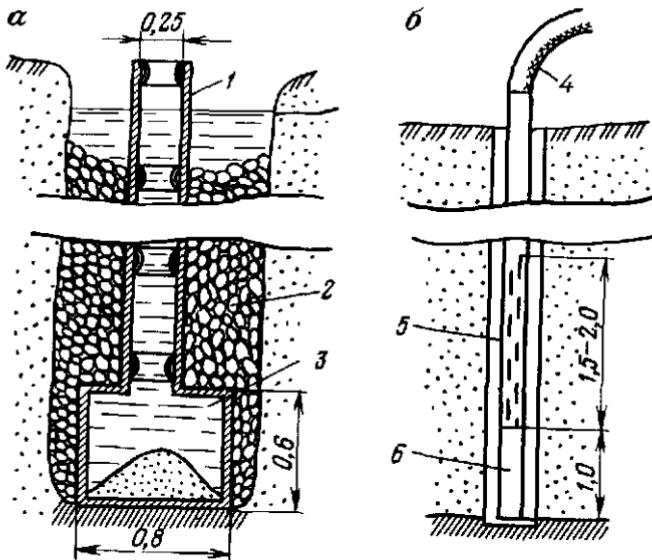


Рис. 5.1. Питающие колодец (а) и скважина (б) для фильтрационно-дренажной оттайки:  
1 — деревянный короб со щелями; 2 — галечная подсыпка; 3 — отстойный ящик;  
4 — патрубок к питающему водопроводу; 5 — перфорированная часть трубы;  
6 — глухая часть трубы. Размеры даны в м

**3. Дождеванием (орошением).** В этом случае дренирование осуществляется канавами. Способ целесообразен при весьма неровном, холмистом рельефе, для оттаивания отвалов.

Основной вариант ФДО — первый (его иногда называют канавным). Он наиболее прост и распространен (см. рис. 2.2). Главный его недостаток — небольшая глубина оттаивания (максимально 4–5 м за сезон). Другие варианты питания и дренирования были разработаны для того, чтобы устранить этот недостаток. Однако, за исключением дождевального питания они большого распространения на практике не получили.

Серьезным недостатком канавного варианта ФДО является то, что для ее успешного осуществления необходим достаточно ровный рельеф поверхности оттаиваемого участка. Если поверхность неровная, холмистая то, во-первых, проведение канав становится весьма трудоемкой работой, во-вторых, фильтрационный поток не получает доступа к ряду участков оттаиваемого массива. В этом случае более надежными становятся способы питания через колодцы и скважины, а при очень холмистом рельефе — дождевание.

Способы фильтрации и дренирования могут сочетаться в различных комбинациях. Именно это сочетание и определяет название варианта ФДО. Наиболее распространено (из-за своей простоты) дренирование канавами, однако вместо канав можно использовать естественные или искусственные понижения рельефа (овраги, старые выработки и т.д.).

Наиболее часто применяются сочетания, показанные на рис. 5.2. Вариант ФДО, при котором питание производится канавами (рис. 5.2, а), а дренирование канавами со свободным стоком или с откачкой, наиболее часто применяется для оттаивания значительных по площади участков с ровным, спокойным рельефом и уклоном не менее 0,05. Средний коэффициент фильтрации должен быть не менее 40 м/сут, минимальные коэффициенты фильтрации для отдельных слоев в вертикальном разрезе оттаиваемого массива — 10 м/сут. При уклоне 0,1 этот вариант можно применять и при среднем коэффициенте фильтрации 20 м/сут. Допускается наличие слоев слабопроницаемых пород мощностью не более 0,7–0,8 м.

Питание через поглощающие колодцы или скважины (рис. 5.2, б) с дренированием через колодцы и скважины с откачкой воды рекомендуется для организации многолетнего оттаивания на небольших площадях с неровным рельефом поверхности на значительную глубину.

Питание дождеванием (орошением) с дренированием при помощи канав (рис. 5.2, в) наиболее целесообразно при весьма неровной, холмистой поверхности, когда коэффициент фильтрации составляет не менее 50 м/сут. Этот вариант весьма удобен для оттайки мерзлых отвалов песков или пустых пород.

В тех случаях, когда вместо канав для дренирования используют

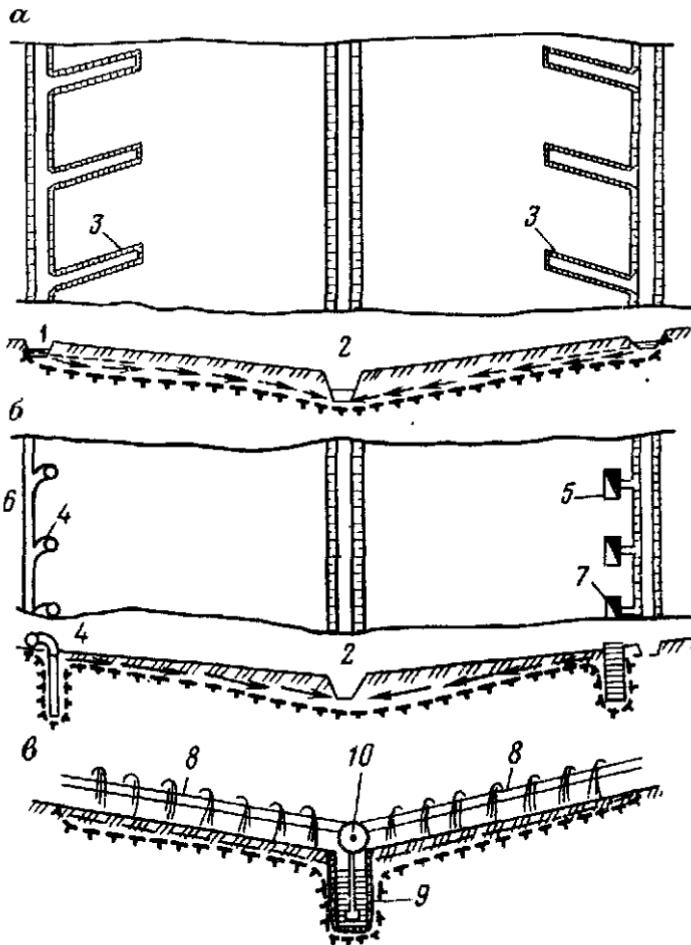


Рис. 5.2. Основные варианты фильтрационно-дренажной оттайки:  
 а – питание и дренирование при помощи канав; б – питание через скважины и колодцы; в – питание дождеванием, дренирование колодцами с использованием обратной воды.

1 – фильтрационные (питающие) канавы; 2 – дренирующая канава; 3 – туннельный ороситель; 4 – питающая скважина; 5 – питающий (поглощающий) колодец; 6 – трубопровод; 7 – канавка от питающей канавы к колодцу; 8 – распределитель; 9 – дренажный колодец; 10 – насос

естественные или искусственные понижения рельефа, то борт такого понижения, через который должно осуществляться дренирование, должен быть тщательно расчищен до галечников.

Питающие (оросительные) канавы целесообразно проводить при помощи бульдозеров по талому слою на поверхности оттапливаемого

участка. Глубина таких канав колеблется от 0,2 до 0,3 м (не более 0,7 м) при условии, что их дно находится в галечниках или других хорошо фильтрующих породах. Канавы систематически расчищают. Ширина канав по дну зависит от типа бульдозеров и обычно составляет 3,5–4 м. Поток воды в канаве (при любой ее глубине) по всей ширине фронта фильтрации должен быть не более 0,5 м. Если дебит воды источника излишен для питания оттайки, то необходимо предусмотреть строительство плотины со шлюзовым устройством, чтобы регулировать поступление воды в питающую канаву.

Дренирующие канавы делают более глубокими. Их можно проводить также по мере оттайки, но можно пройти сразу на всю глубину. Чтобы можно было начинать оттайку сразу с появлением воды, целесообразно дренирующие канавы проводить заранее, с использованием буровзрывного рыхления и небольших экскаваторов с оборудованием обратной лопаты. Ширина таких канав по дну рекомендуется в пределах 1,5–3,5 м, но не более.

Существуют понятия – полная и неполная глубина дренирования. Если глубина дренирующей выработки равна или больше глубины оттайки, то в этом случае глубина дренирования полная, если меньше – неполная. При глубине оттайки до 5 м достаточная глубина дренажных канав составляет 3 м, при оттайвании на глубину 6–7 м – 4 м, при больших глубинах – не менее 5 м. Считают, что минимальная глубина дренажной канавы должна быть не менее  $1/3 h_{\text{от}}$ . Большая глубина канавы всегда допустима, а меньшая – может существенно замедлить оттайку.

Для дренажных канав рекомендуется заложение откосов 1:1 до глубины 2,5 м, глубже – 1:1,25. Продольный уклон в сторону сброса воды должен составлять не менее 0,0005. В последние годы иногда рекомендуют недостаточную глубину дренажных канав компенсировать увеличением ширины питающих канав. Размеры поперечного сечения этих канав должны определяться расчетом в соответствии с расходом воды и фактическим уклоном.

Породу от проведения канавы рекомендуется не выкладывать в отвалы, а распланировать вдоль самой канавы с обеих сторон. Наиболее целесообразно систему дренажных канав проходить с учетом оттайки всего участка россыпи, подлежащего оттайванию в этом и в последующих годах.

Обычно стараются обеспечить самотечный сброс воды из дренажных канав. Если же это невозможно, то дренажные канавы необходимо оборудовать откачными насосными станциями или же пройти сборную канаву (коллектор), в которую принимать воду от всех действующих канав. В этом случае особенно важно создать сеть канал для всего срока оттайки участка.

В технической литературе встречаются рекомендации по целесообразной площасти поперечного сечения дренажных канав. Так, при

глубине оттайки до 4 м рекомендуемая площадь поперечного сечения — 25,2 м<sup>2</sup>, а при глубине 5 м — 37,5 м<sup>2</sup>.

Канавы, предназначенные для ФДО, ни в коем случае нельзя использовать для пропуска паводковых или отводов поверхностных вод. Для этих целей должны быть пройдены специальные канавы.

Когда вместо канав используют поглощающие колодцы и скважины, то необходимо эти выработки проводить с соблюдением определенных требований. Скважины и колодцы проводят рядами, каждый ряд заменяет питающую или дренажную канавы. Расстояние между выработками в ряду составляет 10–15 м. Скважины можно бурить при помощи любых станков, диаметр скважин 100–250 мм. Питающие скважины должны быть углублены в слой хорошо фильтрующих пород. Глубина дренажных канав на 1,5 м превышает заданную глубину оттайки. В скважину опускают трубу диаметром 75–200 мм, нижняя часть которой на расстоянии 1 м от конца перфорирована (длина перфорированной части 1,5–2 м), суммарная площадь отверстий должна составлять 5 % от поверхности всей перфорированной части.

Конец трубы должен выступать над поверхностью земли на 0,2 м и иметь устройство для присоединения питающего трубопровода (см. рис. 5.1, б). Подача воды в питающие скважины производится насосной установкой.

Поглощающие колодцы (см. рис. 5.1, а) проходят вручную диаметром 1,2 м. На дне колодца устанавливают отстойный ящик, поверх которого из досок сооружают короб со щелями. Короб доходит до устья колодца. Пространство между коробом и стенками колодца засыпают хорошо промытым галечником. Питание колодцев водой производят свободным наливом из канавы, пройденной параллельно ряду колодцев на расстоянии от него примерно 2 м. В этом случае основной работой в процессе оттаивания становится бурение скважин или проходка колодцев и их оборудование. Это довольно трудоемкая работа, которая сдерживает широкое применение данной разновидности ФДО.

Кроме того, скважины время от времени надо переключать на откачуку воды с тем, чтобы предохранить их от заиливания и кольматации. Для этих вариантов ФДО расстояния между рядами скважин (колодцев) и дренирующими выработками должно быть таким же, как и для канав (см. табл. 5.1). Обычно это расстояние принято называть длиной пути фильтрации  $l_{\Phi}$ . Длина участка фильтрационной канавы, на котором происходит фильтрация, называется фронтом фильтрации  $l_{\Phi\cdot\Phi}$ .

Как видно из рис. 5.2, а, для повышения интенсивности оттавания, кроме основных канав, иногда проходят тупиковые оросители. Их размеры и способ проведения такие же, как и для питающих канав, длина оросителей 20–25 м. Они проводятся от основных питающих

канав в сторону дренажных, но под некоторым углом в направлении уклона. Их задача — на первый период оттайки несколько сократить длину пути фильтрации и тем самым повысить интенсивность теплообмена. Поэтому тупиковые оросители рекомендуется проходить на начальной стадии оттаивания в тех случаях, когда коэффициент фильтрации оттаиваемых пород по своей величине близок к минимально допустимому для ФДО, т.е. около 50 м/сут.

Тупиковые оросители также необходимо периодически расчищать. Однако их глубина обычно не более 0,3–0,5 м, поэтому может оказаться более целесообразным вместо расчистки пройти новые канавы рядом с засыпанными.

Существенным недостатком канавного способа является то, что в зимнее время канавы становятся очагами глубокого промерзания. Под канавами, особенно под их углами талые породы зимой промерзают значительно глубже. Этот недостаток имеет значение в тех случаях, когда ФДО продолжается в течение двух и более лет.

## 5.2. ТЕХНОЛОГИЯ ФИЛЬТРАЦИОННО-ДРЕНАЖНОЙ ОТТАЙКИ

Технология ФДО во всех ее вариантах достаточно проста. Однако именно эта простота и приводит в ряде случаев к недостаточному вниманию к соблюдению обязательных технологических рекомендаций. Это снижает качество ФДО даже в условиях весьма для нее благоприятных, что в результате может привести и к отказу от ее применения. В настоящее время основная область применения ФДО — оттайка горной массы на дражных полигонах. Установлено, что она с успехом может применяться для экскаваторных работ и для создания запасов искусственных сушениц (см. гл. 6).

Как и для всех способов оттайки после выбора участка и определения схемы водоснабжения должен быть удален растительный слой, а также подстилающий слой мелкозема. Эти работы могут быть произведены заблаговременно — в предыдущем летнем сезоне. Если есть необходимость — разваловывают или удаляют отвалы, находящиеся на поверхности участка оттайки. Такая разваловка должна производиться на уже расчищенную поверхность.

После этого выбирают место для проведения дренажных выработок или изыскивают для этой цели старые выработки и понижения рельефа, борта которых, тщательно расчищают.

Следующий этап — создание системы водоснабжения и проведение питающих выработок. Источник водоснабжения должен обеспечить равномерное питание фильтрационного потока на весь период ФДО. Для предварительных расчетов можно задаваться расходом воды  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 м дренирующей выработки (на 1 м фронта фильтрации). При этом питание должно быть обеспечено на весь период оттайки (для средних условий Северо-Востока СССР с 1 июня по 10 сентябрь).

Таблица 5.1

Длина пути фильтрации в зависимости от водопроницаемости пород (от коэффициента фильтрации)

Коэффициент фильтрации, м/сут	Длина пути фильтрации, м	
	допустимая	рекомендуемая
50	30 - 70	30 - 40
100	40 - 100	50 - 60
200	40 - 100	50 - 80
400	50 - 100	60 - 100

тября). Питание чаще всего организуется самотечное — по системе водозаводных каналов. Если при этом есть избыточное количество воды, то должен быть шлюз, регулирующий питание. Если самотечное питание невозможно, то используют насосные установки и систему труб.

Важнейший элемент технологии — систематическая расчистка сети питающих каналов и оросителей. Фильтрационные каналы следует расчищать не реже, чем раз в 20 дней. Одновременно расчищаются (или проходят новые) тупиковые оросители. В дальнейшем необходим тщательный контроль за качеством дренирования и отводом воды из дренажных каналов. Расчистку дренажных каналов осуществляют по мере необходимости — жестких сроков для этого не установлено. В тех случаях, когда питание оттайки происходит через скважины или колодцы, оборудование насосной станции и монтаж магистралей с отводами к каждой скважине производится одновременно с бурением и оборудованием самих скважин.

Важнейший параметр канавной оттайки — расстояние между питающими и дренирующими каналами (длина пути фильтрации  $l_{\phi}$ ). Оно определяется расчетом в зависимости от среднего значения коэффициента фильтрации. Рекомендуемые значения  $l_{\phi}$  даны в табл. 5.1, минимальное значение пути фильтрации составляет 15 — 20 м.

Таким образом, для средних условий расстояние между питающими и дренажными каналами находится в пределах от 30 до 60 м. По табл. 5.1 можно принимать расстояния между рядами скважин или колодцев и дренирующими выработками.

Размеры поперечного сечения каналов указаны выше, однако в рекомендуемые размеры можно вносить корректировки в зависимости от типа машин, которые будут использованы при проведении выработок.

Контроль за ходом оттаивания может осуществляться при помощи тех же контрольных, или мерзлотомерных скважин. Контроль здесь облегчается тем, что оттайка происходит в вертикальном направлении (прирост талика всегда сверху вниз). Поэтому вместо скважин можно применять обычное зондирование, например, при помощи электровибратора, вертикальное электрозондирование и др.

Таблица 5.2

Глубина оттаивания галечно-гравелистых пород при фильтрационно-дренажной оттайке

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

Срок проведения оттайки может составлять от 1 до 2–3-летних сезонов. Наиболее целесообразно оттайку заканчивать за один сезон.

В табл. 5.2 приведены данные, показывающие возможную глубину оттаивания в условиях Восточной Сибири и Северо-Востока СССР при средней температуре воды около +10 °С.

Следует иметь в виду, что такие показатели могут быть достигнуты только при самом тщательном соблюдении всех требований к технологии. Кроме того, целесообразность проведения ФДО в течение двух и более сезонов всегда должна быть подтверждена технико-экономическим расчетом. Наиболее эффективной такая длительная работа может быть при вскрыших работах, когда весь оттаянный летом слой осенью удаляется (вскрывается). Если же он остается на месте, то мощность галого слоя за первый год должна быть больше мощности слоя сезонного промерзания. Кроме того, необходимо осушение галого слоя и его предохранение от промерзания зимой.

Технология ФДО с дождевальным питанием (с орошением) несколько отлична от указанной выше. Прежде всего в этом случае растительный слой и мелкозем должны быть удалены особенно тщательно, поскольку питание фильтрационного потока происходит с поверхности. В связи с тем, что ФДО с дождеванием применяют обычно при весьма неровном рельфе, вскрышиные работы могут быть достаточно трудоемкими. Особое значение в этом случае имеет установление возможности применения питания фильтрационного потока дождеванием (см. п. 5.3). Вскрышиные работы и проверку водопроницаемости пород наиболее целесообразно производить заблаговременно — в предыдущем летнем сезоне. Кроме того, оттайку дождеванием следует начинать как можно раньше — практически при первом появлении воды. Для подготовки поверхности надо своевременно удалить снежный

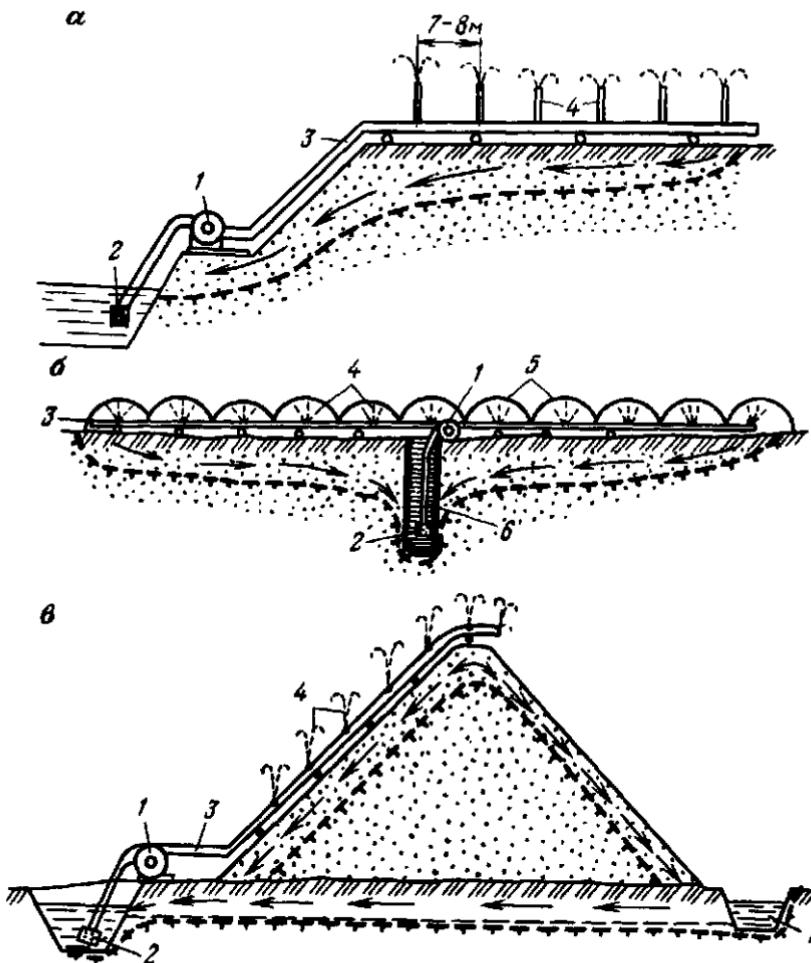


Рис. 5.3. Различные варианты дождевальной оттайки:  
 а – обычное дождевание с использованием понижения рельефа в качестве дренирующей выработки; б – дождевание под пленкой оборотной водой; в – дождевальная оттайка отвала мерзлых пород.

1 – насос; 2 – насос; 3 – трубопровод; 4 – дождевальные установки (брэзгала);  
 5 – пленка, натянутая на дугообразные опоры; 6 – приемный колодец; 7 – дренажная канава

покров. Поэтому зачернение снега или его уборка – обязательные элементы технологии дождевальной оттайки. Заблаговременно должна быть организована и система водоснабжения – установлен насос, смонтированы водяные магистрали, установлены разбрызгиватели.

При дождевальной оттайке (рис. 5.3) движение фильтрационного

потока обуславливается разностью уровней отдельных участков поверхности орошаемой площади. Рельеф поверхности может обеспечить фильтрационный поток без проведения специальных дренажных выработок. Однако это не всегда возможно. Поэтому проведение дренажных каналов целесообразно производить заранее даже с применением буроизрывного рыхления.

Преимуществом дождевального питания является то, что вода, проходя через поверхностный слой талых пород и нагретого воздуха, сама дополнительно прогревается. Чтобы в максимальной степени использовать это преимущество и одновременно сократить потери тепла на испарение, была предложена технология дождевания под пленочным покрытием. В этом случае дождевание производят под свето-прозрачной пленкой, натянутой на дугообразные опоры (см. рис. 5.3, б). Такие опоры могут изготавливаться из стальных труб диаметром 19–25 мм, стального прута или уголка 30х30 мм. Эта технология достаточно эффективна, однако пока широкого применения не нашла.

Дождевальное оттаивание может сочетаться с послойным удалением оттаявших пород. Для этого через определенные промежутки времени дождевание прекращают и возобновляют его после удаления талой породы. Вариант дождевальной оттайки с удалением оттаявшего слоя наиболее целесообразен в том случае, когда условия для проведения ФДО недостаточно благоприятны. Возможны два случая: 1) в массиве мерзлых пород сохранились открытые поры; 2) свободных пор нет, они заполнены льдом. Второй случай наименее благоприятен для проведения ФДО, поэтому здесь и может быть рекомендована оттайка с систематическим удалением оттаявшего слоя.

### 5.3. РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ДРЕНАЖНОЙ ОТТАЙКИ С КАНАВНЫМ ПИТАНИЕМ

Последовательность проектирования следующая.

1. Устанавливают применимость данного способа в конкретных горногеологических условиях, выбирают способы питания и дренирования фильтрационного потока. По условиям разработки определяют объемы оттаиваемых пород и необходимые сроки оттайки.

2. Выбирают источник водоснабжения, исходя из необходимости равномерного питания участка оттайки в течение всего ее срока. При этом для оттайки 1 м<sup>3</sup> мерзлых пород расходуется от 5 до 15 м<sup>3</sup> воды при средней ее температуре +5 °C. Чем больше листость оттаиваемых пород, тем большим должен быть и расход воды. Если обозначить объем пород, подлежащих оттайке  $V_{\text{от}}$ , то количество необходимой воды составит  $w = (5 \div 15) V_{\text{от}}$ . Следовательно среднесуточный расход воды должен быть  $w_{\text{сут}} = (5 \div 15) V_{\text{от}} / T$ , где  $T$  – продолжительность сезона оттайки, сут. Продолжительность сезона может быть установлена как время от даты прогрева воды до +5 °C до даты,

на которую она охладится ниже этой температуры.

3. Рассчитывают приток воды в дренажную выработку  $w_{\text{сут}}$  и сравнивают его с дебитом источника водоснабжения.

4. В соответствии со вредным коэффициентом фильтрации пород, подлежащих оттайке, по табл. 5.2 находят путь фильтрации (расстояние между питающими и дренирующими выработками, скважинами, колодцами и дренажными выработками).

5. Составляют проект вскрышных работ для участка оттайки, предусматривая снятие всех верхних слоев слабофильтрующих пород и обнажение галечников. Одновременно учитывают все необходимые работы по планировке поверхности и удалению старых отвалов. Наиболее целесообразно эти работы производить бульдозерами по мере естественной оттайки. Вполне возможно делать это заблаговременно — в предыдущем летнем сезоне.

6. Составляют план работ по оттайке. Возможный масштаб от 1:200 до 1:1000 (желательно выбрать наиболее крупный для данных условий). На плане должны быть нанесены горизонты поверхности, указано расположение всех выработок и сооружений системы водообеспечения, показаны все питающие и дренирующие выработки, система сброса воды из дренирующих выработок, отмечена очередность ввода в работу отдельных блоков оттайки (если весь участок разделен на блоки).

7. Составляют календарный график всех работ по оттайке.

Расчет ФДО производят обычно по приближенным формулам из-за сложности теплофизических процессов. При этом различают два варианта расчета, зависящие от обеспеченности водой для питания оттайки. Первый вариант предусматривает неограниченное (избыточное) питание фильтрационного потока на всем протяжении фронта фильтрации в течение периода работ. Как правило, в этом случае вода в питающие канавы (колодцы) заводится самотеком при помощи водозаводной канавы. При этом не исключено, что в системе питания должны быть предусмотрены ограничивающие устройства типа шлюзов.

Во втором варианте питание ограничено. Это может быть в том случае, когда дебит источника воды в районе горных работ недостаточен и воду дополнительно приходится закачивать в систему оттайки при помощи насосов и трубопроводов. Во втором варианте расчет питания должен быть составлен так, чтобы вода полностью расходовалась на длине участка фильтрации (по длине фронта фильтрации). Таким образом, расчеты должны быть начаты с установления режима питания участка оттайки, поскольку расчеты оттайки при различных режимах производятся по-разному.

Чтобы установить режим, определяют часовой дебит источника водоснабжения (средний за период оттайки) и делят его на длину фронта фильтрации, получая при этом величину возможного питания  $w_f$ ,  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{ч})$ . Эту величину сравнивают с расчетным притоком воды с

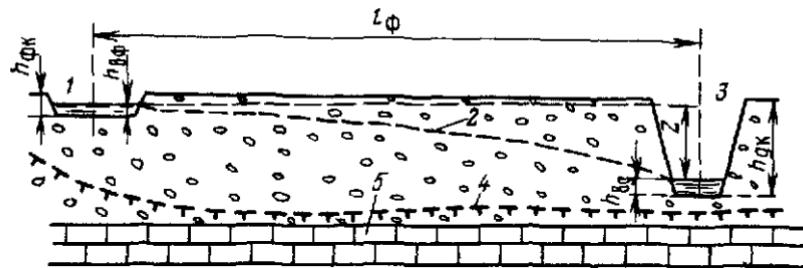


Рис. 5.4. Схема к расчету оттайки с канавным питанием:

1 — питательная канава; 2 — верхняя поверхность фильтрационного потока; 3 — дренажная канава; 4 — граница мерзлых пород; 5 — коренные породы.  
 $l_{\phi}$  — длина пути фильтрации;  $h_{\phi k}$  — глубина питающей канавы;  $h_{kcp}$  — глубина воды в питающей канаве;  $h_{dk}$  — глубина дренажной канавы;  $Z$  — глубина дренирования

1 м действующего борта дренажной канавы  $w_d$ , который находят по формуле

$$w_d = k_{\phi} \frac{H_{ot}^2 - H_d^2}{2 l_{\phi}}, \quad (5.1)$$

где  $k_{\phi}$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $H_{ot}$  и  $H_d$  — мощности водонасыщенного слоя соответственно около оросителя и дренирующей выработки, м;  $l_{\phi}$  — длина пути фильтрации, м.

В зависимости от соотношения глубины оттаивания  $h_{ot}$  и действующего напора  $Z$  задаются следующими значениями  $H_{ot}$  и  $H_d$ :

$$H_{ot} = h_{ot}; \quad H_d = \begin{cases} 0 & \text{при } h_{ot} \leq Z, \\ h_{ot} - Z & \text{при } h_{ot} > Z. \end{cases}$$

На схеме (рис. 5.4) представлены все исходные данные для расчета.

По мере увеличения глубины талых пород расход воды должен возрастать. Поэтому вполне вероятно, что при избыточном снабжении в начальный период оттайки, на каком-то этапе оттайка перейдет в режим ограниченного питания. Глубина, начиная с которой режим питания изменится, может быть определена из выражения

$$h = \sqrt{\frac{2 l_{\phi} w_{\phi}}{k_{\phi}}}, \quad \text{если } Z = h_{ot}$$

$$\text{или } h = \frac{l_{\phi} w_{\phi}}{k_{\phi} Z} + \frac{Z}{2}, \quad \text{если } Z < h_{ot}.$$

Как пользоваться этими формулами лучше показать на конкретном примере.

**Пример I.** Определить режим водоснабжения ФДО при следующих условиях: длина участка фильтрации  $l_{\text{Ф.Ф.}} = 100$  м; дебит источника  $w_{\text{И}} = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$ , длина пути фильтрации  $l_{\Phi} = 25$  м; коэффициент фильтрации  $k_{\Phi} = 3 \text{ м}/\text{ч}$ ; глубина дренирования  $Z = 3$  м; глубина оттайки  $h_{\text{от}} = 4$  м.

$$1. \text{ Определяем } w_{\Phi} = \frac{120}{100} = 1,2 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч}).$$

2. Находим необходимый приток воды в дренажной канаве по формуле (5.1), считая, что дреинирование одностороннее (происходит по одному борту канавы):

$$w_{\Delta} = 3 \left[ \frac{16 - (4 - 3)^2}{2 \cdot 2,5} \right] = 0,9 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

$w_{\Phi} > w_{\Delta}$ , следовательно режим питания избыточный.

3. Определим глубину оттайки, при которой режим питания изменится. По условию  $Z < h_{\text{от}}$ , поэтому  $h = \frac{25 \cdot 1,2}{3 \cdot 3} + \frac{3}{2} = 4,8 \text{ м}$ . Полученный результат

больше заданной глубины оттаивания (4 м), поэтому процесс постоянно будет происходить в режиме избыточного питания. Если бы режим питания изменялся, то дальнейший расчет должен быть раздельным: до глубины изменения режима — для избыточного и после этой глубины — для ограниченного питания. Расчет ФДО с избыточным питанием рекомендуется производить по формуле

$$\Delta h_{\text{от}} = K \frac{T t_{\text{в}}}{Q_{\text{уд}} l_{\Phi}} \sqrt{k_{\Phi} Z_{\Delta}}, \quad (5.2)$$

где  $\Delta h_{\text{от}}$  — прирост глубины оттайки за время  $T$ ;  $K$  — коэффициент, зависящий от принятой системы единиц ( $K = 209,2$ , если теплота измеряется в кДж,  $K = 58$  — если в кВт·ч);  $Z_{\Delta}$  — напор воды при выходе в дренажную канаву (см. рис. 5.4).

Поскольку глубина питающих канав невелика, а слой воды в них не более 0,3–0,4 м, то можно считать  $Z_{\Delta}$  равным разности отметок дна питающей и дна дренирующей канав, м.

Уровень воды в дренирующей канаве определяется весьма приближенно. Можно исходить из следующих соображений. Количество фильтрующей и дренируемой воды должно быть примерно одинаковым. Следовательно, уровни воды в фильтрационной и дренажной канавах должны быть обратно пропорциональны ширине этих каналов по дну. Такое рассуждение действительно при одностороннем дреинировании. Если же на одну дренажную приходится две фильтрационных канавы (двустороннее дреинирование), то уровень воды в дренажной удваивается. Это рассуждение действительно в том случае, когда уклоны каналов одинаковы. Если же они различны, то необходим расчет количества воды, протекающей по дренажной канаве.

**Пример II.** Определить глубину оттаивания мерзлых галечно- песчаных пород, имеющих коэффициент фильтрации 3 м/ч, которая будет достигнута за 60 сут ( $T = 1440$  ч) при средней температуре воды 11 °С. Расстояние между фильтрационной и дренажной канавами 60 м; глубина дренирования 3,5 м; льдистость пород 150 кг/м³. Режим питания — избыточный.

По табл. 3 устанавливаем удельную теплоту оттаивания в кДж/м³, при этом конечную температуру талых пород можно принять равной 5 °С:  $Q_{\text{уд}} = 70900 \text{ кДж}/\text{м}^3$ .

Подставляем значения в формулу (52):

$$\Delta h_{\text{от}} = 209,2 \frac{1440 \cdot 11}{70900 \cdot 60} \sqrt{3 \cdot 3,5} = 2,54 \text{ м}.$$

Пользуясь этой же формулой, можно определить не только глубину оттайки,

но и время (в ч), в течение которого эта глубина будет достигнута

$$T = \frac{\Delta h_{\text{от}} Q_{\text{уд}} l_{\Phi}}{K t_{\text{в}} \sqrt{k_{\Phi} Z_{\text{д}}}}.$$

Необходимо отметить, что на практике случаи, когда питание водой не ограничено, встречаются чаще всего.

**Расчет ФДО с ограниченным питанием.** В этом случае расчет времени оттаивания производят послойно, разбив предварительно всю мощность оттаиваемых пород на горизонтальные слои, в которых основные теплофизические характеристики мерзлых пород можно считать постоянными. Наиболее удобно мощность слоев принимать одинаковой, равной одному метру. Результаты послойного расчета затем суммируют. Мощность элементарного слоя оттайки обозначают  $\Delta h_{\text{от}}$ . Основная формула для расчета времени (в ч) оттайки одного слоя

$$T_i = 0,0048 \frac{\Delta h_{\text{от}} Q_{\text{уд}}}{t_{\text{в}}} \sqrt{\frac{H_i l_{\Phi}}{w_{\Phi}}} , \quad (5.3)$$

где  $H_i$  — средняя мощность фильтрационного потока в период увеличения глубины оттайки на  $\Delta h_{\text{от}}$ . Для определения  $H_i$  может быть использована формула

$$H_i = 0,5 [h_i - Z_{\text{д}} + \sqrt{(h_i - Z_{\text{д}})^2 + \frac{2 w_{\Phi} l_{\Phi}}{k_{\Phi}}}] , \quad (5.4)$$

где  $h_i$  — средняя за рассматриваемый промежуток времени глубина оттайки (например, если расчет ведется для слоя, залегающего на глубине от 3 до 4 м, то  $h_i = 3,5$  м).

**Пример.** Определить время, необходимое для оттаивания слоя мерзлых галечников с песчаным заполнителем общей мощностью 4 м. Всю эту мощность можно разделить на четыре слоя (рис. 5.5), в каждом из которых различны льдистость и коэффициент фильтрации. Мощность каждого слоя  $\Delta h_{\text{от}} = 1$  м, глубина дренирования  $Z_{\text{д}}$  равна заданной глубине оттайки  $H_{\text{от}}$ .

Если льдистость для каждого слоя различна, то различны будут и значения  $Q_{\text{уд}}$ . Эти значения находим по табл. 3. Если под рукой нет справочных материалов, то можно найти по формуле 1. Для расчета будем считать конечную температуру тальных пород 5 °С. Длина пути фильтрации  $l_{\Phi} = 50$  м, температура воды (средняя)  $t_{\text{в}} = 10$  °С. Значение  $Q_{\text{уд}}$  для первого слоя 36 350, для второго и третьего 70 920 и для четвертого 88 180 кДж/м³.

Определим значения  $w_{\text{д}}$  и  $H_i$  для первого слоя, используя формулы (5.1) и (5.4).

$$w_{1\text{д}} = 3 \frac{1 - 0}{2 \cdot 50} = 0,03 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч}) ; H_{1i} = 0,5 [0,5 - 4 + \sqrt{(0,5 - 4)^2 + \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 50}{3}}] = 0,07 \text{ м}$$

Поскольку глубина дренирования равна глубине оттайки, то  $h_{\text{от}} - Z_{\text{д}} = 0$

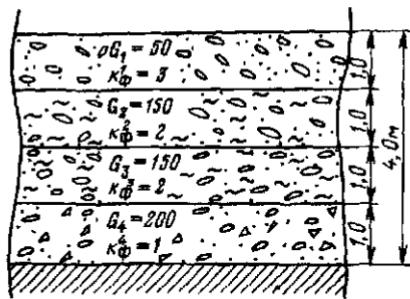


Рис. 5.5. Схема к расчету ФДО при слоистой структуре оттаиваемого массива.

$G$  — льдистость пород,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $k_\phi$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{ч}$

Подставляем полученные данные в формулу (5.3):

$$T_1 = 0,0048 \frac{1 \cdot 36380}{10} \sqrt{\frac{0,07 \cdot 50}{0,03}} = 188,6 \text{ ч.}$$

Такой же расчет производим для второго слоя:

$$\begin{aligned} w_{2\Delta} &= 2 \frac{4 - 0}{2 \cdot 50} = 0,08 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч}); H_{2i} = 0,5 [1,5 - 4 + \sqrt{(1,5 - 4)^2 + \frac{2 \cdot 0,08 \cdot 50}{2}}] = \\ &= 0,35 \text{ м}. \end{aligned}$$

$$\text{Отсюда } T_2 = 0,0048 \frac{1 \cdot 70920}{10} \sqrt{\frac{0,35 \cdot 50}{0,08}} = 503,5 \text{ ч.}$$

$$\text{Для третьего слоя } w_{3\Delta} = 2 \frac{9 - 0}{2 \cdot 50} = 0,18 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

$$H_{3i} = 0,5 [2,5 - 4 + \sqrt{(2,5 - 4)^2 + \frac{2 \cdot 0,18 \cdot 50}{2}}] = 0,925 \text{ м};$$

$$T_3 = 0,0048 \frac{1 \cdot 70920}{10} \sqrt{\frac{0,925 \cdot 50}{0,18}} = 545,6 \text{ ч.}$$

Для четвертого слоя:

$$w_{4\Delta} = 2 \frac{16 - 0}{2 \cdot 50} = 0,32 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч}); H_{4i} = 0,5 [3,5 - 4 + \sqrt{(3,5 - 4)^2 + \frac{2 \cdot 0,32 \cdot 50}{1}}] =$$

### Таблица 5.3

#### Итоговые результаты послойного расчета оттайки

Номер слоя	$G, \text{кг}/\text{м}^3$	$k_\phi, \text{м}/\text{ч}$	$Q_{уд}, \text{кДж}/\text{м}^3$	$w_\phi, \text{м}^2/\text{ч}$	$H_i, \text{м}$	$T, \text{ч}$
1	50	3	36350	0,03	0,07	188,6
2	150	2	70920	0,08	0,35	503,5
3	150	2	70920	0,18	0,925	545,6
4	200	1	88180	0,32	2,589	851,3
Итого:						2089

$$= 2,589 \text{ м; } T_4 = 0,0048 \frac{1 \cdot 88180}{10} \sqrt{\frac{2,589 \cdot 50}{0,32}} = 851,3 \text{ ч.}$$

Полученные результаты можно свести в табл. 5.3

Следовательно, для оттайки мерзлых галечников с песчаным заполнителем на глубину 4 м необходимо 2 089 ч или 87 сут. В расчетах не принималась во внимание величина  $\Delta h_{\text{от}}$ , поскольку было принято, что мощность каждого слоя равна 1 м.

#### 5.4. РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННО-ДРЕНАЖНОЙ ОТТАЙКИ С ДОЖДЕВАЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА

В настоящее время дождевальная оттайка рекомендуется в основном для оттаивания навалов (отвалов) мерзлых пород, а также узких целиковых площадей шириной до 40 м, примыкающих к старым открытым разработкам. Однако в дальнейшем можно рассчитывать и на более широкую область применения. В частности, дождевание под пленкой в начале теплого сезона может частично или полностью заменить оттайку сезоннопромерзшего слоя 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. Принято считать, что наиболее эффективно оттаяка может происходить, когда поры заполнены льдом не более чем на 60 %, т.е.

$$\frac{G}{\rho_l n} \leq 0,6,$$

где  $G$  – льдистость,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_l$  – плотность льда ( $920 \text{ кг}/\text{м}^3$ );  $n$  – пористость породы.

Водопроницаемостью в некоторых случаях могут обладать и мерзлые породы. Например, породы в отвалах и навалах, в целике, если его монолитность нарушена взрывными работами, наконец, просто в мерзлых породах, обладающих свободной пористостью. В этой связи при дождевальной оттайке выделяют два типа конвективного теплообмена. В первом – движение воды и конвективный теплообмен происходят только в талой зоне, в мерзлом состоянии порода полностью водонепроницаема. Во втором – породы обладают некоторой проницаемостью, в связи с чем конвективный теплообмен происходит и в мерзлом массиве. Поэтому перед расчетом необходимо определить, какой тип теплообмена будет иметь место в конкретном случае.

Практика показывает, что существуют такие сочетания температуры, пористости и льдистости мерзлых пород, при которых они становятся практически полностью непроницаемыми для воды. В таких условиях (табл. 5.4) применение дождевальной оттайки менее эффективно.

Если температура пород при указанных льдистости и пористости

Таблица 5.4

Критические температуры мерзлых пород, при которых они становятся практически водонепроницаемы

Льдистость, кг/м <sup>3</sup>	Критические температуры (в °С) при пористости пород			
	0,22	0,25	0,30	0,35
140	-5,3	-9,6	-17,3	-25,9
160	-2,2	-6,0	-13,3	-21,4
200	-	-	-5,9	-13,2
250	-	-	-	-3,8

равна или ниже указанной в табл. 5.4, то породы водонепроницаемы. Условия для дождевальной оттайки неблагоприятны.

Пористость пород можно определить по формуле

$$n = \left[ 1 - \frac{\rho_{cp}}{\rho_n(1 + W)} \right],$$

где  $\rho_{cp}$  — средняя плотность породы в мерзлом состоянии, для расчетов можно принимать  $\rho_{cp} = 2100\text{--}2300$  кг/м<sup>3</sup>;  $W$  — влажность породы, доли ед.;  $\rho_n$  — плотность скелета породы (можно считать  $\rho_n = 2600\text{--}2700$  кг/м<sup>3</sup>).

По заданной влажности можно определить льдистость лороды в кг/м<sup>3</sup>. Для этой цели рекомендуется формула

$$G = \rho_{cp} \left( \frac{W}{1 + W} \right).$$

Зная льдистость, можно установить объем льда, находящегося в порах породы:  $V_l = 0,00109 G$ .

Как уже указывалось, если объем льда в порах больше 0,6  $n$ , то условия для проведения ФДО с дождевальным питанием недостаточно благоприятны и этот способ можно применять только при больших значениях коэффициента фильтрации.

Очень важно для дождевального орошения правильное определение нормы полива — количества воды, которое необходимо разбрьязгивать на одном квадратном метре площади оттайки в единицу времени. Когда оттайку приходится производить в породах практически не обладающих водопроницаемостью в мерзлом состоянии, то норму полива  $w_o$  задают в размере 0,02–0,1 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · ч). Для водонепроницаемых мерзлых пород  $w_o = 0,08\text{--}0,1$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · ч).

Норму полива рекомендуется менять в зависимости от коэффициента фильтрации. При  $k_f = 2$  м/ч  $w_o = 0,02\text{--}0,04$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · ч), при  $k_f = 5$  м/ч  $w_o = 0,05\text{--}0,07$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> · ч и при  $k_f = 10$  м/ч  $w_o = 0,1$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · ч).

При определении температуры воды, подаваемой на орошение, следует учитывать ее дополнительный прогрев в верхнем слое талых по-

род. Приближенная формула для определения окончательной температуры воды, проникающей в мерзлую породу,

$$t_0 = \frac{q_0 + 1000 w_0 t_b}{a + 1000 w_0}, \quad (5.5)$$

где  $a$  и  $q_0$  — параметры, значения которых принимают по табл. 3.2;  $w_0$  — норма полива,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $t_b$  — температура воды в трубах водоподводящей сети,  $^{\circ}\text{C}$ .

Дополнительный прогрев воды можно определить и из выражения

$$\Delta t = \frac{q_0 - a t_b}{a + 1000 w_0}, \quad (5.5, a)$$

тогда  $t_0 = t_b + \Delta t$ .

При теплообмене первого типа (фильтрация только в талой зоне) время оттаивания может быть определено по формуле

$$T = \frac{Q_{уд} h_{от}}{k_t c_{ов} t_0 w_0}, \quad (5.6)$$

где  $k_t$  — коэффициент использования тепла, который для расчетов принимают равным 0,2–0,3.

Удельная теплота оттаивания определяется для случая, когда  $t_k = t_0$ .

Для теплообмена второго типа (фильтрация происходит и в мерзлой зоне) расчетная формула имеет несколько иной вид

$$T = \frac{Q_{уд}}{t_0} \left( a \frac{R^2}{6 \lambda_t} + b \frac{l_\Phi}{c_{ов} w_0} \right), \quad (5.7)$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты, значения которых приведены ниже;  $R$  — средний радиус мерзлого взорванного куска или частицы скелета (для породы в массиве), м;  $l_\Phi$  — длина пути фильтрации (для пород в отвалах или навалах она принимается равной их высоте), м;  $\lambda_t$  — коэффициент теплопроводности; значения  $Q_{уд}$ ,  $\lambda_t$  и  $c_{ов}$  принимают в любой системе единиц.

Рекомендуемые значения коэффициентов  $a$  и  $b$ : 1) для взорванных массивов и отвалов зимней вскрыши  $a = 1$ ,  $b$  равно значению относительной пустотности (трещиноватости); 2) для проницаемых пород естественного залегания или выложенных в отвал  $a = \frac{1}{1 - n + G/\rho_n}$ ,  $b = 1$ .

**Пример I.** Определить время, необходимое для дождевальной оттайки отвала торфов высотой 6 м при лынистости  $260 \text{ кг}/\text{м}^3$  и пористости 30 % (0,3);  $k_\Phi = 5 \text{ м}/\text{ч}$ ;  $t_b = 7,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{пор} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Время проведения работ — июль. Район с умеренно суровым климатом.

$$1. \text{Производят оценку степени заполнения пор льдом } \frac{G}{\rho_{\text{л}} n} = \frac{260}{920 \cdot 0,3} = 0,9,$$

что значительно больше 0,6, значит в мерзлом состоянии породы водонепроницаемы.

2. Устанавливают норму полива. В соответствии с ранее сделанными рекомендациями она составит  $w_0 = 0,005 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Одновременно необходимо задаться значением коэффициента использования тепла. В расчет можно принять  $k_t = 0,3$ .

3. По табл. 3.2 подбирают значения  $q_0$  и  $a$ ;  $q_0 = 460$ ,  $a = 31,9$ . Затем находят фактическую температуру воды по формуле (5.5):

$$t_0 = \frac{460 + 1000 \cdot 0,05 \cdot 7,5}{31,9 + 1000 \cdot 0,05} = 10,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

4. По табл. 3 интерполяцией находят значение  $Q_{\text{уд}}$  при  $t_k = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это значение можно определить и по формуле (1). Искомая величина  $Q_{\text{уд}} = 120708 \text{ кДж/м}^3$ ; удельная объемная теплоемкость воды  $c_{\text{ов}} = 4184 \text{ кДж/}(\text{м}^3 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C})$ .

5. Подставляют все значения в формулу 5.6:

$$T = \frac{120708 \cdot 6}{0,3 \cdot 4184 \cdot 0,05 \cdot 10,2} = 1131,3 \text{ ч или } 47 \text{ сут.}$$

*Пример II.* Необходимо определить время, затрачиваемое на дождевальную оттайку отвала высотой  $H_{\text{от}} = 11,5 \text{ м}$ , сложенного гравийно-галечными породами со средним (условным) радиусом куска  $R = 0,03 \text{ м}$ , имеющим пористость  $n = 0,35$ ; коэффициент фильтрации  $k_{\Phi} = 6 \text{ м/ч}$ ; льдистость  $G = 180 \text{ кг/м}^3$ ; температура воды в трубах  $t_B = 8,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_t = 5,02 \text{ кДж/(м} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C)}$ ; температура мерзлых пород  $t_{\text{пор}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

1. Устанавливают тип теплообмена:  $\frac{G}{\rho_{\text{л}} n} = \frac{180}{917 \cdot 0,35} = 0,56 (< 0,6)$ .

Следовательно теплообмен второго типа — породы водонепроницаемы в мерзлом состоянии.

2. Подбирают норму полива (принимаем среднее из рекомендуемых значений  $w_0 = 0,06 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ).

3. Определяют величину дополнительного нагрева воды  $\Delta t$  по формуле (5.5, а):

$$\Delta t = \frac{460 - 31,9 - 8,5}{31,9 + 1000 \cdot 0,06} = 2,05 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Значения  $q_0$  и  $a$  такие же, как и в предыдущем примере;  $t_0 = t_B + \Delta t = 8,5 + 2,05 = 10,55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

4. По формуле (1) или интерполяцией по табл. 3 определяют

$$Q_{\text{уд}} = 85554 \text{ кДж/м}^3.$$

5. Находят значения  $a$  и  $b$ :

$$a = \frac{1}{1 - 0,35 + \frac{180}{920}} = 1,18; \quad b = 1.$$

6. По формуле (5.7) вычисляют время, необходимое для оттаивания отвала:

$$T = \frac{85554}{10,55} \left( 1,18 - \frac{0,03^2}{6 \cdot 5,02} + 1 \frac{11,5}{4184 \cdot 0,06} \right) = 372 \text{ ч (16 сут.)}$$

Здесь значение  $l_{\Phi}$  принято равным высоте отвала  $H_{\text{от}}$  (11,5 м).

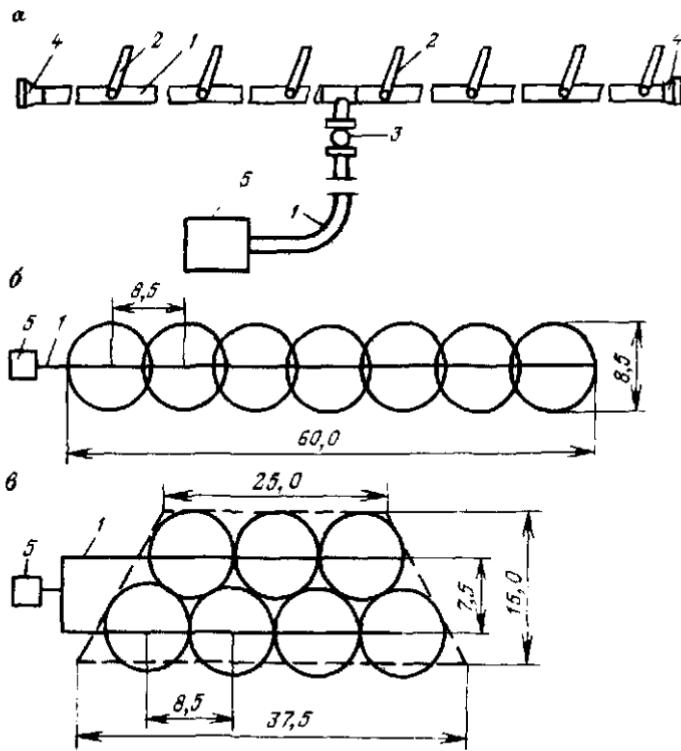


Рис. 5.6. Схема установки "Дождь-50":

*a* – общий вид; *б и в* – компоновка дождевальных установок в один и два ряда.  
1 – трубопровод; 2 – дождевальные устройства ДД-30; 3 – задвижка; 4 – концевые части трубопровода (заглушки); 5 – насосная установка. Размеры даны в м

Сопоставляя результаты расчета в примерах I и II, видим, что во втором оттаивание происходит значительно интенсивнее. Это результат более активного теплообмена в водопроницаемых породах.

В последние годы несколько пересмотрен вопрос о дополнительном прогреве капель воды, проходящих через атмосферный воздух. Считалось, что источниками дополнительного прогрева воды при дождевании являются нагретый атмосферный воздух и уже во вторую очередь – талый слой пород, через который просачивается вода. Исходя из такого представления была создана техника орошения (дождевания) – установка УДФО-1-2000. В такой установке работает большое число форсунок с небольшим радиусом действия (3–6 м), а частицы разбрызгиваемой воды очень малы.

Однако сегодня многие специалисты склонны считать, что нагрев за счет температуры окружающего воздуха незначителен и не имеет практического значения – почти все тепло (дополнительное) частицы

воды получают в верхнем прогретом слое талых пород. Отсюда изменился и подход к созданию специальных установок. Оттала необходимость измельчения частиц воды, появилась возможность резко увеличить радиус действия дождевальных устройств. Стало возможным существенно снизить затраты на дождевальную оттайку.

Одна из установок нового типа "Дождь-50" показана на рис. 5.6. Она предназначена для оттайки отвалов высотой до 12 м и пород в целике. Интенсивность оттайки — до 25–50 см/сут. Одна установка за сезон может оттаивать до 150 тыс. м<sup>3</sup> мерзлых пород на площади от 15 до 50 тыс. м<sup>2</sup>. Дальность полета струи — до 50 м. В установке использованы специальные дождевальные аппараты ДД-30 с диаметрами насадок 26, 30, 34 мм. Одна установка оснащена 7 дождевальными аппаратами, которые могут располагаться в один и в два ряда. Расход воды одним аппаратом ДД-30 зависит от диаметра насадки и напора в сети, его определяют по формуле  $w_{ap} = \mu s \sqrt{2g H}$ , где  $\mu$  — коэффициент расхода, равный 0,95;  $s$  — площадь поперечного сечения отверстия насадки, м<sup>2</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  — напор воды у наконечника.

Радиус орошения находят по формуле

$$R_o = 1,55 k H \left(1 - \frac{0,95 H}{4,9 + H}\right) \sqrt{1000 d},$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий затраты кинетической энергии струи на вращение турбины и аппарата, равный 0,75;  $d$  — диаметр насадки, м.

Объем оттаянных за сутки пород

$$V_{ot} = \frac{24 w t k_i c_v \rho_b}{Q_{ud}},$$

где  $w$  — расход воды через все аппараты, м<sup>3</sup>/ч;  $t$  — температура воды дождевания, °С;  $k_i$  — коэффициент использования тепла воды (0,5–0,75);  $c_v$  — удельная теплоемкость воды, МДж/(м<sup>3</sup> · °С);  $\rho_b$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_{ud}$  — удельная теплота оттаивания: МДж/м<sup>3</sup>.

## 5.5. ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ФИЛЬРАЦИОННО-ДРЕНАЖНОЙ ОТТАЙКИ

Работы по совершенствованию ФДО проводятся в двух основных направлениях.

I. Искусственное повышение водопроницаемости мерзлого массива. С этой целью, как и при ИГО, предложено взрывогидравлическое оттаивание. Оно может осуществляться в двух вариантах. В первом варианте за счет взрывания скважин, размещенных по поверхности оттаиваемого участка по разреженной сетке, обеспечивается трешиноватость всего массива пород (рис. 5.7).

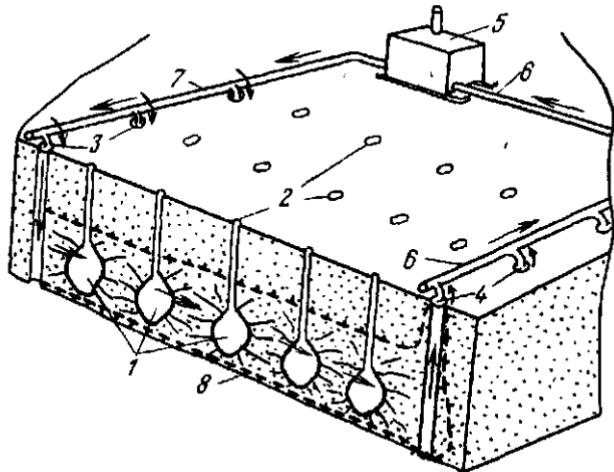


Рис. 5.7. Фильтрационно-дренажная оттайка с предварительным созданием искусственной зоны проницаемости в мерзлых породах:

1 – камуфлетные заряды; 2 – взрывные скважины, в которых взорваны камуфлетные заряды, образовавшие зону трещин (проницаемости); 3 – питающие скважины; 4 – дренирующие скважины; 5 – подогреватель воды; 6 – трубопровод воды из дренажных скважин (отработанной); 7 – трубопровод воды к питающим скважинам; 8 – граница талых пород. Стрелками показано направление движения воды

Во втором варианте скважины располагают рядами, расстояние между которыми 12–15 м, а между скважинами в ряду – 2,5–3 м. Заряд скважин, как и в первом случае, рассчитывают так, чтобы только "встряхнуть" массив. В результате взрыва скважин получают первоначальные зоны трещиноватости, которые представляют собой очаги интенсивного оттаивания.

Такое оттаивание может производиться и в зимнее время с использованием подогретой воды. Питание и дренирование фильтрационного потока должно в этих случаях происходить через скважины. Расстояние между питающими и дренирующими скважинами 25–30 м. При создании зон водопроницаемости ряды взрывных скважин ориентируют в направлении от питающих к дренирующим.

По существу, это уже не фильтрационно-дренажная, а комбинированная оттайка, однако возникновение и развитие таликовых зон за пределами начальных трещиноватых зон происходит по вертикали, как и при ФДО. Опыт показывает, что себестоимость оттайки при взрывном рыхлении значительно возрастает и приближается к стоимости ИГО.

С этой точки зрения первый вариант более близок к ФДО, поскольку создание системы трещин сразу во всем массиве позволяет осу-

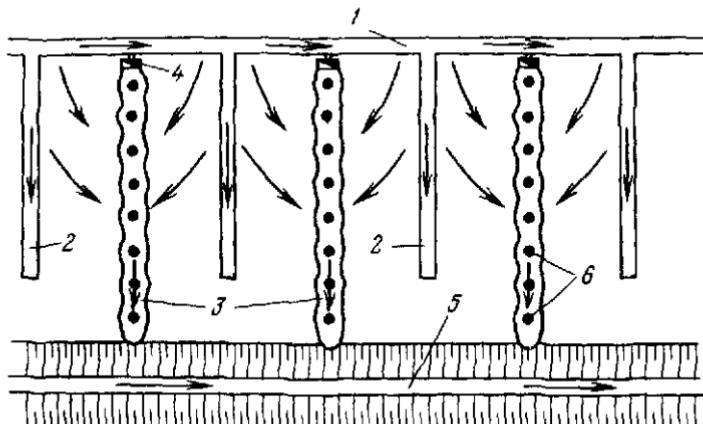


Рис. 5.8. Комбинированная фильтрационно-дренажная оттайка с созданием первоначальных зон проницаемости при помощи гидроигловой оттайки:  
1 – питающая канава; 2 – таликовые оросители; 3 – зоны проницаемости, образовавшиеся в результате работы игл; 4 – поглощающие (питающие) колодцы; 5 – дренажная канава; 6 – гидроиглы. Стрелками показано направление фильтрационного потока

ществлять питание и дренирование фильтрационного потока любым из существующих способов.

Возможно создание первоначальных зон активной фильтрации за счет сочетания приемов ИГО и ФДО. В этом случае при помощи игловой оттайки создают талые зоны от питающей до дренажной выработки. В дальнейшем оттаивание происходит одновременно по всей площади и от этих зон (рис. 5.8). В этом случае рекомендуется первоначальные зоны фильтрации создавать шириной  $B = 2 \div 4$  м на всю глубину оттайки  $h_{\text{от}}$ . Расстояние между соседними первоначальными зонами определяют из соотношения  $l = 1,5 h_{\text{от}} + B$ .

Проводились опыты оттайки с предварительным гидоразрывом. При этом в специальные скважины с герметизированным устьем под высоким давлением (10–15 МПа) закачивалась вода до тех пор, пока не происходит разрыв массива мерзлых пород. Такой разрыв (рис. 5.9) обычно происходит по горизонтальным трещинам, заполненным льдом. О его появлении свидетельствует резкое падение давления в сети, иногда происходит некоторое вспучивание поверхности. После этого в те же скважины нагнетают воду, однако сам процесс оттаивания происходит как при ФДО – талик распространяется по вертикали, причем одновременно вверх и вниз от трещины гидоразрыва. Одновременно приемами обычной ФДО можно производить и оттаивание от поверхности мерзлого массива.

Таким образом, все указанные выше приемы интенсификации оттайки основаны на комбинированном использовании различных ее

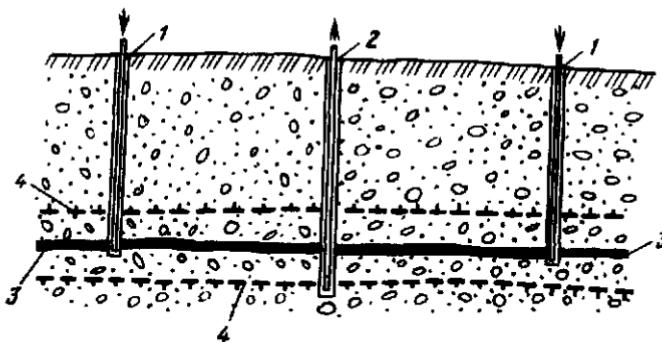


Рис. 5.9 Фильтрационно-дренажная оттайка с созданием полости гидроразрыва  
 1 – питающая скважина; 2 – дренирующая скважина; 3 – полость (трещина) гидроразрыва; 4 – граница талых пород

способов. Их общий недостаток – значительное усложнение ФДО и соответственно – повышение ее стоимости. Именно поэтому большинство комбинированных вариантов проверялись только в процессе промышленных испытаний, широкого промышленного применения они не нашли. Сегодня их можно рекомендовать в тех случаях, когда оттайку производят на сравнительно небольших участках, там где не имеет смысла организация ИГО, но нужно интенсивное оттаивание.

Для повышения эффективности дождевальной оттайки, как уже указывалось, рекомендуется дождевание под пленкой. Этот вариант удобен также на сравнительно небольших площадях, например, при оттайке мерзлых отвалов.

Специально для оттаивания отвалов разработан и предложен иглофильтрационный способ оттайки (ИФО). Он также представляет собой сочетание приемов ИГО и ФДО и рекомендуется для применения в тех случаях, когда необходимо оттаивать породы, содержащие большое количество пылевато-глинистых частиц. Особенность отвалов, сложенных подобным материалом, заключается в том, что в мерзлом состоянии их водопроницаемость существенно больше чем в талом. Оттаивание производят при помощи игл, которые погружают в отвал до глубины на 1–1,5 м выше основания отвала. Поскольку водопроницаемость породы в отвале достаточно велика, вода, выходящая из иглы не поднимается вверх, а растекается в стороны и вниз (рис. 5.10). После того как породы нижнего слоя оттают и уплотняются под влиянием толщи вышележащих пород, они теряют первоначальную водопроницаемость. Иглы поднимают на следующие 1–1,5 м и оттаивают следующий слой. Таким образом оттаивание происходит параллельными слоями снизу вверх до тех пор пока талик не достигнет поверхности отвала.

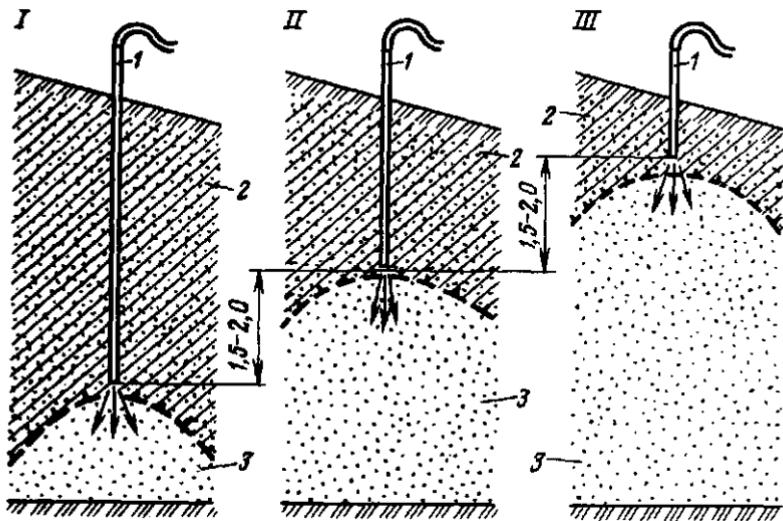


Рис. 5.10. Оттайка мерзлых пород в отвале комбинированным способом:  
1 – водяная труба (игла); 2 – мерзлые породы; 3 – талые породы. I, II, III – этапы оттаивания

Для оттаивания отвалов институтом ВНИИ-1 создана специальная установка УДФО-1-2000, которая позволяет оттаивать отвал высотой до 10 м объемом до 20 тыс. м<sup>3</sup>. Гидронглы устанавливают вручную при одновременной подаче в них воды. Иглы снабжены зажимами, которые могут фиксировать их положение на любой заданной глубине.

Расчет времени оттайки может быть произведен по формуле

$$T = \frac{Q_{уд} V_{от}}{k_p k_t c_v \rho_v w_o t_o}, \quad (5.8)$$

где  $V_{от}$  – объем оттаиваемых пород;  $k_p$  – коэффициент разрыхления, обычно принимаемый равным 1,25–1,30;  $k_t$  – коэффициент использования тепла, который может быть принят равным 0,75–0,80;  $w_o$  – расход воды на одну иглу, м<sup>3</sup>/ч;  $t_o$  – начальная температура воды, подаваемой в иглы, °С. В этой формуле значения  $Q_{уд}$  и  $c_v$  в Вт · ч.

Расчет ведется отдельно для каждого оттаиваемого слоя.

II. Другое направление повышения эффективности ФДО – применение подогретой воды. С этой целью может быть использована площадь зеркала воды во всех отстойниках, водохранилищах, канавах. При значительной длине водоподводящих трубопроводов целесообразно их окрашивать в черный цвет. Могут широко применяться пленочные покрытия участков оттайки, а также поверхности водохранилищ и канав.

В некоторых случаях (также как и при ИГО) может быть применен искусственный подогрев воды до 30–50 °С. При этом наиболее целесообразно создание замкнутой системы водооборота с использованием оборотной воды. В противном случае очень много тепла будет потеряно со сточными водами. Применение подогретой воды чаще всего имеет смысл при проведении оттайки в холодное время года. Питание при этом необходимо осуществлять по скважинам, нагнетая в них подогретую воду.

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Перечислить все разновидности ФДО и указать области и условия их применения.
2. Указать преимущества и недостатки ФДО по сравнению с ИГО.
3. Как определить нормы полива (орошения) при дождевальном оттаивании?
4. Определить длину пути фильтрации и режим водоснабжения оттайки при следующих условиях: ширина участка ФДО – 60 м; дебит источника воды 45 м<sup>3</sup>/ч; коэффициент фильтрации 2,5 м/ч; заданная глубина оттаивания 4,4 м; глубина дrenирования 3,5 м.
5. Определить время, необходимое для оттаивания на глубину 3 м при избыточном режиме питания: коэффициент фильтрации 4 м/ч; температура воды 8 °С; льдистость пород 190 кг/м<sup>3</sup>; разность уровней у выхода в дренажную канаву 2,5 м. Проследить зависимость времени оттайки от льдистости пород при прочих постоянных условиях.
6. Составить рабочий проект ФДО с канавным питанием и дренированием для условий четвертого задания. На плане должны быть нанесены все выработки и указаны их размеры.

## Глава 6

### **ЗИМНИЕ СПОСОБЫ ОТТАЙКИ**

#### **6.1. ПОНЯТИЕ, ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Зимними принято называть такие способы оттайки, которые могут производиться в холодный зимний период, когда использование в качестве теплоносителя воды сильно затруднено тем, что большинство водотоков и водоемов промерзают на всю глубину, а подача воды из глубоких водоемов затруднена необходимостью надежной теплоизоляции труб, которая должна предохранять от промерзания воду при температурах воздуха минус 50–60 °С. В большинстве случаев в это время использование воды невозможно. Когда же такая возможность существует, необходимы очень значительные затраты труда и материалов на теплоизоляцию. Кроме того, вода должна быть подогрета, поскольку при температуре +5 – +6 °С она, поступив в иглы или даже проникнув в мерзлый массив, быст-

ро замерзнет. Все остальные источники тепла (теплоносители) обходятся гораздо дороже воды.

Возникает вопрос: какова необходимость применения зимней оттайки? Действительно, на горных работах в больших объемах зимнюю оттайку, т.е. такую, которую необходимо производить в самые холодные месяцы (декабрь–февраль), как правило, не производят. Ее организуют в марте–апреле, когда температура воздуха значительно выше (не ниже минус 25–40 °С). Необходимость в зимней оттайке обусловливается тем, что в течение зимы поверхность отаянных прошлым летом пород промерзает на значительную глубину. Мероприятия по предохранению от промерзания обходятся очень дорого и полного предохранения не обеспечивают. Чтобы как можно раньше начать работу драги или комплекса землеройной техники, необходимы талые породы на всю глубину разработки, следовательно, сезоннопромерзший слой должен быть снова оттаян. Для этой цели, в основном, и используют зимнюю оттайку.

Необходимость в оттайке может возникнуть и в других случаях, например, при проведении канав и траншей в зимнее время, для проходки котлованов и т.д. Иногда появляется необходимость в конце сезона работ срочно дооттаять какой-либо участок, чтобы продлить работу осенью. Во всех этих случаях приходится прибегать к зимним способам оттайки. Как ясно из сказанного выше, эти способы всегда трудоемки и дороги, поэтому их применение допустимо только в небольших объемах. Так, для драги среднего типа (емкость черпака 250 л) объем зимней оттайки чаще всего составляет 20–40 тыс. м<sup>3</sup> в год при общем объеме перерабатываемой, а следовательно и отаянной горной массы 800–1000 тыс. м<sup>3</sup>.

Кроме большой трудоемкости зимние способы оттайки отличаются еще и повышенной опасностью. Действительно, здесь приходится иметь дело чаще всего с паром, находящимся под давлением, либо с электрической энергией.

## 6.2. ИГЛОВЫЕ СПОСОБЫ ЗИМНЕЙ ОТТАЙКИ

Общие сведения об этих способах были приведены в табл. 2.1–2.2, поэтому, не повторяя их, остановимся несколько подробнее на самой технологии работ. До последних лет наиболее распространенным способом зимней оттайки при дражной разработке была паровая иглооттайка (рис. 6.1), при которой снабжение игл паром осуществлялось от парового котла драги. В последние годы ее все более вытесняет игловая оттайка подогретой водой, которая более безопасна. При паровой оттайке иглы первоначально устанавливают в неглубокие (0,8–1 м) скважины и по мере оттайки постепенно осаживают до заданной глубины.

Для паровой оттайки используют пар под давлением  $(3 \div 5) \cdot 10^5$  Па, который по утепленному паропроводу от котла подается к иглам. Длина

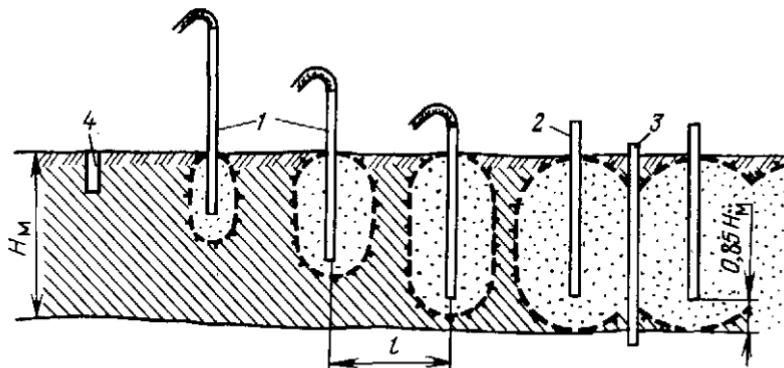


Рис. 6.1. Действие паровых игл:

1 — паровые иглы в процессе погружения; 2 — паровая игла, погруженная на полную глубину и отключенная от источника пара; 3 — контрольная (мерзлотомерная) игла; 4 — короткая скважина, в которую будет установлена новая игла.  $l$  — шаг установки игл;  $H_m$  — заданная глубина оттайки;  $0,15 H_m$  — минимальный разрыв между глубиной оттайки и глубиной погружения паровых игл

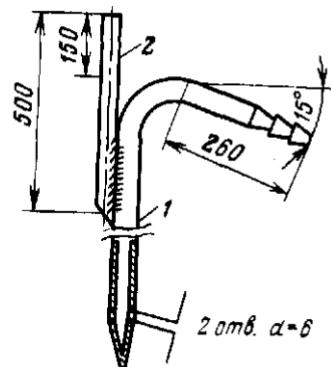


Рис. 6.2. Устройство паровой иглы (1) для погружения ударами по приваренной к ней наковальне (2). Размеры даны в мм

паропровода не должна превышать 300 м и обычно находится в интервале 100–300 м. От паропровода по резинотканевым теплоизолированным рукавам (шлангам) пар подают в иглы. На участке оттайки действует от 40 до 70 паровых игл. Подбирая необходимую мощность парового котла или определяя возможное число игл в одновременной работе, считают, что на каждую действующую иглу должно приходиться  $1,4 \text{ м}^2$  площади нагрева котла.

Паровая игла (рис. 6.2) имеет длину от 3 до 4,5 м и изготавливается из целого отрезка пустотелой буровой стали У-7 наружным диаметром 28–32 мм. Канал иглы при этом имеет диаметр 9–12 мм. Иногда иглы изготавливают из бесшовной стальной трубы диаметром 34 мм. Нижний конец иглы представляет собой заостренный наконечник с отверстием

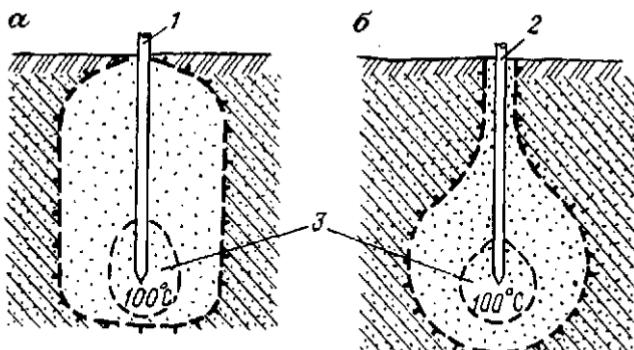


Рис. 6.3. Формы талника, образующегося при различных способах погружения паровых игл:

*α* – при постепенном погружении (вibrationием или ударами); *б* – при разомкновенном погружении из всю глубину.

1 и 2 – паровые иглы; 3 – область "перегрева", образующаяся у выхода пара из иглы

для выхода пара. Иглы устанавливают на расстоянии 2,5–3,5 м друг от друга в зависимости от мощности мерзлого слоя. При этом в глинистых породах шаг установки принимают минимальным. Точки погружения игл должны находиться в вершинах треугольников так же, как и при игловой гидрооттайке. Одна игла обеспечивает обычно оттаивание от 20 до 50 м<sup>3</sup> сезонномерзлых пород.

Паровое оттаивание сезонномерзлого слоя необходимо в каждом случае проектировать на основании данных мерзлотно-гидрогеологической разведки, с учетом конкретных производственно-технических условий. Удельные затраты пара на оттаивание обычно составляют (с учетом потерь) 50–80 кг/м<sup>3</sup> при удельной теплоте оттаивания пород 95÷125 МДж/м<sup>3</sup> (25÷35 кВт·ч/м<sup>3</sup>).

В системе трубопроводов и шлангов, а также в зазоре между породой и иглой теряется до 40 % начального количества тепла, содержащегося в паре. Продолжительность работы паровой иглы составляет от 20 до 70 ч, в зависимости от состава пород и энергоемкости их оттаивания.

Во время работы пар, выходящий из наконечника, образует в породах вокруг него перегретую область с температурой 100–111 °С; в этой области пар вытесняет воду из пор и трещин (рис. 6.3).

Образовавшаяся область перегретых пород ограничена изотермической поверхностью 100 °С – фронтом конденсации пара. Температура пород в окружающей талой зоне понижается по направлению к ее внешней границе – фронту оттаивания пород, постоянно сохраняющей температуру 0 °С. По этой изотермической поверхности происходит полезное расходование тепла на плавление льда. Полный цикл оттайки включает: 20–40 ч – осадка иглы под паром; 40–70 ч – подача пара; 5–10 сут – остывание.

После окончания подачи пара, окружающие иглу перегретые талые породы в течение 5–10 сут интенсивно остывают, отдавая тепло на оттаивание остатков мерзлых пород у границы талой зоны, между неполностью сомкнувшимися таликами смежных игл. В это же время часть остаточного тепла теряется за пределы оттаиваемого слоя, в атмосферу и в нижележащую толщу.

Однако потери в атмосферу практически имеют значение на тех участках, где оттаивание производилось в конце марта или начале апреля и окончено за 1–2 мес до момента начала разработки. На таких участках необходимо на 30–40 % увеличить норму подачи пара, по сравнению с указанной.

Паровые иглы можно погружать постепенной посадкой – ударами кувалды по мере протаивания пород под наконечником. Эта операция (посадка игл) обычно продолжается 20–40 ч. Постепенная посадка возможна также при помощи электромеханических вибраторов. Однако в этом случае необходимо самое строгое соблюдение всех правил безопасности труда, поскольку поверхность полигона парооттайки всегда покрыта слоем воды.

На рис. 6.3 показана форма таликов, образующаяся в результате постепенного погружения игл. Предельной глубиной посадки иглы считают  $0,85H$ , где  $H$  – мощность мерзлого слоя. Расстояние между смежными иглами в среднем должно быть равно  $0,75H$ .

Форма искусственного талика при разовой посадке иглы в предварительно пробуренную скважину показан на рис. 6.3. Из рисунка видно, что постепенное погружение в данном случае более целесообразно.

Если мерзлый слой представлен песком, гравием или галькой, насыщенными льдом, погружение паровых игл сразу на большую глубину может привести к уносу тепла горизонтальным фильтрационным потоком в нижележащем общем талом слое.

При наровом оттаивании суглинков и пылеватых супесей продолжительность работы иглы увеличивают в полтора–два раза, а расход пара на одну иглу уменьшают, вводя в работу одновременно большое количество игл.

Пласт льдонасыщенного торфа в сезонномерзлом слое замедляет оттаивание в радиальном направлении в несколько раз, по сравнению с галечником, и требует более продолжительного времени работы иглы под паром.

В галечниках, гравии и крупном песке, где тепло переносится по талой зоне конвективным путем, расход пара  $q_{ii}$  на одну иглу можно принимать  $15 \div 20$  кг/ч, в глинистых породах –  $8 \div 15$  кг/ч, варьируя его в зависимости от мощности мерзлого слоя.

Общий расход пара через одну иглу  $P_{ii}$  кг за период ее работы  $T_{ii}$ , ч определяют в зависимости от энергоемкости оттаивания пород  $Q_{уд}$ , МДж/м<sup>3</sup>, установленной по данным мерзлотной разведки или расчетом с учетом объема мерзлых пород  $V_{ii}$ , м<sup>3</sup>, приходящегося на одну иглу:

$$P_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{уд}} V_{\text{и}}}{L_{\text{п}}},$$

где  $L_{\text{п}}$  — удельная теплота парообразования,  $L_{\text{п}} \approx 2,25 \text{ МДж/кг}$ . Отсюда находят продолжительность работы иглы  $T_{\text{п}} = P_{\text{п}}/q_{\text{п}}$ .

Число одновременно действующих паровых игл  $N_{\text{и}}$  зависит от производительности парового котла  $P_{\text{к}}$ , кт/ч:  $N_{\text{и}} = P_{\text{к}}/q_{\text{п}}$ .

Затраты угля на всю работу по оттаиванию определяются по теплотворной способности сжигаемого угля (МДж/кг), умноженной на коэффициент использования тепла, принимаемый для парооттайки на дражных полигонах равным 0,5. Обычно на 1 м<sup>3</sup> оттаинных пород расходуется 7–12 кг угля. Отработавшие паровые иглы необходимо извлекать и погружать в новых точках. Для извлечения паровых игл пользуются рычагом (вагой) длиной 2,5 м.

Магистральный паропровод изготавливают из стальных труб диаметром 75 мм, соединенных в звенья длиной 6 м. Соединение звеньев фланцевое. Трубы покрываются термоизоляцией. Распределительные трубопроводы снабжают отводами с вентилями и штуцерами для присоединения паропроводных шлангов.

Погружение паровых игл путем периодического вибрирования с помощью переносного вибратора или посредством ударов кувалдой по хвостовику, приваренному к верхнему концу иглы (см. рис. 6.2), производят периодически, с перерывами 20–30 мин для протаивания породы под наконечником. За каждый прием осаживания иглы погружают на 0,2–0,4 м.

Необходим постоянный контроль за давлением пара в магистральном трубопроводе. При недостаточном давлении пар не в состоянии преодолеть гидростатическое давление воды в оттаинной породе и тогда у нижнего конца иглы образуется водяная пробка, затем игла охлаждается и только конденсирует пар, прекратив нормальную работу.

На участке оттаивания, в точках, расположенных на 20–25 м друг от друга, необходимо заранее установить мерзлотомерные иглы, по которым ведется наблюдение за оттаиванием.

При парооттайке необходимо строго соблюдать следующие правила безопасности.

1. К работам по парооттайке имеют допуск лица, прошедшие специальную подготовку и хорошо знакомые с правилами безопасности.

2. Запрещается переносить трубы, находящиеся под давлением пара, ставить или снимать вентили, манометры и заглушки, присоединять или снимать шланги, не отключив предварительно питание паром.

3. Перед пуском пара в магистраль и ее ответвления, а также в иглу, необходимо убедиться в надежности всех соединений, правильности установки парозапорных вентилей и заглушек и надежности крепления паровых шлангов к штуцерам вентилей и к иглам.

4. Категорически запрещается присоединять иглы к магистрали и шлангам, имеющим трещины.

5. Работы пароразводящей сети при наличии "шипунов" не допускается.

6. Вентили следует открывать постепенно, не допуская толчков и рывков в паропроводном шланге.

7. Трансформаторы для электропитания переносных вибраторов током напряжением 36 В устанавливаются в середине участка работы предстоящей смены. Вся линия электропитания должна ежесменно проверяться электриком. Муфтовые соединения кабелей должны оберегаться от попадания в воду.

8. Все рабочие на парооттайке обязаны знать порядок оказания первой помощи при ожогах паром и кипятком, а в аптечке (на драге) должны быть средства против ожогов.

**Оттаивание нагретой водой.** Нагретой водой в зимнее время можно оттаивать как сезонномерзлые, так и многолетнemerзлые породы, слагающие россыпь. Источниками водоснабжения в конце зимы могут служить дражный разрез, а также специально оборудованные для этой цели ряды колодцев или дренажных скважин. Технология работ в общем не отличается от технологии игловой гидрооттайки, но все наружные трубы, а также шланги должны быть теплоизолированы. Нагревание воды производят в специальных смесителях паром от дражного котла. Разновидность схемы подогрева — подача пара в затопленный отсек трюма дражного понтонса. Из трюма нагретую паром воду подают насосом к гидроиглам. Целесообразен нагрев воды до температуры (у входа в иглу)  $+20 \div +25^{\circ}\text{C}$ . Большой нагрев может быть допущен для экстренных случаев оттайки. Гидроиглы погружают при помощи буровых станков, шаг установки 2,5–3 м.

Последовательность оттаивания должна обеспечивать фильтрацию отработанной воды через оттаянную зону в дражный котлован или к дренажным колодцам. При этом предотвращается образование наледей на примыкающих площадях. Кроме того, возврат воды, имеющей температуру  $5\text{--}10^{\circ}\text{C}$  позволяет экономить топливо для нагрева. Если у поверхности участка после удаления торфяно-глинистого слоя залегают хорошо водопроницаемые породы, дренирование воды в сторону дражного котлована не вызывает затруднений.

Оттаивание целесообразно начинать от дренирующей горной выработки, перемещая от нее в дальнейшем фронт оттаивания. Оттаивание многолетнemerзлых пород нагретой водой хотя и удорожает их подготовку, но в ряде случаев оправдывается увеличением годовой производительности драги.

Применение искусственного подогрева воды при игловой оттайке вечномерзлых пород целесообразно: а) в случае непредвиденного изменения ходов драги в результате дополнительной разведки, когда в начале следующего сезона разработка будет вестись на участках, которые первоначально разрабатывать не предполагалось; б) когда интенсивность оттаивания многолетнemerзлых пород из-за низкой температуры речной

Недостаточна; в этом случае отставание может быть компенсировано оттаиванием подогретой водой; в) перед наступлением теплого или в самом его начале при разработке россыпей малой мощности, где нет смысла создавать переходящий объем талых пород из-за глубокого сезонного промерзания.

Оборотное водоснабжение при зимней игловой гидрооттайке необходимо не только для рационального использования тепла, но и потому, что организация водоснабжения за счет поверхностных водотоков даже в начале зимнего периода затруднена, а в конце зимы, как правило, вообще невозможна.

Для оборотного использования подогретой воды проходят дренажные колодцы (копанные или буровые) с радиусом действия до 60 м. При хорошей водопроницаемости всей толщи пород россыпи водозабор может осуществляться скважинами диаметром 150–200 мм, обсаженными трубами, имеющими перфорацию в нижней части. Если нижние слои россыпи обладают слабой водопроницаемостью, то перфорированная часть скважины должна располагаться в вышележащих горизонтах. Скважины целесообразно располагать в ряд, образуя фронт дренирования. Расстояние между дренажными скважинами составляет 20–25 м, а общее число их 4–5 шт, на площадь в 1 га.

Организация оттаивания подогретой водой в начальный зимний период и в конце зимы зависит от условий водоснабжения. Осенью и в начале зимнего периода условия первоначального водоснабжения за счет грунтовых вод сезононалого слоя относительно благоприятны и нет затруднений для обратной циркуляции воды. В конце зимы возникают серьезные трудности в водоснабжении и обеспечении работоспособности дренажных устройств и системы оборотного водоснабжения.

Для подогрева воды можно использовать автономные котельные установки, включающие водогрейные котлы и водо-водяные теплообменники. Последние нужны для того, чтобы избежать подачи мутной воды непосредственно в водогрейные котлы. Низконалорный насос подает из котла нагретую до 70 °С воду в теплообменник, откуда вода возвращается в котел. В теплообменнике горячая вода омывает трубы, внутри которых нагревается вода внешней циркуляционной системы, поступающая из теплообменника в иглы (см. рис. 4.16).

Расчет времени выстойки игл производится также, как и при игловой гидрооттайке. Коэффициент теплоиспользования многократно обрачиваемой воды следует принимать равным 0,7.

Площадь нагрева котла и теплообменника определяют ориентировочной нормой – 1,5–2 м<sup>2</sup> на действующую иглу.

В настоящее время создан ряд специальных переносных установок для подогрева воды, в том числе и для подогрева загрязненной воды (УНВ-1,5). Такие установки могут обеспечить производительность оттаивания 1200 м<sup>3</sup>/сут.

Существенное значение при зимних игловых способах оттайки име-

ет правильное определение необходимого объема работ. Зимняя оттайка должна обеспечить работу драги на тот период, в течение которого будет подготовлена первая порция талых пород обычной игловой гидрооттайкой. Начало сезона игловой оттайки определяется датой, на которую вода в водоеме прогреется до +2 °С. Эта дата для каждого района хорошо известна. Следовательно, до этой даты драга, сезон работы которой начинается несколько раньше чем сезон оттайки (практически с появлением воды в котловане), на весь период подготовки первой порции талых пород игловой гидрооттайкой  $T_1$  должна быть обеспечена талой горной массой за счет зимних способов оттайки. Кроме того, необходим некоторый резерв времени, обычно 3–5 сут. Поэтому время, в течение которого драга должна работать до появления первой порции оттаянных гидроигловым способом пород (в сут) :

$$\Delta_{\text{от}} = \Delta_{\text{др}} + T_1 + (3 \div 5),$$

где  $\Delta_{\text{от}}$  – дата начала оттайки;  $\Delta_{\text{др}}$  – дата начала драгирования;  $\Delta_{\text{от}} - \Delta_{\text{Ф}} = T_{\text{оп}}$  – время опережения драгирования;  $T_1$  – время (расчетное) необходимое для подготовки первой порции талых пород игловой гидрооттайкой, 3÷5 сут – резерв времени.

Время, в течение которого должен быть подготовлен объем талых пород  $V_t$ , составит  $T_{\text{оп}} + T_1 + (3 \div 5)$ , тогда

$$V_t = [T_{\text{оп}} + T_1 + (3 \div 5)] P_{\text{сут}} k,$$

где  $P_{\text{сут}}$  – нормативная производительность драги, м<sup>3</sup>/сут;  $k$  – коэффициент снижения производительности драги при работе после зимнего ремонта в холодное время года ( $k = 0,75 \div 0,8$ ).

Площадь полигона, которая должна быть отработана за это время

$$S_1 = V_t / H_p,$$

где  $H_p$  – полная мощность россыпи или глубина оттайки, м.

Отсюда объем породы, который должен быть оттаян зимними способами

$$V_{3,0} = S_1 h_{\text{пр}},$$

где  $h_{\text{пр}}$  – мощность сезоннопромерзшего слоя.

### 6.3. ЭЛЕКТРООТТАИВАНИЕ

Сущность электрооттаивания током промышленного напряжения (380–420 В) заключается в том, что под действием разности потенциалов, приложенной к системе электродов, погруженных в мерзлую породу, возникает тепловое действие тока на объем породы между электродами.

Электропроводность мерзлых пород определяется содержанием свободной поровой влаги, структурой, льдистостью и температурой, а также содержанием минеральных солей, учет которых необходим для обеспечения нагрева и оттаивания пород в электрическом поле. В зависимости

от этих факторов выбирают исходное напряжение электрического тока, тип электродов, расстояние между ними и глубину погружения.

В качестве электродов можно применять прутья арматурной стали диаметром 12–19 мм, длиной 1,5–2,0 м. Нижний конец электродов заостряют, а в верхнем (в 5 см от края) просверливают отверстия диаметром 3–4 мм, через которые пропускают голый провод длиной 25–30 см. Один конец провода приваривают к электроду, другой присоединяют к электросети. Электроды забивают в породу на расстоянии 0,4–0,8 м друг от друга в зависимости от применяемого напряжения тока, начальной температуры прогреваемой породы и ее электропроводности.

Обычно электроды устанавливают в три ряда в шахматном порядке, образуя полосы, как бы "разрезающие" блок мерзлых пород на отдельные мелкие блоки. Определение точек расположения электродов производится с помощью шаблона — деревянной рамки с натянутой внутри проволокой; пересечения проволок указывают точки забивки электродов.

При повышении напряжения тока расстояние между электродами увеличивается и наоборот, при понижении — уменьшается. Мерзлые породы (в особенности крупнообломочные) обладают высоким удельным электрическим сопротивлением — до сотен тысяч омметров. Поэтому для создания слоя первичной проводимости на поверхности пород укладывают 15–20-сантиметровый слой опилок, смоченных раствором поваренной соли.

При трехпроводной системе трехфазного тока напряжением 220 В расстояние между электродами принимается 0,5 м; при четырехпроводной (при напряжении 380–220 В) и его увеличивают до 0,6 м. Забитые в породу электроды обычно подключают непосредственно к электросети без понижающих трансформаторов.

В начале процесса оттаивания ток протекает только через 15–20-сантиметровый слой опилок. Нагретые опилки отдают тепло верхнему слою породы, который в результате оттаивания становится электропроводным, нагревается и в свою очередь отдает тепло нижележащим слоям мерзлой породы.

Забивка электродов — работа трудоемкая, поэтому электроды первоначально забивают на небольшую глубину (0,4–0,45 м). По мере оттаивания через каждые 4–6 ч подачу тока прекращают и электроды забивают глубже на толщину оттаившего за это время слоя пород.

При глубинах мерзлого слоя более 1,5 м оттаивание производят последовательно слоями по 0,8 м, причем оттаивший слой породы удаляют только при выключенном токе, после чего приступают к оттаиванию следующего слоя.

Электроды могут быть также поверхностными — металлические цепи или сетка, уложенные на поверхности оттаиваемых пород. Длительность оттаивания поверхностными электродами зависит от температуры

и влажности пород и напряжения тока. В среднем при напряжении 220 В и глубине оттаиваемого слоя 0,5–0,7 м продолжительность оттаивания составляет 30–48 ч. Для наиболее эффективного использования выделяемого при электропрогреве тепла, к разработке пород следует приступить спустя 24–48 ч после окончания прогрева, так как за это время аккумулированное тепло распространится в стороны и значительно увеличит объем талых пород.

В том случае, когда под сезонномерзлыми породами находятся породы талые, оттайку производят "глубинными" электродами (способ ВНИОМС). При этом длина электродов должна быть на 20–30 см больше глубины промерзания, а диаметр их в зависимости от длины и твердости пород – от 12 до 19 мм. Забитые в породу электроды подключают к электросети.

В начале прогрева ток проходит через слой породы, лежащий ниже мерзлой почвы и нагревает его. По мере прогрева тепло распространяется вверх, последовательно оттаивают вышележащие слои. Продолжительность прогревания породы "глубинными" электродами зависит от толщины мерзлого слоя, влажности пород и напряжения тока; при глубине промерзания до 1,5 м и напряжении 220 В длительность прогревания составляет около 16 ч.

Прогрев заканчивается после того, как породы оттаивают снизу до заданного горизонта. При оттаивании для экскаваторной разработки прогрев заканчивается, когда толщина верхнего мерзлого слоя будет не более 0,25–0,4 м.

Вследствие большой энергоемкости оттаивания ( $15\text{--}40 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ) и сравнительно высоких цен на электроэнергию, в современных условиях электрический ток может служить лишь дополнительным источником тепла при оттаивании больших объемов многолетнемерзлых пород другими способами, например для оттаивания слоев глинистых пород в дополнение к обычному игловому или фильтрационно-дренажному гидравлическому оттаиванию.

В свое время в Магаданском ВНИИ-1 была разработана технология электрооттайки мерзлых пород током высокого регулируемого напряжения. В этом случае необходим регулируемый трансформатор напряжения, который должен изменять подаваемое на электроды напряжение от десятков тысяч до 220 В. Первоначально на электроды подают максимальное напряжение (например 10 000 В). При этом между электродами возникает "пробой", в котором породы интенсивно прогреваются и оттаиваются. В дальнейшем подаваемое напряжение уменьшают и доводят до обычного промышленного. Наличие талого канала по пробою повышает интенсивность оттайки, которая в дальнейшем идет одновременно и сверху вниз и снизу вверх. Этот способ применялся только в опытных работах, поскольку необходимое для этого электрооборудование промышленностью не выпускается.

#### 6.4. РАСЧЕТ ИГЛОВОЙ ПАРООТТАЙКИ

Для расчета паровой оттайки пока не существует полностью отработанных методик теоретических расчетов. Поэтому для практических расчетов приходится пользоваться следующими установленными зависимостями: 1) одна игла оттаивает  $20\text{--}50 \text{ м}^3$  сезонномерзлых пород; 2) удельные затраты пара на оттайку  $1 \text{ м}^3$  пород составляют  $50\text{--}80 \text{ кг}$ ; 3) коэффициент использования тепла  $k = 0,5\text{--}0,7$ ; 4) расход пара одной иглой в галечно-гравелистых породах изменяется от 20 до 25, в иллюстрированных отложениях от 8 до 15 кг/ч; 5) число одновременно работающих игл 40-70 шт.; 6) давление пара у входа в иглу —  $(3\text{--}5) \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

*Пример.* Рассчитать объем и параметры игловой парооттайки для обеспечения работы 250-литровой драги с 20 мая по 25 июня (36 сут). Мощность рыхлых отложений — 9 м, годовая производительность драги —  $900\,000 \text{ м}^3$ . Породы галечно-гравелистые с малым количеством глины. Льдистость —  $200 \text{ кг}/\text{м}^3$ , температура мерзлых пород — минус  $5^\circ\text{C}$ .

1. Чтобы найти объем пород, который надо оттаивать при помощи паровой оттайки, прежде всего следует установить глубину промерзания. Она может быть принята по практическим данным, но может быть рассчитана по формуле (1). Не производя расчетов, методика которых указана в гл. I, примем, что глубина зимнего промерзания в районе работы драги составляет 3,5 м.

Объем входящего остатка подготовленной горной массы должен быть равен объему, который драга переработает за 36 сут. Производительность драги устанавливаем, исходя из заданного годового объема переработки и продолжительности дражного сезона, которую для условий расчета примем равной 130 сут. Тогда среднесуточная производительность драги составит:

$$P_{dc} = \frac{900\,000}{130} = 6923 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Однако в начальный период, когда драга после ремонта работает при низких температурах воздуха, эта производительность должна быть несколько ниже. Примем, что она будет составлять 75 % от средней или  $5192 \text{ м}^3/\text{сут.}$  Тогда в течение 36 сут драга должна переработать объем горной массы

$$V_{36} = 36 \cdot 5192 = 186,9 \text{ тыс. м}^3.$$

Это и должно составлять объем входящего остатка подготовленной в прошлом году горной массы. Площадь, которую будет занимать этот объем, установить легко:

$$S_{bx} = \frac{186\,900}{9} = 20\,769 \text{ м}^2.$$

Тогда объем пород в зоне промерзания составит:  $V_{pr} = 3,5 \cdot 20\,769 = 72692 \text{ м}^3$ .

Этот объем и должен быть оттаян с применением парооттайки. Необходимо заметить, что на практике объем парооттайки на одну драгу обычно не превышает  $40\text{--}50$  тыс.  $\text{м}^3$ . В расчете мы приняли достаточно высокую для данных климатических условий производительность драги, поэтому и объем парооттайки получился несколько выше обычных.

2. Глубина погружения игл не должна превышать 0,85 от глубины оттайки. Это правило необходимо строго соблюдать. Следовательно,  $h_i = 0,85 \cdot 3,5 = 3 \text{ м}$ .

3. По табл. 3 или расчетом находит удельную теплоту оттаивания в  $\text{МДж}/\text{м}^3$ . При этом конечную температуру принимаем равной  $+5^\circ\text{C}$ , поскольку работа производится в холодное время и необходимо иметь запас тепла.

Находим  $Q_{\text{уп}} = 88,18 \text{ МДж/m}^3$ .

4. Расход пара на иглу определяют по формуле

$$P_{\Pi} = \frac{V_{\Pi} Q_{\text{уд}}}{L_{\Pi} k},$$

где  $V_i$  – объем оттаиваемый одной иглой;  $L_{\text{п}}$  – теплота парообразования;  $k$  – коэффициент использования тепла, для расчетов  $k$  можно принимать равным 0,6. Шаг установки игл для парооттайки рекомендуется в пределах 2,5–3,5 м и для расчета может быть принят 3 м.

Объем породы, оттаиваемый одной иглой, определяют также, как и для ИГО:  $V_H = 0,871 h_{\text{от}}$ , т.е. в данном случае  $V_H = 0,87 \cdot 9 \cdot 3,5 = 27,4 \text{ м}^3$ .

Ранее указывалось, что в среднем одна игла оттаивает от 20 до 50 м<sup>3</sup>. Полученная расчетом величина находится в этом интервале.

Тогла

$$P_{\pi} = \frac{88,18 \cdot 27,4}{0,6 \cdot 2,25} = 1785 \text{ kr.}$$

5. Определяем продолжительность работы иглы  $T_{ii}$ . Для галечно-гравелистых пород расход пара иглой – 20 кг/ч, тогда  $T_{ii} = 1785 / 20 = 89$  ч, т.е. игла должна находиться "под паром" в течение 89 ч.

6. Число одновременно работающих игл по паропроизводительности дражного котла (1900 кг/ч)

$$N_o = \frac{1900}{20} = 95 \text{ шт.}$$

## 7. Общее число паровых игл в работе

$$N_n = \frac{72692}{27.4} = 2653 \text{ int.}$$

## **6.5. ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ИСКУССТВЕННЫХ СУШЕНЦОВ**

Сущенцами принято называть рыхлые породы, которые в мерзлом состоянии сохраняют сыпучесть, и которые можно разрабатывать землеройной техникой без специальной подготовки. По существу подготовка таких пород не является оттайкой, однако ее задача аналогична оттайке — подготовить мерзлые породы к разработке. Сочетание различных способов оттаяки с подготовкой искусственных сущенцов может максимально продлить сезон работы мощных машин при открытой и дражной разработке многолетнемерзлых россыпей.

Искусственные сушенцы — специально оттаянные и в дальнейшем осушенные крупнообломочные породы, в которых остаточная влажность не превышает критической, т.е. такой, при которой рыхлые породы после промерзания остаются сыпучими и легкоизграбываемыми. Для песчаных и крупнообломочных пород она составляет около 3,5 %. Разработка сушенцов с помощью землеройной техники может производиться в любое время года независимо температуры воздуха. Поэтому целесообразно после сонячного оттаяния от начала холодного времени

Таблица 6.1

Сроки выполнения работ по оттайванию и защите от промерзания сезономерзлого слоя над таликом (по В.Г. Гольтману)

Наименование работ	Оттайка зимними способами — паром, нагретой водой с защитой от промерзания на зиму	Оттайка зимними способами — паром, нагретой водой без защиты от промерзания на зиму	Оттайка дождеванием под пленкой	Оттайка пневмочным покровом с защитой от промерзания на зиму	Оттайка гидроиглами речной водой
Покрытие полигона теплоизоляцией	С 1 по 20 сентября	—	—	С 1 по 20 сентября	—
Уборка теплоизоляции	С 15 по 31 марта	—	—	С 1 по 15 апреля	—
Оттайка паром, С 15 по 31 марта подогретой водой, электричеством	С 15—31 марта до 25 апреля ~ 15 мая	С 15—31 марта до 25 апреля ~ 15 мая	—	—	—
Покрытие полигона пленками	С 20—31 марта по 25 апреля 15 мая	С 20—31 марта до 25 апреля ~ 15 мая	—	С 1—15 апреля по 1—15 июня	—
Оттайка дождеванием под пленкой	—	—	С 10—20 апреля по 15—20 мая	—	—
Оттайка гидроиглами	—	—	—	—	С 20—31 мая по 20—25 июня
Разработка отаянных пород драгой	С 25 апреля по 15 мая	С 25 апреля по 15 мая	С 15 по 20 мая	С 1 по 15 июня	С 20 по 25 июня

При мечание. В арктической климатической области все календарные сроки отодвигаются на 15—20 дней. В умеренном климатическом поясе сроки наступают на 10—20 дней раньше весной, осенью — на столько же позже. На участках, где драга работает в начале зимы, защитный покров убирают по мере подвигания дражного забоя.

года иметь запас подготовленных сушенцов, к разработке которых можно приступать после того, как естественная оттайка мерзлых пород прекращается и их послойная разработка становится невозможной.

Пригодным для этой цели считаются крупнообломочные галечно-гравелистые породы с заполнителем из песка или легких супесей. Содержание пылевато-глинистых фракций (диаметр частиц меньше 0,05 мм) в этих породах не должно превышать 5 %, а коэффициент фильтрации должен быть не менее 80 м/сут (3,5—4 м/ч).

Определив участки, сложенные породами, которые могут быть превращены в искусственные сушенцы, приступают к их оттайке. Оттайку

производят различными способами: наиболее целесообразен фильтрационно-дренажный. После окончания оттайки (она должна оканчиваться не позднее 1 сентября) проходят дренирующую траншею. В качестве такой траншеи может быть использована дренажная канава ФДО или естественное углубление рельефа. Однако их необходимо тщательно расчистить и углубить. Глубина дренирующей выработки должна быть на 0,5–1 м глубже подошвы разрабатываемого слоя. Дренажную канаву в случае необходимости оборудуют зумпфом и насосной установкой для откачки воды. Осушение может продолжаться до 15–25 октября, но при всех обстоятельствах должно быть закончено до наступления сильных морозов. Глубина потока воды в дренажной траншее (регулирование производится интенсивностью откачки) – не более 10–20 см.

Конгроль за осушением пород производят при помощи контрольных скважин, окончательную влажность осущенных пород определяют проходкой контрольных канал и опробованием образцов породы из них.

Следует иметь в виду, что злачение критической влажности 3,5 % дает возможность производить разработку сушечников любой землеройной техникой. Применение мощных бульдозеров позволяет вести разработку при влажности (льдистости) до 4,5 %.

В табл. 6.1 указаны рекомендуемые календарные сроки работ по зимней оттайке.

#### 6.6. ОТТАИВАНИЕ МЕРЗЛЫХ ПЕСКОВ ДЛЯ ИХ СРОЧНОЙ ПОДГОТОВКИ К ПРОМЫВКЕ

В ряде случаев может возникнуть необходимость продолжать промывку песков в неблагоприятное (холодное) время года, либо промывать пески, которые не успели еще полностью оттаять. Например, в суровых климатических условиях пески подземной добычи, выложенные на поверхности в плоский отвал не успевают оттаивать в течение короткого промывочного сезона. В то же время промывать мерзлые пески недопустимо, поскольку при этом неизбежны большие потери полезного иско-паемого. В этих случаях возникает необходимость в применении специальных методов искусственной оттайки.

За время промышленного освоения Северо-Востока СССР неоднократно приходилось продолжать промывочные работы глубокой осенью, когда уже не только прекращалась всякая естественная оттайка, но и происходило интенсивное промерзание ранее оттаявших пород. Такое продление сезона всегда связано с огромными дополнительными расходами, поэтому трудно ожидать, что осенне-зимняя промывка (ОЗП) в дальнейшем может применяться в значительных масштабах, во всяком случае до тех пор, пока не будет создана соответствующая "сухая" технология обогащения песков.

Но вместе с тем не исключено, что отдельным промывочным установкам (как это имеет место и до последнего времени) придется работать в холодное время года. Интенсивная искусственная оттайка песков

в этом случае становится совершенно необходимой. Можно ожидать также некоторого увеличения объемов добычи подземных песков в районах с самым суровым климатом. Во всяком случае количество глубокозалегающих россыпей, находящихся в эксплуатации и передаваемых разведочными организациями, в настоящее время заметно увеличивается.

В начальный период организации ОЗП объемы промывки, приходящиеся на одну промывочную установку, не превышали 100–150 м<sup>3</sup>/сут. Поэтому можно было обходиться не очень интенсивными способами оттайки. В то время часто применяли оттаивание холодной (иногда подогретой) водой в специальных емкостях — ларях, в которых мерзлые породы выдерживались время, необходимое для их оттайки, после чего пески разгружались на шлюзы или в бочку-скруббер. Лари изготавливались из дерева и имели емкость 2–4 м<sup>3</sup>.

С этой же целью применяли оттайку в скрубберах — мерзлые пески загружали во вращающуюся бочку (скруббер) длиной до 10–15 м с диаметром 2 м. Одновременно в бочку подавали подогретую воду. Однако оттаивание в таких бочках, как правило, оказывалось весьма трудоемким, металлоемким, а отсюда и дорогим. Хотя качество оттайки при этом обеспечивалось довольно высокое.

Применяли (и применяют до сих пор) оттаивание в спиральных классификаторах на "зимних промприборах". В классификаторах эффективность оттайки более высока (по сравнению со скрубберами). Например в ЛГИ предложена технология оттайки с использованием классификаторов, вращающихся со скоростью 1–5 об/мин, в которые подается нагретая до 30–50 °С вода. В бункер спирального классификатора засыпают мерзлые пески, а оттаявшие и обезвоженные пески по даются на промывку через специальное разгрузочное отверстие.

Для оттайки применяли также мельницы бесцарового измельчения. В этих мельницах происходит дезинтеграция мерзлого материала, в процессе которой измельчается лед, высвобождаются частицы полезного ископаемого. Процесс может быть сухим и мокрым. В первом случае измельченный лед удаляют потоком воздуха, во втором он удаляется водой в виде шуги. Этот способ представляет существенный интерес с той точки зрения, что он может оказаться весьма перспективным, поскольку на базе "сухого" варианта оттайки вполне возможно создание новой зимней или "сухой" технологии обогащения песков, которое может производиться в течение круглого года.

В последние годы ЛГИ совместно с ВНИИ-1 был разработан и испытан способ оттаивания (растепления) мерзлых пород токами ВЧ непосредственно на конвейере, который подает пески на промывочную установку. Как показывают эксперименты, такой способ оттаивания перспективен прежде всего потому, что позволяет обходиться без специально подогретой воды, т.е. без основного источника повышенной трудоемкости и стоимости зимнего обогащения.

Была создана опытная установка для высокочастотного прогрева

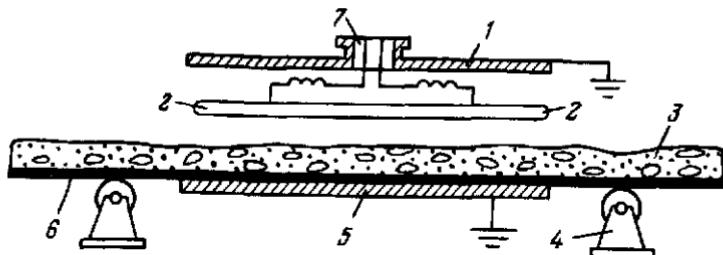


Рис. 6.4 Устройство для оттаивания мерзлых пород токами ВЧ непосредственно на конвейерной ленте

1 – металлический корпус; 2 – высокопотенциальная пластина рабочего конденсатора; 3 – мерзлая порода, перемещаемая конвейером; 4 – роликоопора; 5 – низкотенциальная пластина; 6 – лента конвейера; 7 – горловина для вывода к генератору ВЧ

мерзлых песков (рис. 6.4). Электромагнитное поле высокочастотного диапазона (13,56 МГц) создается высокочастотным генератором ВЧГЗ-6013 с колебательной мощностью 60 кВт.

Прогрев песков ведется с помощью системы, выполненной в виде плоскопараллельного конденсатора, образованного высокопотенциальной пластиной над потоком материала и металлическим днищем камеры. Варианты подобной установки могут быть созданы для прогрева песков в бункере, в который разгружаются автосамосвалы.

Испытывалась установка производительностью от 3,5 до 13 м<sup>3</sup>/ч. Удельные затраты электроэнергии на оттаивание не превышают 22 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Установлено, что при мощности генератора ВЧ 500 кВт может быть обеспечена производительность оттайки 40–50 м<sup>3</sup> мерзлых песков в час при начальной их температуре минус 8–10 °С.

Совершенно новым способом оттаивания отвалов мерзлых песков подземной добычи является предложенное и испытанное во ВНИИ-1 использование теплого воздуха, который, проходя через поры и пустоты в рыхлом материале отвала, оттаивает этот материал. Здесь, практически впервые для искусственного оттаивания, используется в качестве теплоносителя естественно нагретый атмосферный воздух. В летнее время даже в весьма суровых климатических условиях воздух прогревается до 20–25 °С и выше. Пока этот способ пригоден для оттайки в летнее время. Однако если удастся подогревать воздух (например, использовать для этой цели тепло, выделяемое компрессорными установками), то вполне возможно, что такая оттайка будет осуществима весной и осенью.

Для применения "воздушной" оттайки специально подготавливали площадь, на которой впоследствии отсыпался отвал. Кроме обычной планировки, на поверхности земли была уложена система металлических труб — магистральная труба диаметром 500 мм и отводы от нее диаметром 300 мм, расположенные через 6–8 м по магистральной трубе.

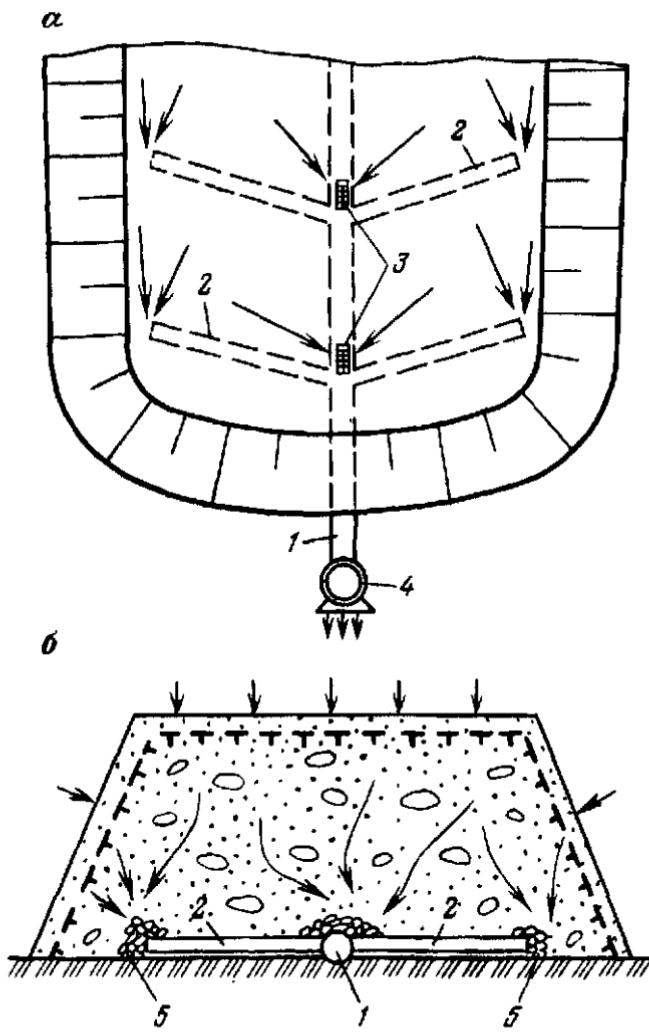


Рис. 6.5. Схема оттаивания отвала мерзлых песков теплым воздухом:  
 1 – магистральная труба; 2 – отводы; 3 – окна; 4 – вентилятор; 5 – подсыпка из промытого галечника.  
 а – план, б – вертикальный разрез

Длина каждого отвода – 5–7 м (рис. 6.5), торцевые отверстия труб закрывают металлической сеткой. В магистральной трубе, на обращенной вверх стороне, там где к этой трубе примыкают отводы, делают специальные окна, которые также закрывают сеткой. Кроме того, все отверстия в магистральной трубе и на концах отводов засыпают сверху хорошо промытым галечником, который образует противокольматационную завесу.

На подготовленную таким образом площадь отсыпали отвал песков подземной добычи высотой 4 м. После отсыпки отвала начинал работу всасывающий вентилятор, который создавал зоны разрежения внутри отвала, возле каждого отверстия в трубах, засыпанных песками. В результате в отвал как бы засасывался теплый воздух, который и приводил к оттаиванию песков. В этом случае оттаивание происходит за счет конденсации паров атмосферного воздуха; кондуктивного теплообмена воздуха с горной породой; конвективного переноса тепла в отвал потоком воздуха.

Главная задача при расчете такого "воздушного" оттаивания – правильно выбрать вентилятор. При промышленных испытаниях был использован вентилятор СВМ-6М, имеющий производительность  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Авторы указывают, что при промышленных испытаниях была получена стоимость оттайки 0,35 руб./ $\text{м}^3$ . Совершенно очевидно, что в условиях короткого северного лета (особенно в приполярных районах) применение такого способа может оказаться весьма эффективным. Задача сегодня заключается в разработке методики инженерного расчета для оттайки отвалов различной формы и высоты.

В последние годы А.Ю. Бейлинским установлено, что мерзлые или специально замороженные рыхлые глинистые породы хорошо разрушаются в восходящем потоке воды при естественной ее температуре. При этом мерзлые породы разрушаются, распадаясь на минеральные зерна и кристаллы льда, которые уносятся потоком воды вместе с глинистыми частицами. Скорость дезинтеграции мерзлых пород только немногим меньше по сравнению со скоростью дезинтеграции талых, но отпадает необходимость в таких трудоемких процессах, как оттайка и механическая дезинтеграция.

Результаты исследований и экспериментальных работ показывают, что на этой основе возможно создание технологии обогащения мерзлых песков без их предварительного оттаивания.

#### *Контрольные вопросы и задания*

1. Обосновать необходимость зимних способов оттайки и перечислить их.
2. Указать последовательность операций при расчете игловой парооттайки.
3. Сформулировать преимущества и недостатки электрооттайки.
4. Определить глубину сезонного промерзания и необходимый объем зимней оттайки при следующих условиях: драга работает в долине р. Берелех; годовая производительность  $800 \text{ т}\cdot\text{м}^3$ ; начало работы драги 10 мая; начало сезона оттайки 25 мая; объем входящего остатка оттаянной в предыдущем году горной массы  $100 \text{ т}\cdot\text{м}^3$ ; лыдистость пород (галечников с песчаным заполнителем)  $200 \text{ кг}/\text{м}^3$ .
5. Для условий предыдущего задания рассчитать параметры игловой парооттайки.
6. Составить календарный план работ по зимней оттайке пород и их предохранению от промерзания.

## Глава 7

# МЕРЗЛОТНАЯ СЛУЖБА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТТАЙКИ МЕРЗЛЫХ ПОРОД

### 7.1. ЗНАЧЕНИЕ И ОБЯЗАННОСТИ МЕРЗЛОТНОЙ СЛУЖБЫ

Проектирование и производство работ по оттаиванию мерзлых пород, предохранению от промерзания, строительству и поддержанию горнотехнических сооружений, послойной разработке мерзлых пород и т.д. должны базироваться на данных мерзлотной разведки и проектироваться с их учетом.

Первоочередные задачи этой разведки — сбор и накопление всех материалов, характеризующих мерзлотную обстановку района, где производят горные работы и конкретно разрабатываемую россыпь. Очень многое россыпных месторождений сосредоточено в районах сплошного распространения толщи многолетнемерзлых пород. Немало россыпей расположено в районах, где мерзлые и талые породы существуют совместно, и только сравнительно небольшая их часть находится в благоприятных климатических условиях. Именно поэтому знание основ инженерного мерзлотоведения и мерзлотно-гидрогеологической обстановки необходимы для любого специалиста по разработке россыпных месторождений.

Мерзлотная разведка — основная часть работы мерзлотной службы, необходимой для каждого предприятия, в пределах горного отвода которого распространены многолетнемерзлые горные породы. К сожалению, в действительности мерзлотные службы созданы только на немногих горнодобывающих предприятиях, главным образом на тех, где необходимо производить оттайку мерзлых пород для дражной разработки.

Мерзлотная разведка чаще всего производится одновременно с геологоразведкой и привязывается к геологоразведочным линиям, по скважинам которых фиксируются необходимые мерзлотные характеристики. Однако в ряде случаев появляется необходимость в проведении дополнительных выработок специально для мерзлотной разведки. Эта разведка в первую очередь должна ответить на следующие вопросы: 1) сколько в данном районе мерзлых пород и как они чередуются с тальми; 2) какова мощность мерзлой толщи и как в ней распределены температурные поля.

Напомним, что температура мерзлых пород имеет очень большое значение при выборе способа разработки и организации горных работ. Температуры выше минус 2–2,5 °С означают, что породы достаточно пластичны и часто могут разрабатываться без специального рыхления, нецелесообразно даже при глубоком залегании применять подземный способ разработки и т.д. Знать распределение мерзлых пород в плане и по

мощности россыпи совершенству необходимо для правильной организации работ при любом способе разработки россыпи.

Наконец, удельный вес мерзлых пород в общей толще говорит о том, в каком объеме необходимо предусматривать оттайку для дражных или экскаваторных работ. Вместе с тем, этими сведениями задачи мерзлотной разведки не исчерпываются. Необходимо знать коэффициенты фильтрации разрабатываемых пород, их удельную и объемную теплоемкость, льдистость или влажность, теплопроводность.

О распространении мерзлых пород и в известной степени о их количестве может дать достаточно представление материал геологоразведки по геологоразведочным линиям. Однако в настоящее время эти линии стремятся проходить на максимальном расстоянии друг от друга, поэтому может оказаться, что геологоразведочных данных недостаточно для полной мерзлотной характеристики россыпного месторождения или района в целом. Для проектирования работ по оттайке и разработке мерзлой россыпи нужны гидрометеорологические и климатические характеристики, которые собирает, систематизирует и накапливает мерзлотная служба. Материалы, накопленные за длительный период, с достаточной точностью дают возможность определять даты начала и конца сезонов различных работ, ход суточных температур воздуха и воды, колебания температур горных пород, величину сезонного промерзания и т.д. Можно считать, что подобные материалы — обязательный исходный материал для обоснованного проектирования не только работ по оттайке, но и всех горных работ на предприятии.

Решить вопрос о соотношении мерзлых и талых пород в данном районе можно на основе опыта горных работ, а также в зависимости от климатических характеристик района по формуле, предложенной А.В. Ракшиным

$$V = 10e^{(I - h)},$$

где  $V$  — удельный вес мерзлых пород, %;  $I$  — отношение суммы отрицательных градусосуток к сумме положительных (за год);  $h$  — высота снежного покрова, м.

Принято считать, что там, где мерзлые породы составляют < 15 %, проектирование ведется как для талых пород, если же мерзлых пород > 50 %, то как для мерзлых. При промежуточных соотношениях разработка мерзлых и талых участков россыпи должна проектироваться раздельно.

Как результат мерзлотной разведки составляют мерзлотно-гидрогеологические планы масштаба 1:1000 или 1:2000 для годового проектирования и 1:5000 — для перспективного. На плане указывают горные выработки, отвалы, просадки, происшедшие в результате горных работ прошлых лет и вытаивания линз льда, наносят систему горизонталей, отражающую рельеф поверхности через 0,5—1 м по высоте. На разрезах должен быть представлен литологический состав различных слоев, отличающихся

ся между собой по льдистости и водопроницаемости, выделяют водоупорные породы (коэффициент фильтрации  $< 1$  м/сут), слабопроницаемые ( $< 30$  м/сут), хорошо проницаемые, которые в свою очередь разделяются по значению коэффициента фильтрации на разновидности ( $30-100$ ,  $100-400$ ,  $> 400$  м/сут). На план наносят геологоразведочные линии и все дополнительные выработки, пройденные непосредственно для мерзлотной разведки, отмечают границы мерзлых и талых зон, которые с достаточной точностью определяют электропрофилированием.

Очень важная задача мерзлотной разведки — определение коэффициентов фильтрации, теплопроводности, льдистости и других характеристик. Табличные данные в этих случаях не всегда достаточно надежны, поэтому их лучше всего подкреплять фактическими.

## 7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЗЛЫХ ПОРОД

Существует несколько методов, которые могут быть использованы для определения коэффициента фильтрации рыхлых пород, как на образцах, изъятых из массива, так и непосредственно в массиве. Следует помнить, что коэффициент фильтрации определяют в талых породах, в льдонасыщенных мерзлых он всегда равен нулю. Существует специальный прибор для определения водопроницаемости крупнообломочных пород на крупных образцах в ловевых условиях (рис. 7.1).

Образцы загружаются в цилиндрический сосуд прибора (диаметр цилиндра — 500 мм, высота образца — не более 400 мм). Зазоры между образцами и стенками цилиндра заполняют пластичной глиной или парафином. Среднюю площадь поперечного сечения монолита определяют как  $F_{об} = F_o - (V_{зап}/h_{об})$ , где  $F_o$  — площадь поперечного сечения цилиндра,  $\text{м}^2$ ;  $V_{зап}$  — объем заполнения боковых зазоров,  $\text{м}^3$ ;  $h_{об}$  — высота образца, равная высоте пластичного заполнения зазоров, м. Верхнюю грань поверхности образца нагружают решетчатым штампом с небольшой пригрузкой камнями. Затем прибор заполняют теплой водой и оттаивают образец. Можно заполнение цилиндра производить уже оттаянной породой, тогда ее послойно укладывают и утрамбовывают в цилиндре, уже не заботясь о сохранении естественной структуры.

Через образец снизу вверх движется фильтрационный поток воды под влиянием искусственно созданной разности напоров. Расход воды  $w$ ,  $\text{см}^3/\text{с}$  измеряют мерным сосудом. В этом случае коэффициент фильтрации (в  $\text{м}/\text{сут}$ ) определяют по формуле

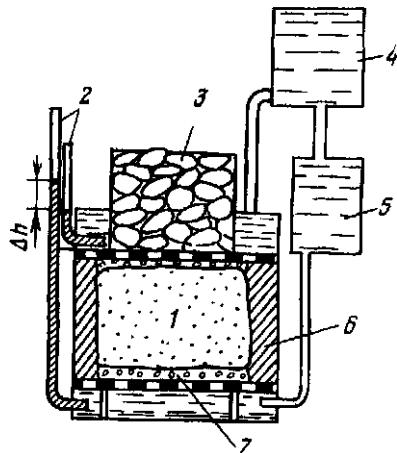
$$k_{\phi} = \frac{wh_{об}}{\Delta h F_{об}} \cdot \frac{0,0864}{(0,7 + 0,03t)},$$

где  $\Delta h$  — разность уровней по показаниям пьезометров, мм;  $t$  — средняя температура воды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Водопроницаемость песчаных или галечных отложений в естествен-

Рис. 7.1. Схема прибора для определения коэффициента фильтрации:

1 – испытуемый образец; 2 – пьезометры; 3 – каменная пригрузка; 4 – емкость для воды; 5 – напорный бак; 6 – парафиновое заполнение внутри цилиндра; 7 – нижняя решетка с галечной подсыпкой



ном залегании чаще всего определяют методом откачки-нагнетания при помощи двух буровых скважин (рис. 7.2).

В две скважины диаметром 47–50 мм, пробуренные на расстоянии 2 м друг от друга, опускают до забоя фильтровальные трубы, имеющие перфорацию на протяжении 1 м на уровне 1,5–2,5 м выше нижнего конца. Колонна составляется из отдельных труб длиной 1,5 м, диаметром 42 мм, с толщиной стенки 5 мм; эти трубы снабжены резьбой для безниппельного соединения. Нижний и верхний концы колонн открыты. Затрубное пространство засыпают сухим просеянным мелкозернистым песком.

Вслед за этим вспомогательной гидроиглой создают общий искусственный талик с диаметром вдвое большим расстояния между скважинами, т.е. 4 м, с таким расчетом, чтобы между скважинами был сплошной талик.

Коэффициент фильтрации вычисляют по разности динамических уровней между двумя скважинами при откачивании из одной скважины и одновременном наливе (нагнетании) равного количества воды в другую. Расходы воды принимают около 10, 20 и 40 см<sup>3</sup>/с.

Определение водопроницаемости проводится погоризонтно, сверху вниз. После определения коэффициента фильтрации на нижнем горизонте обе колонны труб вытягивают на 1,5 м, отвинчивают освободившиеся трубы и проводят новое определение для слоя, глубина которого на 1,5 м меньше. После каждого подтягивания труб в нижнюю часть скважины осторожно досыпают мелкозернистый песок.

Коэффициент фильтрации (в м/сут) вычисляют по формуле

$$k_{\phi} = \frac{w \ln \frac{L}{2}}{2,8 \pi h_{\phi} S},$$

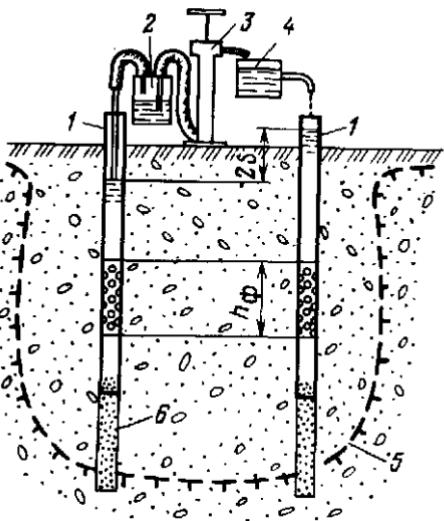


Рис. 7.2. Схема определения коэффициента фильтрации скважинами в естественном залегании пород:  
1 – скважины, в которые погружены перфорированные трубы; 2 – уравнительный бачок; 3 – ручной насос; 4 – водомерный бачок; 5 – граница тальных пород; 6 – засыпка песком.  $h_\Phi$  – длина перфорированной части трубы;  $2S$  – разница в уровнях воды в скважинах

где  $w$  – расход воды,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $L$  – расстояние между скважинами, м;  $2$  – наружный диаметр фильтра, м;  $h_\Phi$  – длина перфорированной части трубы (в нашем случае 1 м);  $S$  – превышение и понижение динамического уровня в скважинах относительно статического (в м), принимается как половина наблюдавшейся разности динамических уровней (см. рис. 7.2).

Откачу производят ручным насосом. Уравнительные бачки, показанные на рис. 7.2, исключают пульсацию и облегчают измерение динамических уровней. Положение уровня измеряют электроконтактным способом изолированным проводом с оголенным отрезком длиной 3 мм в нижнем конце.

**Определение пыльности (влажности) и плотности.** Содержание льда в породе необходимо определять по пробам, размер которых достаточно велик для того, чтобы полученная характеристика могла быть представительной. Объем пробы галечника должен вмещать по меньшей мере 50 галек преобладающего размера. В пробу мелкозернистых пород должны входить видимые ледяные прожилки и прослойки. Только для однородной породы, не содержащей гравия или более крупных обломков и ледяных включений, влажность можно определить обычным способом – высушиванием пробы массой 30–50 г в бюксе при температуре 105 °С с отнесением потери массы при высушивании к массе сухой пробы.

Льдистость крупнообломочных пород, поры которых явно заполнены льдом, определяют по пробе достаточно большого объема – обычно не менее 5 кг. Проба поступает на весы. Взвешивать пробу необходимо сразу после ее отделения от массива. После первого взвешивания мерзлой пробы (его можно делать по частям) пробу на том же поддоне оттапывают и высушивают до постоянной массы при температуре 105 °С.

Разность масс мерзлой  $m_m$  и высушенной  $m_c$  проб в том же сосуде, масса которого должна быть известна и вычитаться, следует разделить на массу сухой пробы (без сосуда). Полученная величина  $W = \frac{m_m - m_c}{m_c}$  называется влажностью (весовой); для крупнозернистых и крупнообломочных пород, не содержащих глинистых фракций, она равна льдистости.

В расчетах оттаивания чаще пользуются показателем льдистости в  $\text{кг}/\text{м}^3$  ( $G$ ), которую можно вычислить по формуле

$$G = \frac{\rho_c \rho_l (m_m - m_c)}{\rho_l m_c + \rho_c (m_m - m_c)},$$

где  $\rho_c$  — плотность пород скелета,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (в среднем  $2650 \text{ кг}/\text{м}^3$ );  $\rho_l$  — плотность льда,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

При тех же условиях находят среднюю плотность мерзлой породы

$$\rho_{cp.m} = \frac{\rho_l \rho_c m_m}{\rho_l m_c + \rho_c (m_m - m_c)}.$$

Для льдонасыщенного галечника

$$G = 200 \div 250 \text{ кг}/\text{м}^3; \rho_{cp.m} = 2160 \div 2250;$$

$$W = 0,10 \div 0,13. \text{ Для песка: } G = 320 \div 385 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\rho_{cp.m} = 1950 \div 2050; W = 0,185 \div 0,250.$$

Среднюю плотность мерзлых крупнообломочных пород, независимо от степени заполнения крупных пор льдом, определяют на забое шурфа или другой горной выработки следующим способом: на поверхность породы кладут металлическое кольцо, имеющее диаметр около 0,5 м, высоту 3÷5 см или деревянную раму. Кольцо или раму застилают куском тонкой (толщиной не более 0,06 мм) полизтиленовой пленки и заливают водой или незамерзающим рассолом до верхнего края, замерив объем израсходованной жидкости  $V_1$ . Жидкость сливают, пленку снимают и внутри кольца вынимают породу, образуя ямку объемом 10–20 л (в зависимости от крупности скелета). Вынутую породу собирают и взвешивают в мерзлом состоянии  $m_2$ . Затем вновь застилают поверх кольца пленку и заливают жидкость до прежнего уровня, измеряя ее объем  $V_2$ . Вместо жидкости можно пользоваться сухим песком.

Средняя плотность (в  $\text{кг}/\text{м}^3$ )

$$V_m = \frac{m_2}{V_2 - V_1}.$$

Теплофизические характеристики пород определяют в буровых скважинах при помощи специальных приборов.

Для измерения температуры пород при мерзлотной разведке пользуются буровыми скважинами, в редких случаях шурфами с засыпанной трубой, заполненными водой или льдом, засыпанными скважинами (без трубы, с термодатчиками), непосредственно в окружающих породах.

### Термодатчики.

1. Мерзлотомерные — служат для определения состояния окружающих пород и их температуры (выше или ниже 0 °C). Применение находят: а) водяные в резиновой трубке, предназначенные для непосредственного прощупывания льда или воды; б) электроводяные замкнутые (внутренние) — для суждения о фазовом состоянии воды по сопротивлению воды между электродами; в) электрические внешние, позволяющие отличить талые влажные породы от мерзлых по сопротивлению растеканию тока от внешнего электрода.

2. Термодинамические датчики температуры пород: а) ртутные и спиртовые термометры (" психрометрические ", почвенно-глубинные, низкотемпературные, працевые); термометры снабжаются соответствующими оправами; б) электротермометры сопротивления — медные с номинальными сопротивлениями при 0 °C 53 Ом, полупроводниковые на 2—5 кОм; в) термопары.

Мерзлотомерные иглы — наиболее простое устройство для установления границ талых и мерзлых пород. Корпусом служит обычная гидроигла, которая остается в скважине после бурения и сохраняет в себе промывочную воду. Если применялось сухое бурение, скважину с иглой необходимо специально заполнить водой. В иглу опускают подготовленную связку изолированных медных или железных проводов. Каждый провод оканчивается на определенной глубине.

На протяжении 15 см от нижнего конца провода в его пластмассовой изоляции делают 5—7 боковых прорезей длиной по 15 мм с интервалами 7 мм. В этих местах металл провода с одной стороны оголен, но не может касаться трубы и играет роль электрода, отделенного от стальной трубы водой или льдом. Омическое сопротивление в цепи резко меняется в зависимости от фазового состояния воды, а следовательно и от мерзлого или талого состояния окружающих пород на этой глубине. Сопротивление воды составляет порядка 1—10 кОм. Если электрод находится во льду, сопротивление в 20—50 раз больше, т.е. 200—500 кОм. Число электродов (и проводов) зависит от назначения данной мерзлотомерной иглы; обычно в нижнем конце устраивают 2—3 электрода через 1 м, а выше — через 2 м. Если контролируется глубина сезонного промерзания, электроды на глубине 2—4 м расставляют через 0,5 м.

Если измерение температуры производится ртутными датчиками или электротермометрами, в скважины погружают сухие трубы. В том случае, когда необходимо установить, на каком уровне породы находятся в мерзлом состоянии, в трубу опускают резиновую трубку, заполненную водой.

На глубине до 3,2 м температурный режим пород удобно наблюдать при помощи комплекта почвенно-вытяжных термометров и мерзлотометров Данилина, применявшихся в гидрометеорологической службе СССР.

### 7.3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТТАЙКИ

Эти направления, связанные с технологией, были изложены в соответствующих главах учебника. Поэтому в данном разделе мы коснемся только общих вопросов, характерных для всех способов оттайки и практики их применения в настоящее время.

В части, касающейся естественных способов оттайки, самым существенным представляется более полное использование всех, имеющихся в распоряжении человека, средств и методов, направленных на повышение степени полезного использования тепла солнечной радиации и атмосферного воздуха. В частности, в большинстве инструкций очень много говорится о зимнем снегозадержании, своевременной уборке весной снежного покрова, осушении оттаявшего слоя пород, зачернении и мелким рыхлением мерзлой поверхности. Однако практически эти мероприятия проводятся в совершенно недостаточных масштабах. Одна из причин такого положения — отсутствие специальных средств механизации этих работ, что делает их весьма трудоемкими и дорогими. Следовательно, настало время по-настоящему приступить к созданию соответствующих механизмов (в том числе и для предохранения талых пород от промерзания). Как исключение можно указать, что для нанесения пенного покрытия в институте Иргиредмет создан передвижной пеногенератор, что несомненно будет способствовать широкому распространению этого способа предохранения от промерзания.

Совершенно очевидно, что при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений основное значение сохранит естественная оттайка с систематическим удалением талого слоя (послойная разработка). Расчеты показывают, что при такой разработке за один летний сезон можно углубиться в толщу мерзлых пород на 8–9 м. Однако на практике эта глубина редко превышает 6 м. Поэтому есть полное основание считать, что возможности послойной разработки мерзлых пород далеко еще не исчерпаны и для повышения ее эффективности совершенно не обязательно добиваться только повышения мощности применяемых бульдозеров. Дело прежде всего заключается в организации работ, в правильном выборе участков месторождения для применения различных способов естественной оттайки, в грамотном проектировании и четком исполнении проектов. Надо указать, что одно только повышение мощности машин, наряду с увеличением производительности вызвало и существенное повышение себестоимости работ. Сравнительно недавно послойное оттаивание обеспечивало стоимость одного кубометра разрабатываемых пород в пределах 25–40 % стоимости игловой гидрооттайки. Сегодня это соотношение стало значительно выше.

Сочетание естественной оттайки с удалением талого слоя и оттайки с его накоплением весьма перспективно, оно обеспечивает существенное продление сезона работ и повышение показателей использования техники. Как уже было сказано, необходим тщательный подбор участков для различных способов оттаивания. Но такой подход, в свою очередь, требует серьезного изучения мерзлотной характеристики пород по всему месторождению. То же самое необходимо и для успешного осуществления мероприятий по предохранению от промерзания. Такое изучение в настоящее время сопряжено с длительными и трудоемкими исследованиями. Льдистость, водопроницаемость, теплопемкость, теплопроводность пород (далеко не все сведения, необходимые для грамотного проектирования) в настоящее время определяют по весьма сложным и требующим специальной аппаратуры методикам. Поэтому необходимо создание экспресс-методик таких определений, обеспечивающих точность, достаточную для инженерных расчетов. Такая задача сегодня должна быть поставлена перед научными организациями.

Очевидно также, что при искусственных способах оттайки, которые применяются в объемах, измеряемых десятками миллионов кубометров, основной энергетической базой (во всяком случае на ближайшее десятилетие) останется тепло естественно нагретой воды поверхностных водотоков и водоемов. При этом следует помнить, что энергопемкость искусственной оттайки весьма велика — для оттайки 1 м<sup>3</sup> мерзлых галечников необходимо израсходовать 25–30 кВт·ч тепловой энергии. Соответственно этому, для одной драги в течение года необходимо до 15 млн кВт·ч. Следовательно, важнейшей задачей представляется снижение энергопемкости оттаивания и использование любых естественных средств для повышения температуры (теплосодержания) воды, используемой для оттайки. Важнейшей задачей также является переход на оптимальное проектирование, основанное на подборе параметров оттайки, различных в разные периоды сезона работ. Следует полностью отказаться от бытовущей иногда практики организации работ, при которой в течение всего сезона сохраняются одни и те же параметры (шаг установки игл и количество нагнетаемой в них воды). Именно такая практика ведет к перерасходу тепловой энергии и снижению технико-экономических показателей оттайки в целом. Остальные мероприятия должны быть направлены в первую очередь на совершенствование техники и оборудования оттайки: повышение производительности бурения, замену металлических игл винилластовыми, предохранение игл от деформации, создание эффективной аппаратуры для восстановления замерзших игл и т.д.

В значительной степени должно быть расширено применение фильтрационно-дренажной оттайки. Здесь также фактические показатели (3–4 м за сезон) существенно отстают от теоретических возможных (8–10 м). И причины опять-таки упираются в недостатки проектирования и недостаточно высокий уровень организации работ. Наглядное доказательство последнего положения — несоблюдение сроков расчистки питающих и дренирующих каналов.

Задача сегодня должна быть поставлена так, чтобы искусственная оттайка применялась не только для оттаивания горной массы на дражных полигонах, но и для обеспечения нормальной работы обычного землеройного оборудования. Технико-экономические показатели искусственной оттайки уже сейчас значительно выше по сравнению с показателями буровзрывного рыхления. Кроме того, что не менее важно, оттайка гораздо безопаснее и обеспечивает большую экологическую чистоту работ. Сочетание различных способов подготовки, для каждого из которых специально подобраны участки месторождения, обеспечит максимальную эффективность открытой разработки многолетнемерзлых месторождений.

#### 7.4. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Оценивая пути повышения эффективности оттайки мерзлых пород, масштабы применения которой неизбежно будут возрастать, и поставив задачу успешного ее конкурирования с буровзрывной подготовкой мерзлых пород к открытой разработке, необходимо учесть и возможность применения автоматизированной системы проектирования (САПР). Такая система прежде всего позволит избежать стандартного подхода к определению параметров и режимов при проектировании работ.

В настоящее время имеется достаточно серьезный теоретический задел для подготовки к внедрению САПР. В первую очередь это работы по теории расчета различных способов оттайки В.Г. Гольдтмана, С.Д. Чистопольского, В.В. Знаменского, Г.З. Перельштейна, Г.З. Перельштейном и Э.Я. Черных составлены математические модели ИГО, А.В. Рашиным, В.Г. Пятаковым — модели естественной оттайки и предохранения талых пород от промерзания и т.д. Вместе с тем, серьезных попыток автоматизации процесса проектирования пока не предпринималось. Существующие модели и программы в первую очередь ориентированы на проведение исследований теплофизических процессов и зависимостей, имеющих место во время оттаивания. При этом сами модели и программы достаточно сложны и рассчитаны на работу крупных центров с мощной вычислительной техникой, которые не могут обслуживать отдельные многочисленные объекты, где применяют оттайку. Самые же предприятия, которые и производят проектирование, вообще не оснащены какой-либо вычислительной техникой и скорее всего в ближайшем будущем у себя вычислительных центров иметь не будут.

В связи с появлением и широким распространением компактных и простых в обращении персональных компьютеров это положение может быстро измениться. Персональные компьютеры могут появиться на любом предприятии. Поэтому уже сейчас следует готовиться к такой возможности. Важнейшей задачей при этом является переориентация математических моделей и программ на использование персональных компьютеров. Очевидно, что надо максимально упростить модели, ограничив

их условиями обеспечения достоверности, достаточной для инженерных расчетов. Теоретический задел сегодня вполне достаточен, чтобы создать пакет прикладных программ, которые, в соответствии с определенным набором исходных данных, выдавали бы экономически эффективные параметры оттайки, предохранения от промерзания, рекомендации по выбору способа оттайки, подбору объектов тепловой мелиорации, технологии подготовки искусственных сущенцов и т.д.

Такая задача, как весьма срочная, должна быть поставлена перед научно-исследовательскими институтами. Экспрессное определение исходных характеристик и внедрение САПР при помощи персональных компьютеров в значительной степени будут способствовать расширению масштабов и повышению эффективности оттайки многолетнемерзлых пород при разработке россыпных месторождений.

#### *Контрольные вопросы и задания.*

1. Охарактеризовать задачи и значение мерзлотной службы на приисках.
2. Перечислить методы определения коэффициента фильтрации и льдистости пород.
3. Каковы основные направления повышения эффективности оттайки мерзлых пород?

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Березин В.П., Лешков В.Г., Мацуев Л.Л. Справочник по разработке россыпей. М., Недра, 1973.
2. Богуславский З.И., Гольдтман В.Г. Оттаивание горных пород при разработке россыпных месторождений. Ленинград, 1979 (ЛГИ).
3. Временные инструктивные положения по фильтрационно-пренажному оттаиванию и подготовке искусственных сущенцов. Магадан, 1979 (ВНИИ-1).
4. Временные инструктивные указания по применению игловой оттайки с зимним бурением скважин. Магадан, 1984 (ВНИИ-1).
5. Гольдтман В.Г., Знаменский В.В., Чистопольский С.Д. Гидравлическое оттаивание мерзлых горных пород. Магадан, 1970 (ВНИИ-1).
6. Емельянов В.И. Техника и технология подготовки многолетнемерзлых пород к выемке. М., Недра, 1978.
7. Инструкция по применению прозрачного пленочного покрова для ускорения оттаивания грунта и замедления его промерзания. Магадан, 1971 (ВНИИ-1).
8. Инструктивные указания по применению игло-фильтрационного оттаивания песков подземной добычи в отвалах комплектом УДФО-1-2000. Магадан, 1975 (ВНИИ-1).
9. Инструктивные указания по использованию пенополистироловых щитов для утепления горных пород. Магадан, 1975 (ВНИИ-1).
10. Перельштейн Г.Э. Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на Северо-Востоке СССР. Новосибирск, Наука, 1979.
11. Потемкин С.В. Оттаяка мерзлых пород. М., МГРИ, 1979.
12. Пятаков В.Г., Левинский Б.В., Ведяев Ю.М. Совершенствование способа предохранения пород от сезонного промерзания пенистыми покрытиями. – В кн.: Разработка рудных и россыпных месторождений. Иркутск, Иргиредмет, 1973, с. 71–80.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>Глава 1. Сезонное промерзание горных пород и борьба с ним . . . . .</b>	<b>19</b>
1.1. Общие сведения . . . . .	19
1.2. Определение величины промерзания поверхностного слоя горных пород . . . . .	22
1.3. Общая характеристика способов предохранения пород от промерзания . . . . .	24
1.4. Технология различных способов предохранения пород от промерзания . . . . .	25
1.5. Определение необходимой толщины теплоизоляционного слоя . . . . .	30
Контрольные вопросы и задания . . . . .	32
<b>Глава 2. Общие сведения об оттайке мерзлых пород . . . . .</b>	<b>32</b>
2.1. Понятие о разупрочнении горных пород и его значение для разработки россыпных месторождений . . . . .	32
2.2. Характеристика способов оттаяки . . . . .	36
2.3. Условия применения различных способов оттаяки . . . . .	40
2.4. Некоторые предпосылки инженерных расчетов гидравлического оттаивания . . . . .	43
Контрольные вопросы и задания . . . . .	46
<b>Глава 3. Технология и расчеты естественной оттаяки . . . . .</b>	<b>47</b>
3.1. Общие сведения . . . . .	47
3.2. Технология естественной оттаяки с систематическим удалением талого слоя . . . . .	49
3.3. Естественная оттаяка с накоплением талого слоя . . . . .	55
3.4. Поверхностная тепловая мелиорация горных пород . . . . .	58
3.5. Использование рассолов для ускорения оттаивания и предохранения от промерзания . . . . .	60
Контрольные вопросы и задания . . . . .	62
<b>Глава 4. Игловая гидрооттаяка . . . . .</b>	<b>62</b>
4.1. Техника и технология игловой гидрооттаяки . . . . .	62
4.2. Параметры игловой гидрооттаяки и их определение . . . . .	76
4.3. Проектирование игловой гидрооттаяки . . . . .	84
4.4. Перспективы совершенствования игловой оттаяки . . . . .	96
Контрольные вопросы и задания . . . . .	103
<b>Глава 5. Фильтрационно-дренажные способы оттаяки . . . . .</b>	<b>104</b>
5.1. Питание и дреинирование фильтрационного потока . . . . .	104
5.2. Технология фильтрационно-дренажной оттаяки . . . . .	109
5.3. Расчеты и проектирование фильтрационно-дренажной оттаяки с кашавым питанием . . . . .	113
5.4. Расчет фильтрационно-дренажной оттаяки с дождевальным питанием фильтрационного потока . . . . .	119
5.5. Перспективы совершенствования фильтрационно-дренажной оттаяки . . . . .	124
Контрольные вопросы и задания . . . . .	129
<b>Глава 6. Зимние способы оттаяки . . . . .</b>	<b>129</b>
6.1. Понятие, обоснование необходимости и область применения . . . . .	129
6.2. Игловые способы зимней оттаяки . . . . .	130
6.3. Электрооттаивание . . . . .	137
6.4. Расчет игловой парооттаяки . . . . .	140
	159

6 5 Технология подготовки искусственных сушенцов	141
6 6 Оттаивание мерзлых исколов для их срочной подготовки к промывке	143
Контрольные вопросы и задания	147
<b>Глава 7. Мерзлотная служба и перспективы повышения эффективности оттайки мерзлых пород . . . . .</b>	<b>148</b>
7 1 Значение и обязанности мерзлотной службы	148
7 2 Определение характеристик мерзлых пород	150
7 3 Основные направления повышения эффективности оттайки	155
7 4 Возможности применения автоматизированных систем проектирования	157
Контрольные вопросы и задания	158
<b>Список литературы</b>	<b>158</b>

## УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Потемкин Сергей Валерьевич**

**ОТТАЙКА МЕРЗЛЫХ ПОРОД**

Заведующий редакцией Е И Кит

Редактор издательства Л А Дубкова

Технические редакторы Л Н Фомина, Л А Миронова

Корректор Е М Федорова

Операторы Ю А Савельева, В Д Зуева, Н П Зверева

ИБ № 8306

---

Подписано в печать с репродукций  
Формат 60x88 1/16. Бум. офсетная № 2.  
Усл.-печ. л. 9,8. Усл. кр.-отт 10,04.  
Зак. № 1483 /2342-1. Цена 40 коп.  
Набор выполнен на наборно-пишущей маш

---

ного оригинал-макета, 22.04.91.  
итура Пресс-роман. Печать офсетная.  
ч.-изд. л. 11,10. Тираж 1280 экз

---

Ордена "Знак Почета" издательство "Недр  
125047 Москва, Тверская застава, 3.

Московская типография № 9 НИО "Всесоюз  
по печати.  
109033, Москва, Волочаевская ул., 40

и книжная палата" Госкомитета СССР