

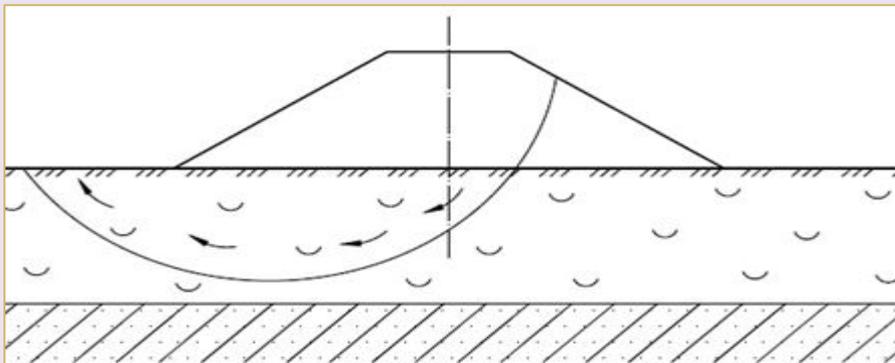
ЛЕКЦИЯ 3

СТРОИТЕЛЬСТВО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ И В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

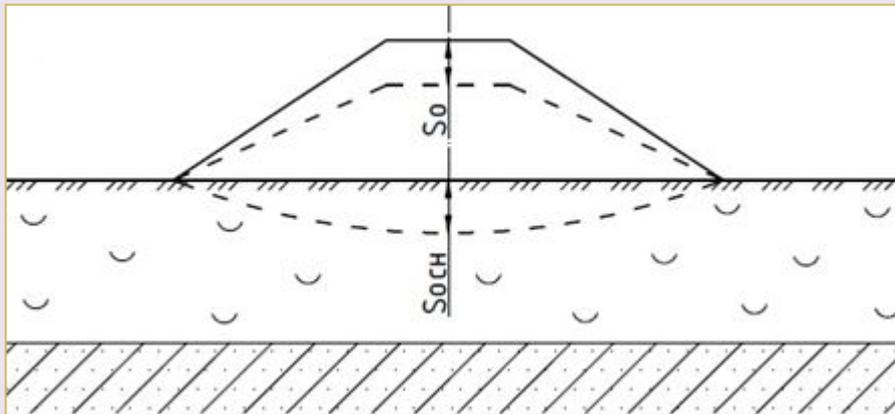
1. Основные причины нарушения стабильности земляного полотна на слабых основаниях

Многолетний опыт строительства и эксплуатации земляного полотна показывает, что причиной потери его стабильности являются следующие основные виды разрушений и деформаций

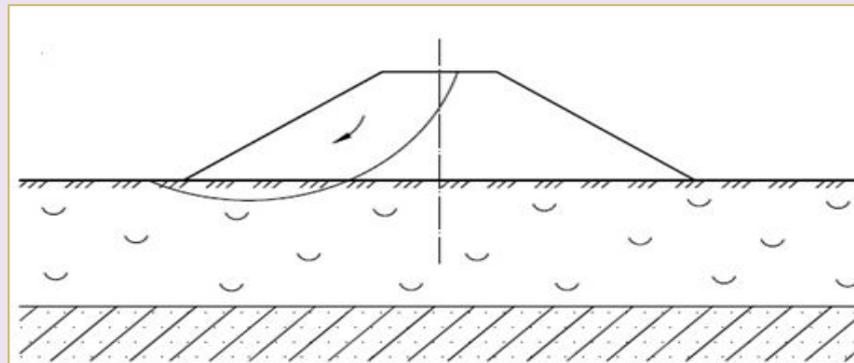
потеря прочности основания



осадка насыпи из-за уплотнения грунтов основания



потеря устойчивости откосов



Наличие деформаций сопровождается длительным отсутствием стабилизации, появлением просадок и перекосов. Таким образом, для того чтобы запроектировать земляное полотно, удовлетворяющее эксплуатационным требованиям, необходимо, чтобы были соблюдены основные условия стабильности: обеспечена *несущая способность основания*; обеспечена *устойчивость откосов*; достигнута *требуемая консолидация слабого основания*; разработаны мероприятия, обеспечивающие нормальную эксплуатацию земляного полотна с учетом осадки. Выполнение этих условий достигается проектированием земляного полотна на основании специальных расчетов.

Использование слабого грунта в качестве естественного основания всегда приводит к появлению *деформаций* насыпи. Одной из причин этих деформаций является разрушение основания, связанного с **потерей его несущей способности** (прочности).

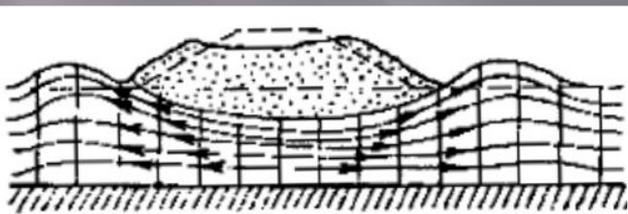
Формы нарушения несущей способности

Выпор

С выдавливанием грунта из-под насыпи без нарушения устойчивости откосов

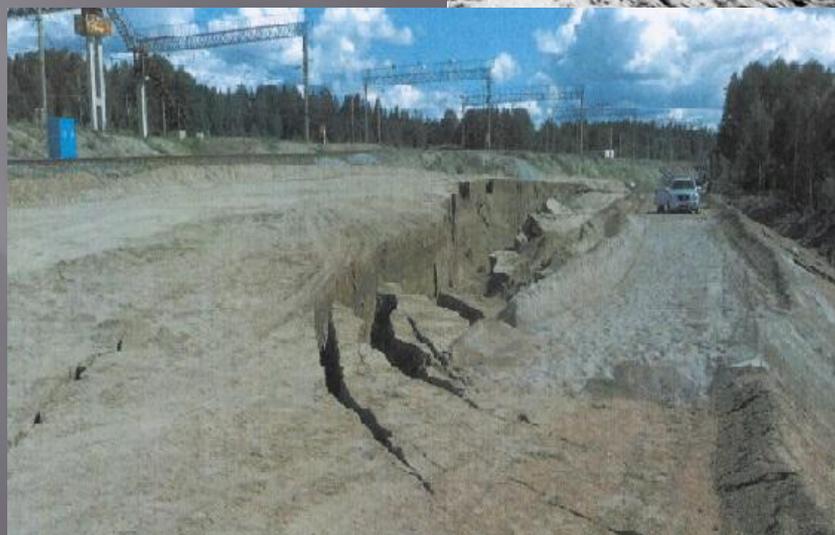
С выдавливанием грунта из-под насыпи с потерей устойчивости откосов

Выдавливание грунта с боковым уплотнением без образования бугров выпирания



Примеры потери нарушения стабильности земляного полотна на слабом основании

Потеря прочности слабого
основания, сопровождающаяся
разрушением насыпи



↑
Земляное полотно
новой автомобильной
дороги на торфе

При уширении
земляного полотна
на иольдиевых
глинах →

↑
При строительстве
второго пути на
иольдиевых глинах

2. Особенности системы расчетов земляного полотна, опирающегося на слабые основания

Расчеты земляного полотна

По I – ому предельному состоянию: по несущей способности

1. Должна быть обеспечена несущая способность слабого основания в любой момент времени, начиная с момента начала строительства.

$$P \leq \frac{\gamma_s}{\gamma_n} [P]$$

P - расчетные напряжения в основании земляного полотна от подвижного состава, веса верхнего строения пути, собственного веса грунтов насыпи, кПа; $[P]$ – несущая способность слабого основания земляного полотна, кПа; γ_n - коэффициент надежности по ответственности сооружения (определяется категорией железной дороги); γ_s - коэффициент условий работы, принимаемый для слабых грунтов в нестабилизированном состоянии равным 0,85.

2. Должна быть обеспечена устойчивость откосов насыпи в любой момент времени, начиная с момента начала строительства.

$$K_y \geq K_s$$

K_y - расчетный коэффициент устойчивости откосов;
 K_s – минимальный требуемый коэффициент устойчивости

По II – ому предельному состоянию: по деформациям

1. Остаточная деформация основания земляного полотна $S_э$ (мм) в ходе эксплуатации не должна превышать допустимую $[S_э]$ (мм).

$$S_э \leq [S_э]$$

2. Интенсивность осадки основания земляного полотна $\Delta S_э$ (мм/год) в ходе эксплуатации не должна превышать допустимую $[\Delta S_э]$ (мм/год).

$$\Delta S_э \leq [\Delta S_э]$$

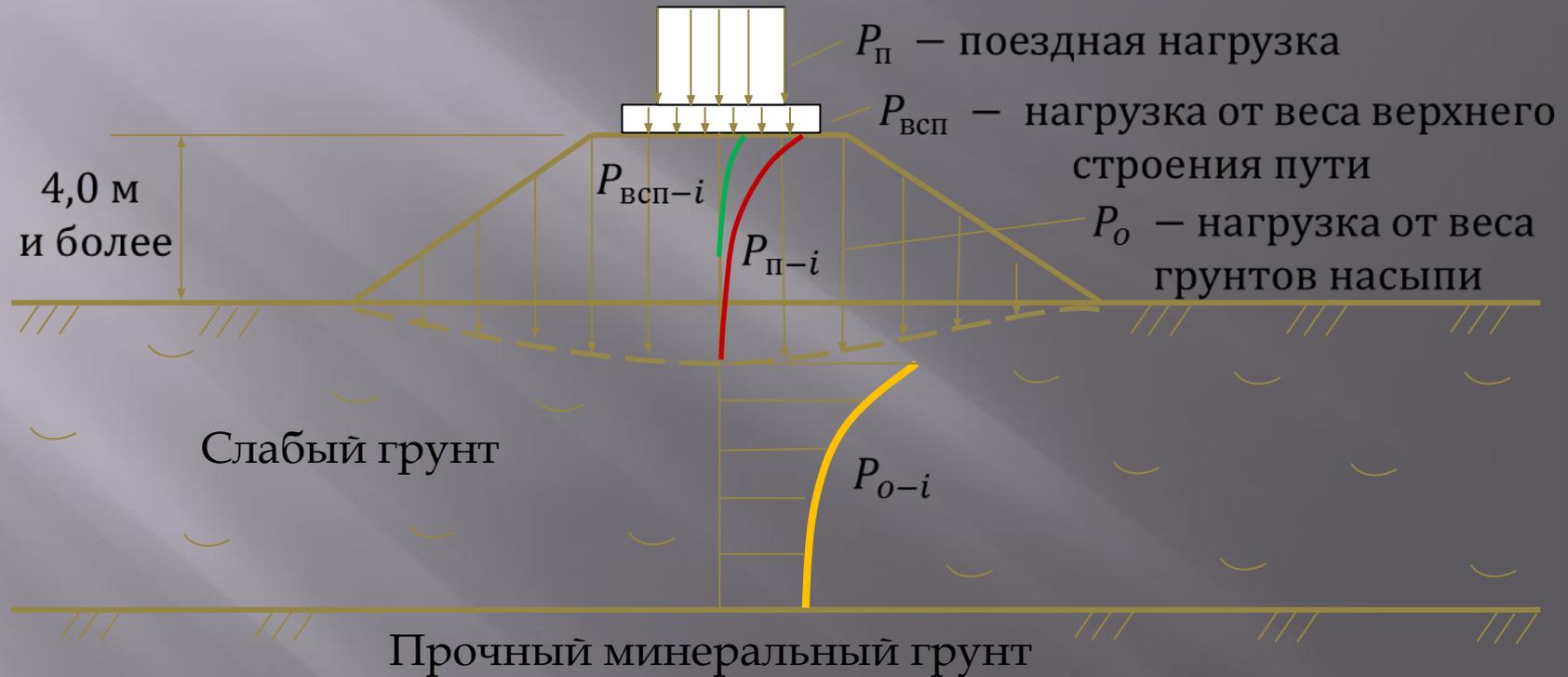
3. Упругая осадка основания земляного полотна под поездной нагрузкой S_y (мм) не должна превышать допустимую $[S_y]$ (мм).

$$S_y \leq [S_y]$$

4. Деформация равномерного морозного пучения грунтов не должна превышать допустимую (мм).

3. Нагрузки на слабое основание земляного полотна

Общая схема передачи нагрузки на земляное полотно и его основание



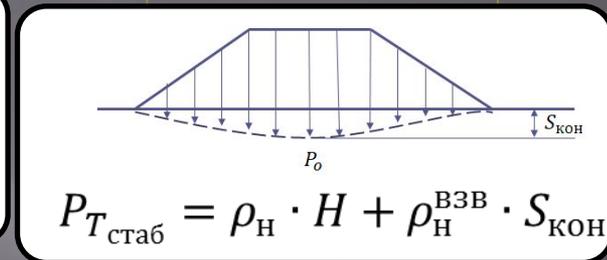
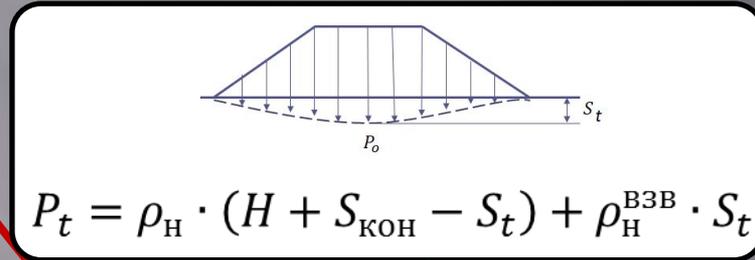
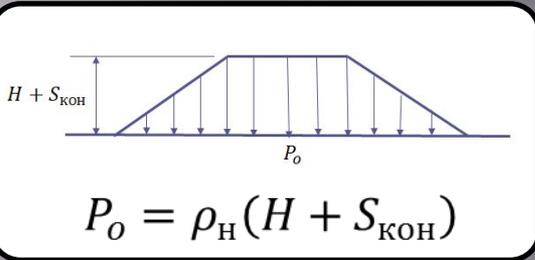
При расчетах прочности и осадок (упругих и остаточных) слабого основания нагрузка от веса верхнего строения пути и поездная нагрузка учитываются при высоте насыпного слоя с учетом просевшей части менее 4,0 м. В противном случае – не учитываются, поскольку при мощности насыпного слоя 4,0 м и более их значения на поверхности основания практически равны нулю

Нагрузка на основание в процессе осадки насыпи

На примере, когда уровень воды совпадает с поверхностью болота

$$\rho_H^{B3B} = \rho_H - \rho_{H_2O}$$

$P_o, \text{кПа}$



$t, \text{мес.}$

$T_{\text{стаб}}$

t

0,00

P_t

S_t

t

$S_{\text{кон}}$

$S_t, \text{м}$

Начало строительства

$T_{\text{стаб}}$

$t, \text{месяцы (годы)}$

5. Методы оценки несущей способности слабого основания и устойчивости откосов земляного полотна

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \sin \varphi + C \cdot \cos \varphi$$

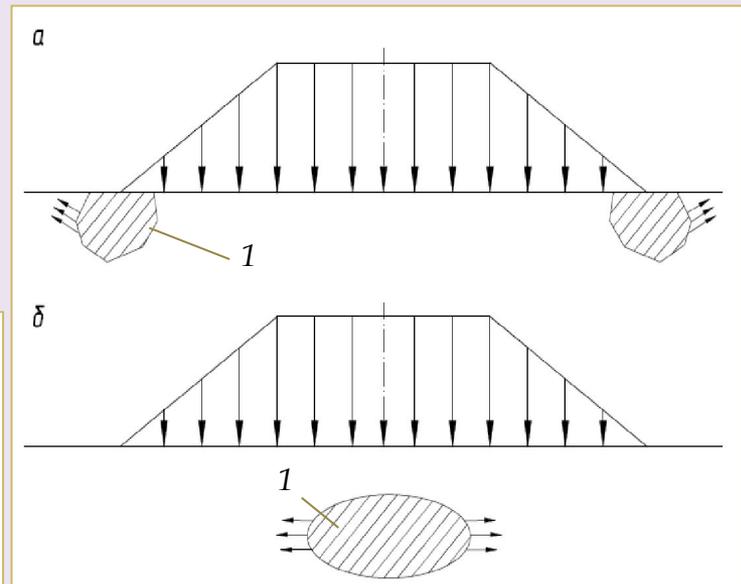
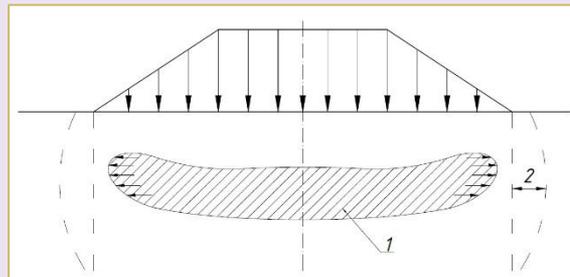
где σ_1 – большее главное напряжение; σ_2 – меньшее главное напряжение; φ – угол внутреннего трения грунта основания; C – удельное сцепление грунта

В тех точках основания, где выполняется это соотношение, наступает *предельное напряженное состояние*.

Дальнейшее изменение соотношения полусуммы и полуразности главных напряжений может привести к разрушению грунта в этих точках, т. е. к переходу его в запредельное состояние.

Если не только в одной точке, но и в соседних с ней, возникает запредельное напряженное состояние, то образуются целые зоны разрушения, локализация которых может быть различной в зависимости от очертания поперечного профиля насыпи

1 – зона разрушения
2 – дополнительное боковое сжатие

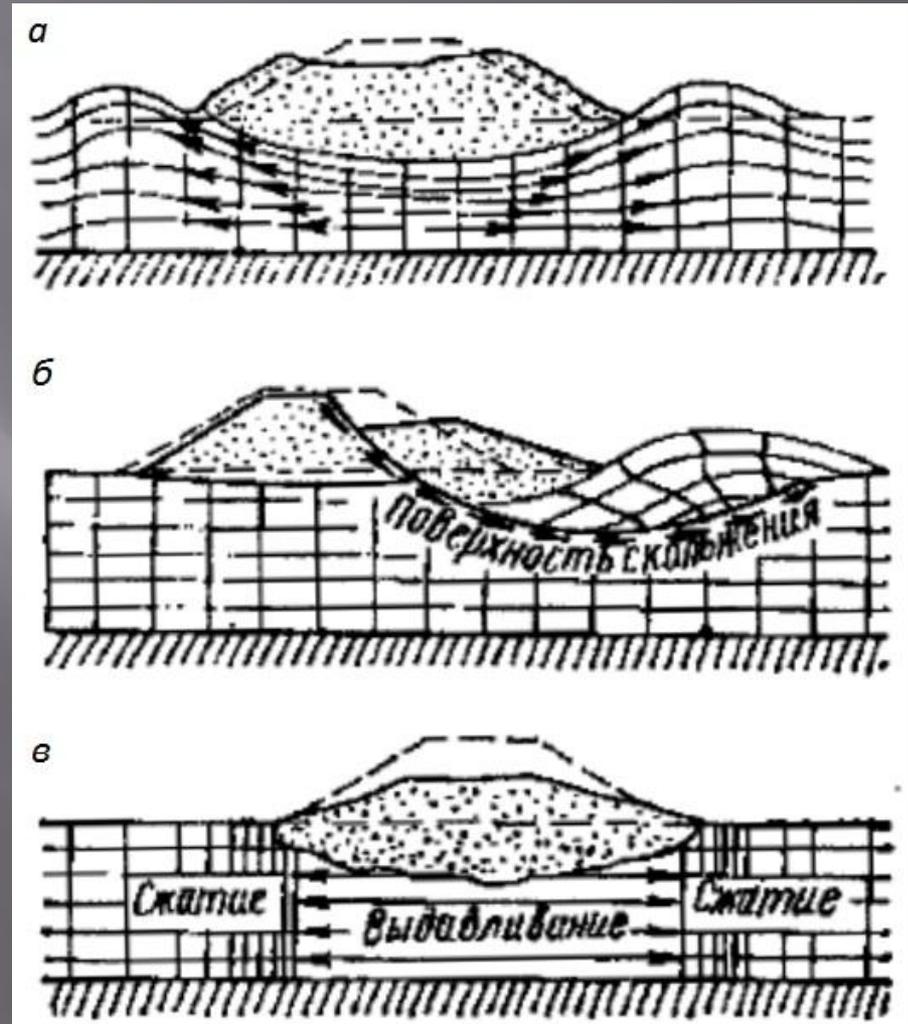


6. Строительная классификация болот.

Болото I типа - заполненные торфом и другими болотными грунтами устойчивой консистенции, сжимающимися под нагрузкой от насыпи высотой до 3 м

Болото II типа - заполненные торфом и другими болотными грунтами разной консистенции, в том числе выдавливающимися под нагрузкой от насыпи высотой 3 м

Болото III типа - заполненные болотными грунтами в разжиженном состоянии, выдавливающимися под нагрузкой, с торфяной коркой (сплавиной) или без нее



1. Общие положения производства земляных работ.

1. Варианты организации работ по возведению земляного полотна

Директивные сроки
строительства

Директивные сроки
строительства

Сравнение вариантов

$$\mathcal{E} = \Delta C + \mathcal{E}_D - \mathcal{Z}_{\text{доп}}$$

ΔC – изменение себестоимости строительно-монтажных работ по сравнению с вариантом с большей продолжительностью за счет изменения прямых затрат и накладных расходов.

\mathcal{E}_D – экономический эффект от досрочного ввода строящейся железной дороги в эксплуатацию.

$\mathcal{Z}_{\text{доп}}$ – дополнительные затраты, способствующие сокращению продолжительности сооружения земляного полотна

2. Использование машин и транспортных средств повышенной проходимости

Тракторы и бульдозеры с
уширенными
гусеницами



Скреперы,
автогрейдеры,
автомшины – шины
из морозостойчивой
резины



Организация
ремонтной базы

Мобильные
производственные
базы технического
обслуживания (ТО) и
ремонта (ТР)



3. Разработка вечномерзлых грунтов

В естественном состоянии

С применением предварительного
оттаивания



Естественное (с использованием
солнечного тепла)

Искусственное (электропрогрев,
паровая игла, термитный способ и
др.)

Естественное оттаивание грунта

При разработке карьеров, резервов, выемок и водоотводов

В дренирующих грунтах

При расположении объекта на склонах южной экспозиции

Производительность землеройной техники, время оттаивания и осушения слоя грунта

L_{Φ} ← → L_{Φ}

I захватка - оттаивание

II захватка - разработка

Искусственное оттаивание грунта

При незначительных объемах работ (в резервах, котлованах)



По направлению распространения тепла в грунте

Сверху - вниз

- Снизу - вверх

По радиальному направлению



По виду применяемого теплоносителя

Огневой способ

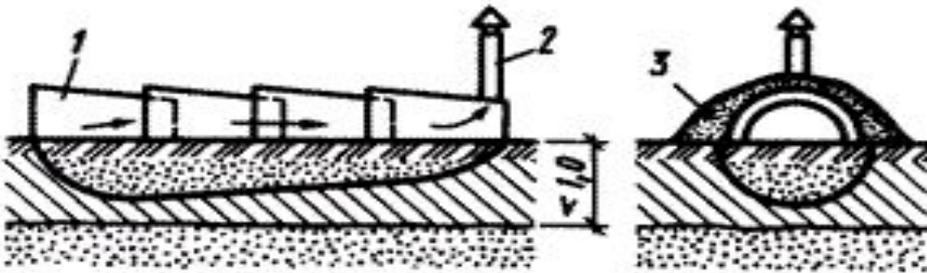
- Способ электропрогрева

Паровое оттаивание

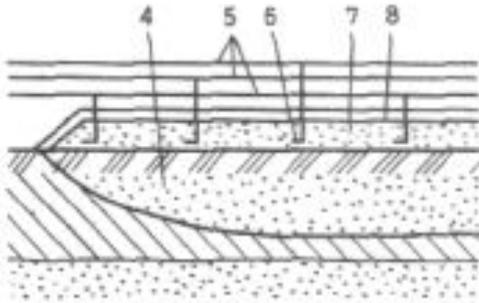
Огневой способ

- 1 – камера сгорания;
- 2 – вытяжная труба;
- 3 – обсыпка талым грунтом.

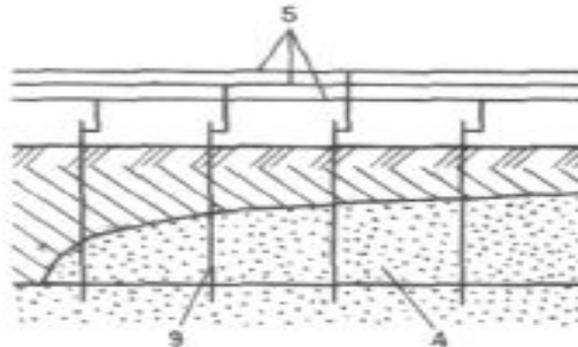
Для отрывки небольших траншей



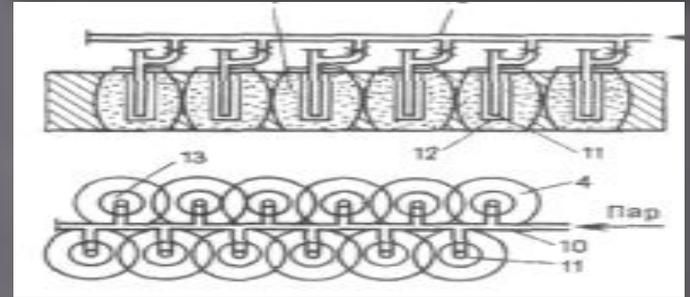
Гор. электродами



Верт. электродами сверху - вниз



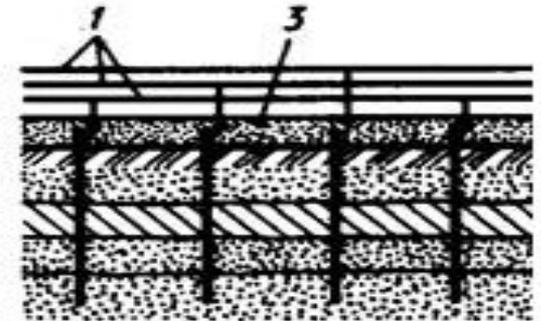
Паровое оттаивание



Электропрогрев

- 1 – трехфазная электрическая сеть;
- 2 – горизонтальные полосовые электроды;
- 3 – слой опилок;
- 4 – слой толи или рубероида;
- 5 – стержневой электрод

Верт. электродами сверху - вниз и снизу-вверх



4. Применение временных и долговременных обходов на участках сосредоточенных объемов земляных работ или временных переходов через водотоки, лимитирующих укладку пути.

5. До начала работ - дополнительное обследование района с целью выявления дополнительных карьеров с грунтами, пригодными для насыпей.

6. Оборудование объектов производства работ искусственным освещением и пунктами обогрева рабочих.

2. Организация подготовительных работ.

1. Рубка леса и кустарника – только в пределах границ, установленных проектом.

Спиливание

Валка деревьев с корнями и корчевка пней -
ЗАПРЕЩЕНА

2. В пределах марей, участков с подземным льдом, участков с льдонасыщенными глинистыми грунтами.

Повреждение дернового и мохового
покрова - ЗАПРЕЩАЕТСЯ

3. Устройство водоотводных канав - до начала основных работ.

Разработка на полный профиль – в
период полного оттаивания
деятельного слоя

Снятие растительного покрова на
ширину большую размера канавы
поверху – ЗАПРЕЩАЕТСЯ

4. Заготовка грунтов для отсыпки земляного полотна в штабели (бурты).



5. Предварительное оттаивание грунтов в карьерах, резервах, котлованах, выемках.

Удаление снежного покрова с наступлением первой весенней оттепели

Снятие растительного почвенного слоя сразу после его оттаивания

6. Уменьшение глубины промерзания грунта в карьерах, выемках, резервах и т.д.

Снегозадержание в осенне-зимний период

Теплоизоляция грунта

7. Работы по очистке трассы и устройству технологических автодорог следует выполнять в зимнее время.

3. Возведение насыпей и выемок.

НАСЫПИ

1. Насыпи на прочном и недостаточно прочном основании

По существующим технологическим схемам.
Всеми видами землеройных машин.

2. Насыпи в пределах марей

По технологии отсыпки земляного полотна на болотах.
Без удаления растительно-мохового покрова.
Без выторфовки

3. Насыпи из глинистых грунтов, мелких и пылеватых песков

В теплое время года.
С использованием грунтов в талом состоянии.
С использованием мерзлых грунтов – при условии оттаивания каждого слоя грунта до момента отсыпки следующего слоя при обеспечении требуемой плотности и $I_L \leq 0,5$

НАСЫПИ

4. насыпи на участках залегания подземного льда

1. Строгое соблюдение последовательности выполнения отдельных видов работ.

2. Сохранение естественного мохо - растительного покрова.

3. Укладка в основание насыпей неделовой древесины.

4. Возведение насыпей методом «С ГОЛОВЫ».

Возведение насыпей на участках залегания подземного льда

На участках удаления подземного льда.

1. Вырезка льда и льдистых грунтов

Бульдозерами

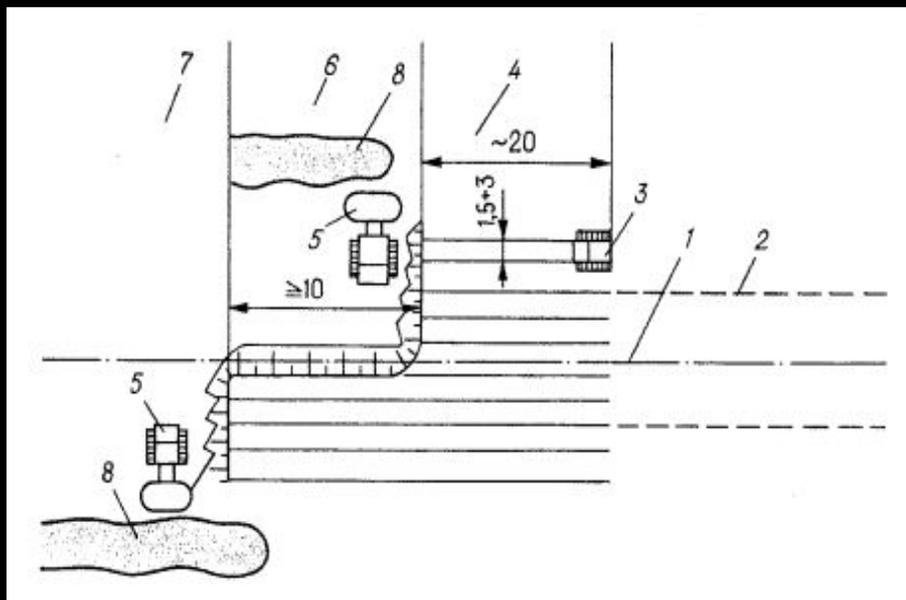
Рыхлителями

Взрывной способ



Возведение насыпей на участках залегания подземного льда

Технологическая схема



1 - ось трассы; 2 - подошва насыпи;
3 - баровая машина; 4 - участок работы баровой машины;
5 - бульдозеры; 6 и 7 - участки работы бульдозеров;
8 - отвалы грунта

Вырезка льда бульдозерами

Состав работ:

1 - нарезка щелей баровой машиной



2 - вырезка льда бульдозером

3 - разравнивание отвалов льда слоем
1-1,5 м за пределами водоотводных канав

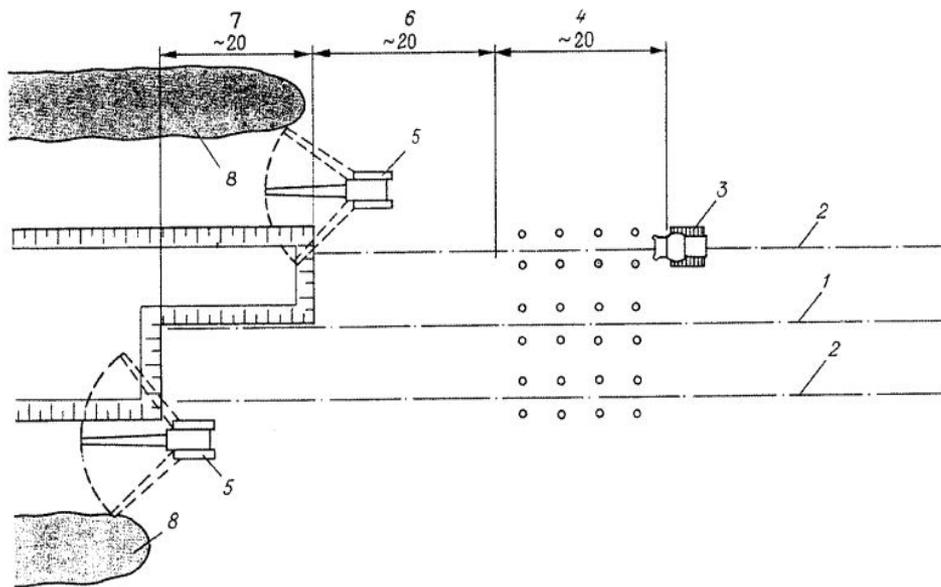
Возведение насыпей на участках залегания подземного льда

Вырезка льда с использованием взрывов

Технологическая схема

Состав работ:

- 1 – бурение шпуров в грунте;
- 2 – взрывание грунта;
- 3 – вырезка льда экскаваторами в отвал;

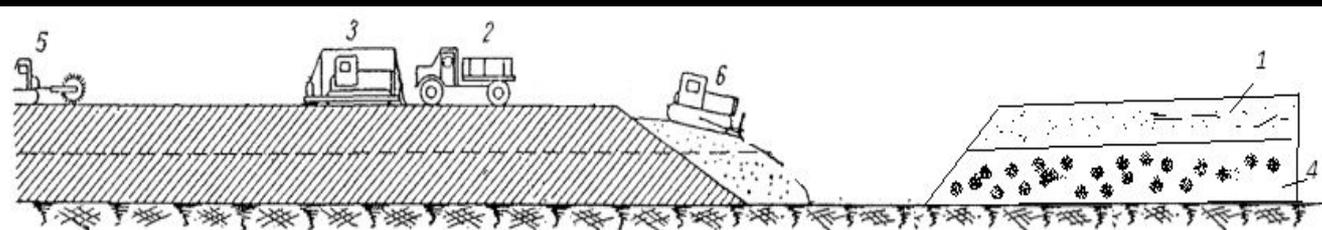


1 – ось трассы; 2 – подошва насыпи;
3 – буровая машина; 4 – участок подготовки к взрыванию;
5 – экскаваторы; 6 и 7 – участки работы экскаваторов;
8 – отвалы грунта

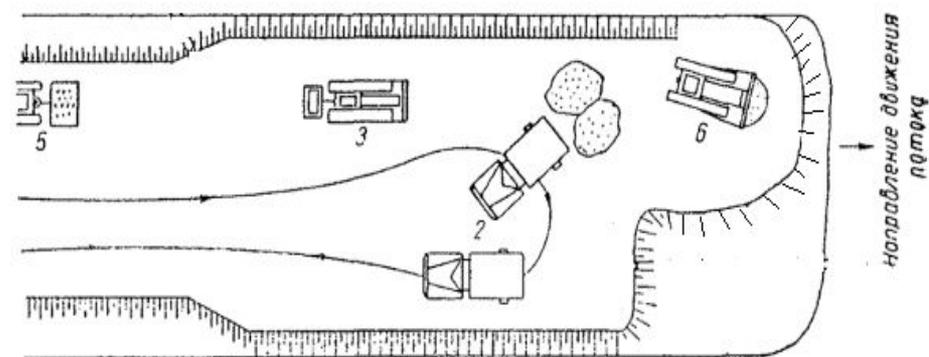
Возведение насыпей на участках залегания подземного льда

2. Засыпка траншеи привозным грунтом взамен удаленного льда методом «с головы».

Технологическая схема



- 1 – деятельный слой;
- 2 – автосамосвал;
- 3 – трамбующие устройства;
- 4 – подземный лед;
- 5 – каток;
- 6 – бульдозер



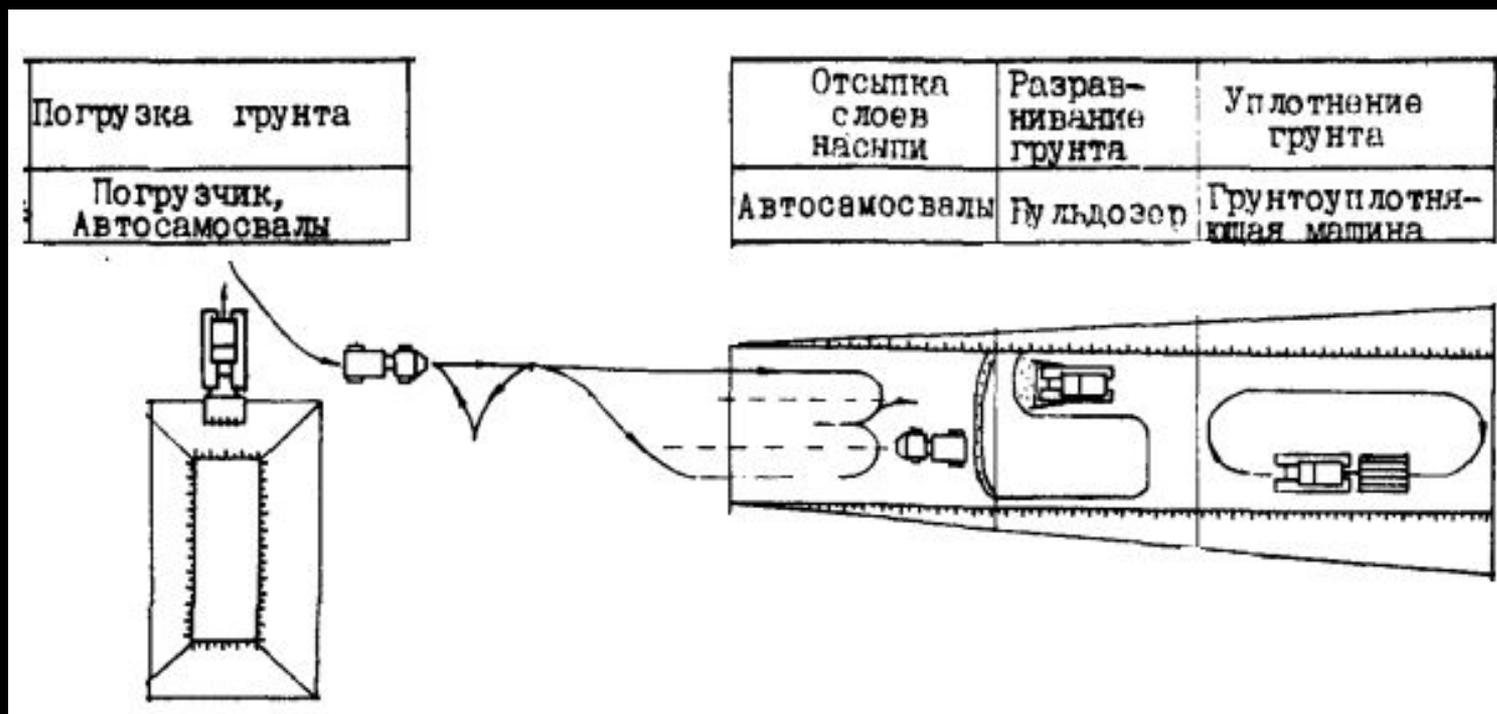
Возведение насыпей на участках залегания подземного льда

Технологическая схема

3. Отсыпка нижнего слоя насыпи методом «с головы».

Без заездов автосамосвалов на поверхность основания насыпи и прилегающей полосы отвода

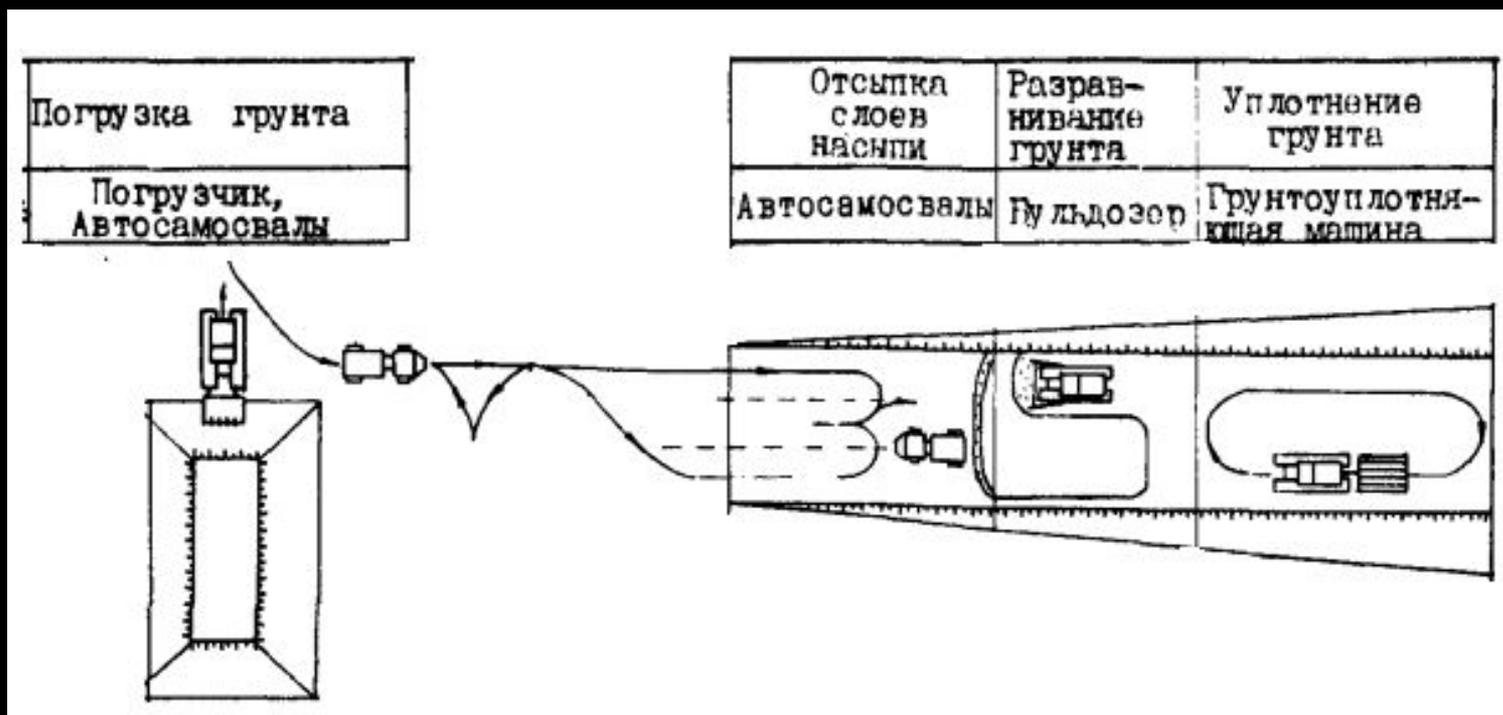
Толщина слоя – в зависимости от несущей способности грунтов основания (не менее 0,5 м)



Возведение насыпей на участках залегания подземного льда

На участках без удаления подземного льда.

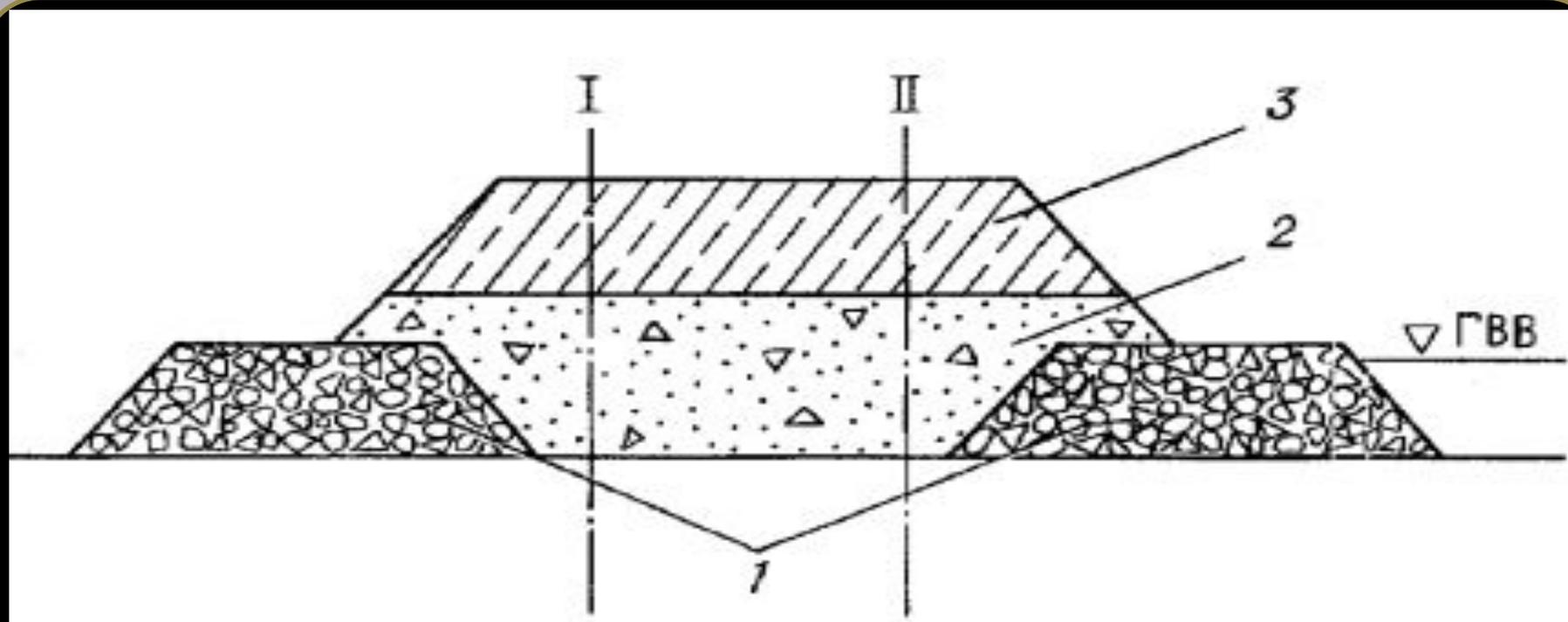
1. Отсыпка нижнего слоя насыпи («тропы») методом «с головы».



2. Отсыпка верхней части насыпи по существующим технологиям.

Сооружение подтопляемых насыпей на поймах рек

I - III этапы строительства



- 1 - бермы-дамбы из скального грунта;
- 2 - нижняя часть насыпи из дренирующего грунта;
- 3 - верхняя часть насыпи

ВЫЕМКИ

1. Выемки в песках, крупнообломочным и скальных грунтах, а также глинистых грунтах с $I_L \leq 0,75$



Разработка круглогодично.

2. Выемки в глинистых грунтах с $I_L > 0,75$ или с наличием подземного льда



Разработка в зимнее время

Способы производства работ



Рыхление грунта механическим или взрывным способом с погрузкой экскаваторами в автосамосвалы



Послойное естественное оттаивание грунта с разработкой бульдозерами и погрузкой экскаваторами и погрузчиками в транспортные средства



Разработка оттаявшего грунта скреперами

4. Организационно-технологические схемы сооружения земляного полотна.

Организационно-технологические схемы сооружения земляного полотна на вечномерзлых грунтах



Одноэтапная
за один холодный сезон

Двухэтапная
за два холодных сезона

Схема	Первый год		Второй год	
	октябрь-май	июнь-сентябрь	октябрь-май	июнь-сентябрь
Одноэтапная	Сооружение автозимников. Отсыпка насыпей тальми, сухомерзлыми и сыпучемерзлыми грунтами из отдаленных карьеров или из буртов. Сооружение водоотводов.	Планировка основной площадки и откосов. Сдача насыпи под укладку верхнего строения пути (ВСП). Укрепление откосов	Укладка ВСП. Рабочее движение. Возведение устройств инженерной защиты (снегозащиты, наледезащиты и т.п.)	Временная эксплуатация
Двухэтапная	Отсыпка нижней части насыпи твердомерзлыми грунтами	Послойная разработка оттаивающих мерзлых грунтов и заготовка талых грунтов в бурты и в штабели, в том числе способом гидромеханизации	Разработка грунта в буртах. Досыпка насыпей до проектного профиля. Планировка земляного полотна. Укладка ВСП. Укрепление откосов	Временная эксплуатация