

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ



## РАЗДЕЛ 2: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ РАЙОНАХ

**Вопрос 3.** Обследование болот при изысканиях дорог

**Вопрос 4.** Конструкции земляного полотна дорог на болотах



**Вопрос 5.** Расчет осадки земляного полотна на слабом основании

# Вопрос 3. Обследование болот при изысканиях дорог



# **КОМПЛЕКС ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ**

- трассирование вариантов;
- закрепление трассы;
- разбивка пикетажа;
- двойное геометрическое нивелирование по оси трассы;
- съемка поперечников;
- инженерно-геологическое обследование по оси трассы и по поперечникам;
- отбор и изучение образцов торфа.

# **крупномасштабная топографическая съёмка плана болота**

- используют современное геодезическое и другое оборудование:
  - электронные тахеометры,
  - регистрирующие нивелиры,
  - приемники спутниковой навигации,
  - приборы воздушного и наземного лазерного сканирования,
  - приборов инженерной геофизики.

## **аэрокосмическая съёмка**

- применяют современное аэрофотосъёмочное оборудование АФА (электронная аэро-фотоаппаратура).

# Поверхность болота

малые уклоны

основной геодезический прибор

оптический нивелир с  
компенсаторами  
(самоустанавливающийся)

нивелир регистрирующий  
(электронный)

*Точный нивелир 3Н-2КЛ*

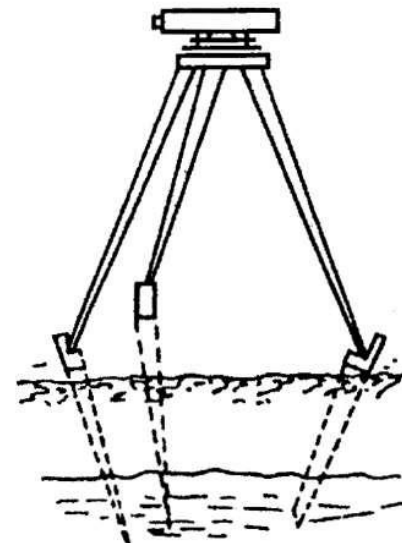


*Точный электронный нивелир  
PowerLevel SDL-30 фирмы  
«Sokkia» (Япония)*



# правила нивелирования трасс автомобильных дорог на проходимых болотах:

- нивелирование производят обязательно с использованием нивелиров-автоматов (т.е. с компенсаторами);
- связующие точки на местности обозначают мощными кольями;
- в отдельных случаях для придания большей устойчивости штатив нивелира устанавливают на специальные наклонно вбитые колья;
- перед взятием отсчетов каждый раз контролируют правильность установки прибора по круглому уровню при подставке;



- при неустойчивых грунтах иногда нивелирование производят два нивелировщика, когда один из них берет отсчет назад, а второй — вперед, не обходя нивелира;
- всегда стремятся (когда есть возможность) производить нивелирование трасс дорог и поперечников на заболоченных участках местности в зимний период времени по замерзшему болоту (это, в частности, относится к изысканиям дорог на участках непроходимых болот);
- поперечники снимают с шагом через 100-200 м, охватывая ширину от 30 до 100 м в зависимости от категории дороги, глубины болота и рельефа его минерального дна;
- реперы на участках перехода болот закладывают на возвышенных местах и на берегах болот в стороне от трассы за пределами полосы отвода;
- реперы закладывают в плотный минеральный грунт, где не ожидается просадок грунта или его смещений.

# задача обследования болот - сбор следующих данных:

- происхождение болота;
- состав торфа и условия его залегания (строение, мощность, плотность, степень разложения);
- состав грунтов минерального дна;
- физико-механические характеристики пород;
- рельеф минерального дна;
- гидрологический режим болота;
- наличие вблизи перехода грунтов, пригодных для возведения земляного полотна (прежде всего крупнозернистых песчаных и гравелистых с высокими коэффициентами фильтрации).



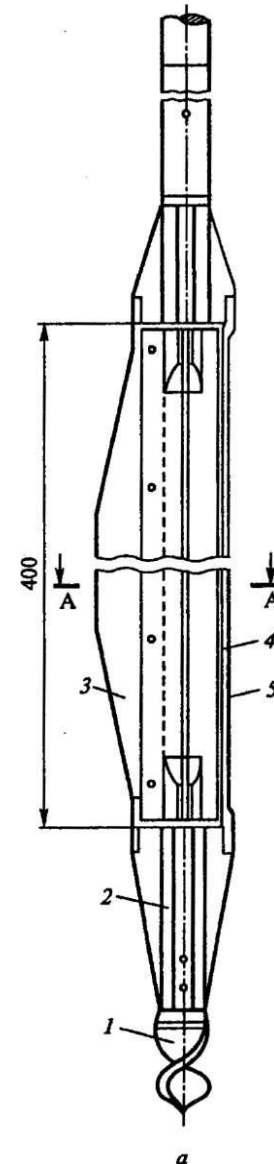
# ЗОНДИРОВАНИЕ БОЛОТ

торфяной бур ТБ-5

двухдюймовый ручной буровой комплект без обсадных труб

**взятия образцов торфа с  
ненарушенной структурой**

бурят опорные скважины с  
обсадными трубами



- 1 - винт;
- 2 - полуконус;
- 3 - нож;
- 4 - сердечник;
- 5 - ложка.

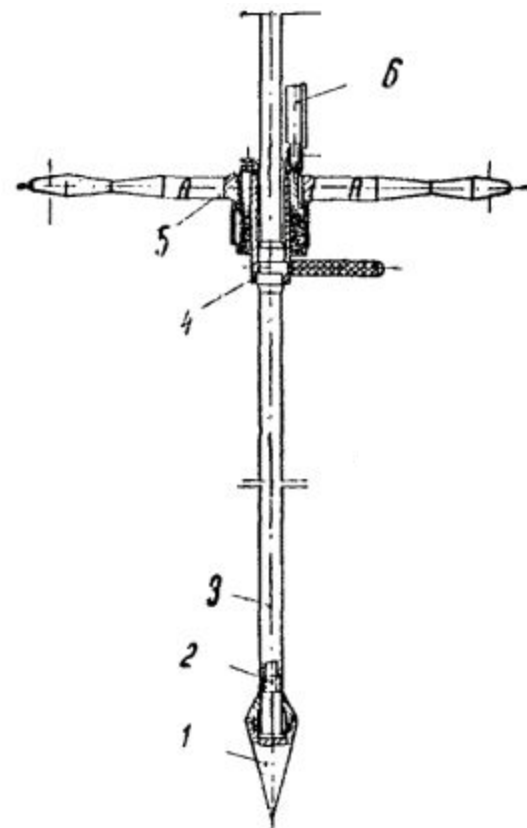


# Определение физико-механических свойств слабых грунтов

производят непосредственно в полевых условиях

ручные приборы:

Пенетрометр П-4 (прибор для измерения степени уплотнения)



1 - конусный наконечник;  
2 - стержень; 3 - штанга; 4 - упор;  
5 - рукоятка; 6 - индикатор

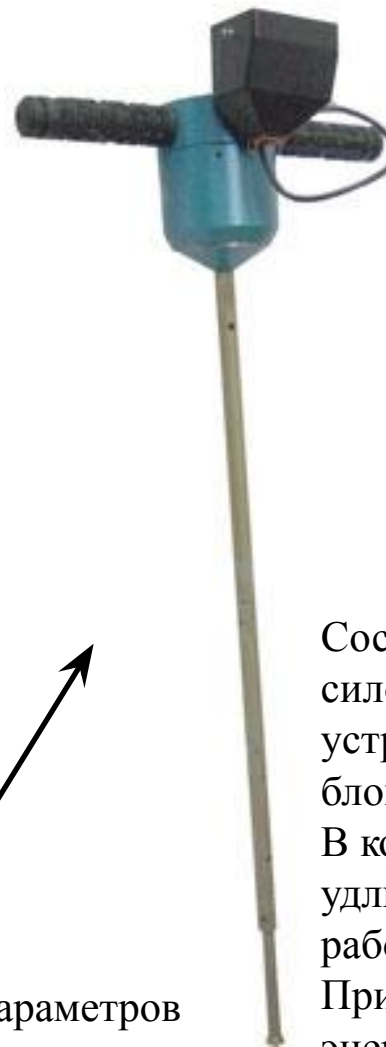
# Определение физико-механических свойств слабых грунтов

производят непосредственно в полевых условиях

ручные приборы:

Пенетрометр П-4 (прибор для измерения степени уплотнения)

Пенетрометр грунтовый ПСГ-МГ4



ПСГ-МГ4

ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ:

1. ускоренного контроля качества уплотнения грунта;
2. определения прочностных характеристик грунтов – угла внутреннего трения, удельного сцепления, модуля упругости

Состоит из тензометрического силоизмерительного устройства и электронного блока с графическим дисплеем. В комплект также входят удлинительные штанги и рабочие наконечники. Прибор имеет таймер, энергонезависимую память и связь с ПК через usb-порт.

Вычисление параметров грунтового основания производится автоматически

# Определение физико-механических свойств слабых грунтов

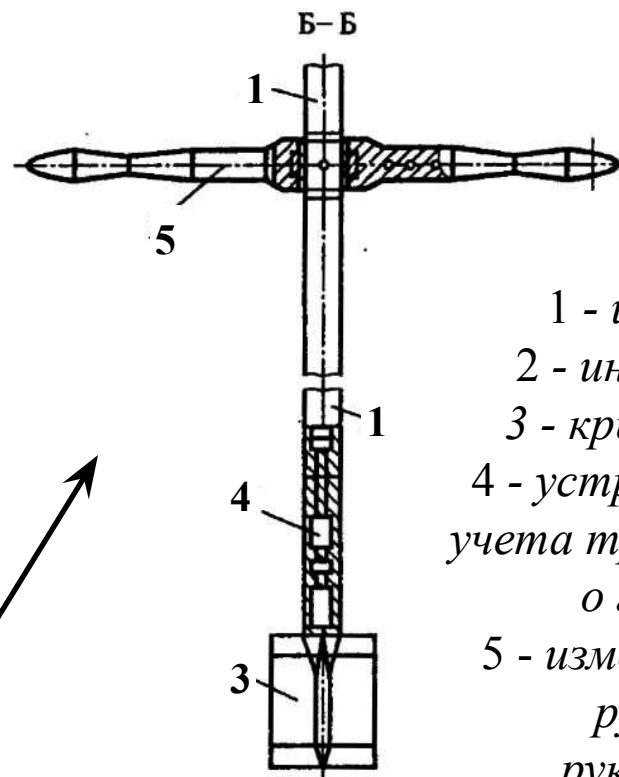
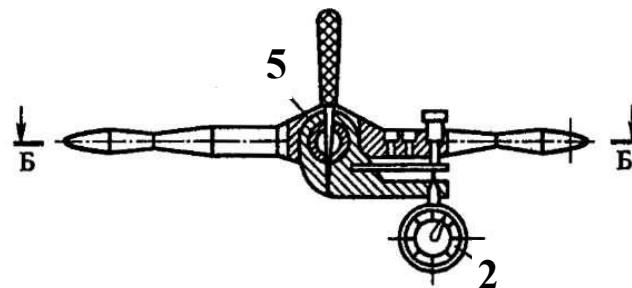
производят непосредственно в полевых условиях

ручные приборы:

Пенетрометр П-4 (прибор для измерения степени уплотнения)

Пенетрометр грунтовый ПСГ-МГ4

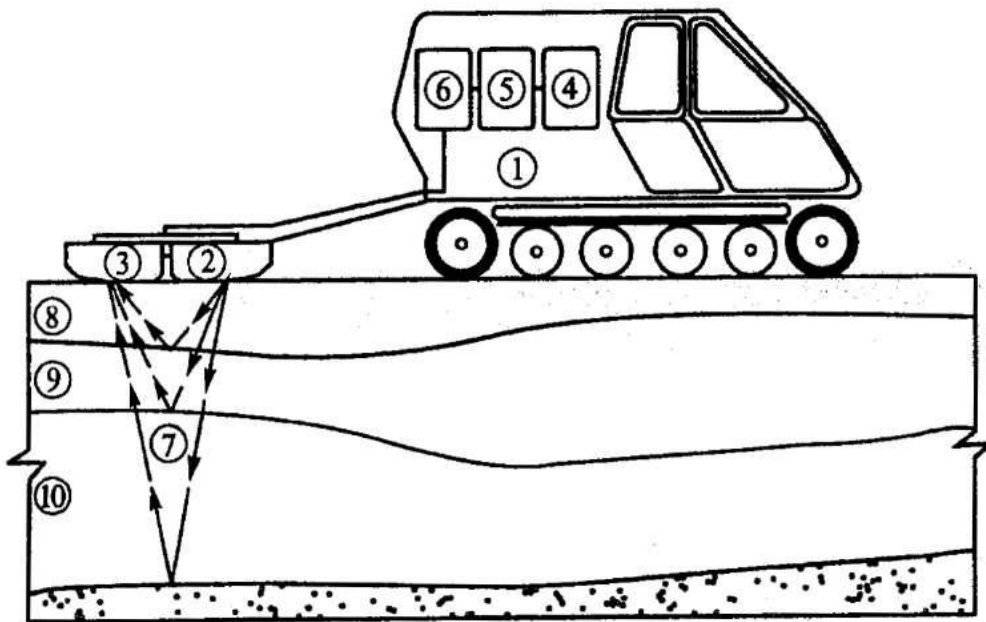
сдвигомер-крыльчатка СК-8 (определение сопротивления сдвигу)



- 1 - штанга;
- 2 - индикатор;
- 3 - крыльчатка;
- 4 - устройство для учета трения штанг о грунт;
- 5 - измерительная ручка с рукояткой

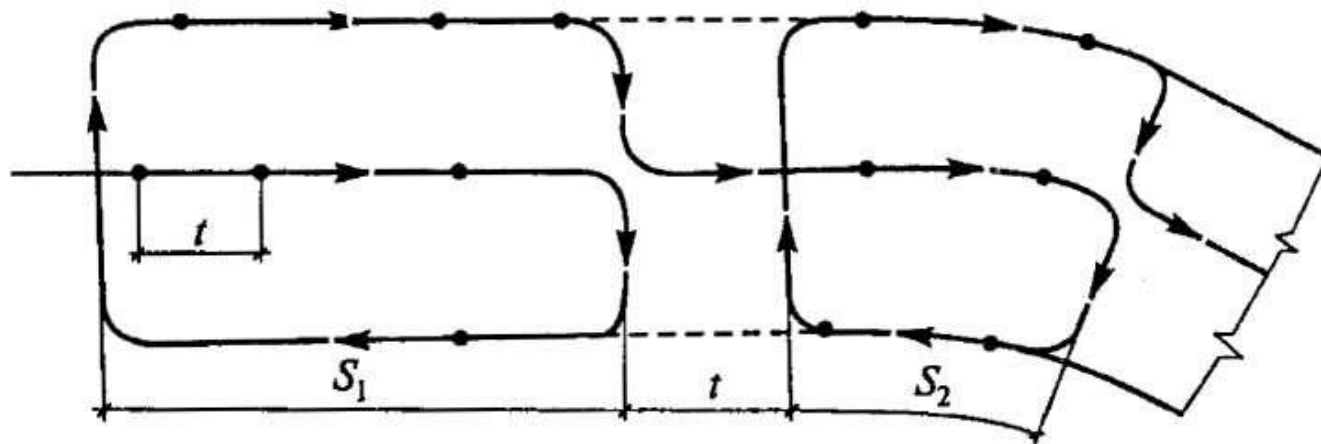
# использование при инженерно-геологических изысканиях **ГЕОРАДАРОВ** — приборов радиолокационного зондирования

## *Принципиальная схема георадара*

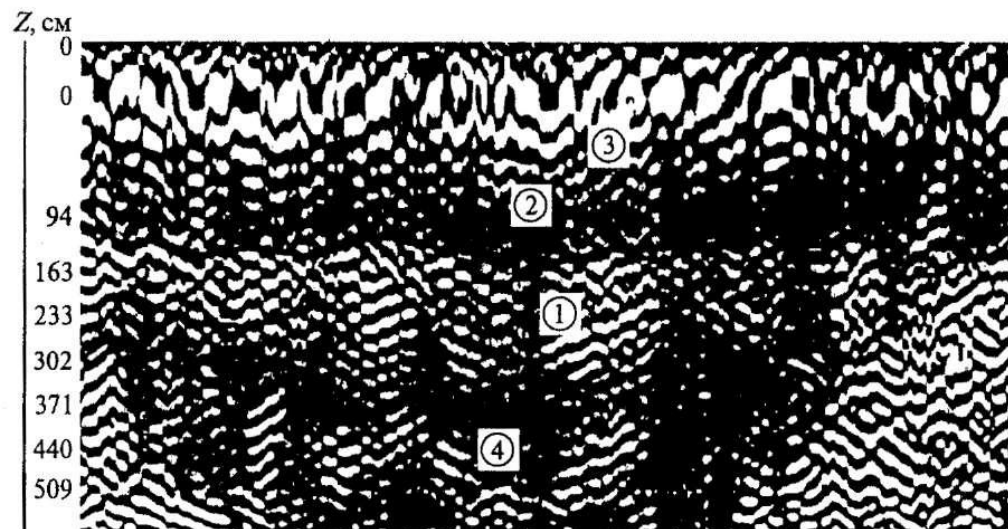


- 1 - вездеход;
- 2 - передающая антенна;
- 3 - приемная антенна;
- 4 - блок управления; 5 - блок отображения;
- 6 - блок интерпретации;
- 7 - радиосигнал;
- 8, 9, 10 - слои грунта с различными физико-механическими свойствами

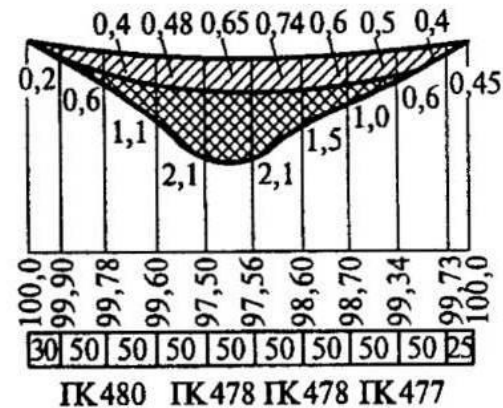
# Схема движения изыскательского комплекса по полосе варьирования трассы



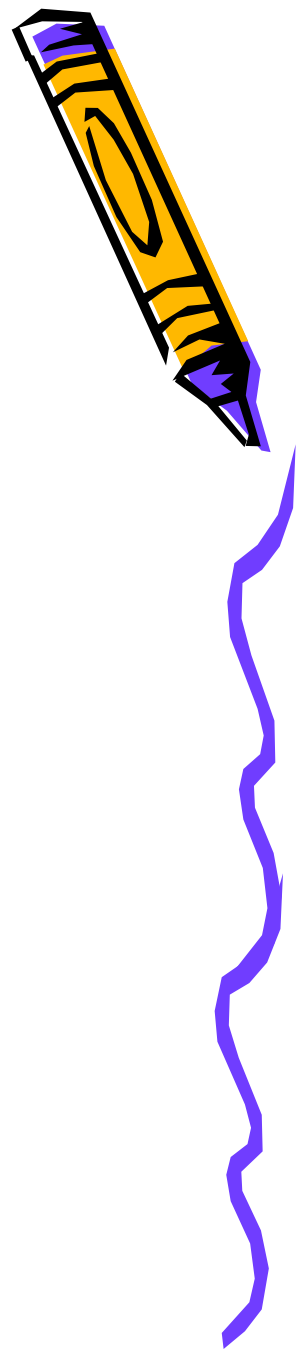
Радиограмма по ходу движения георадара



продольный профиль трассы  
(рельеф минерального дна)



# Вопрос 4. Конструкции земляного полотна дорог на болотах

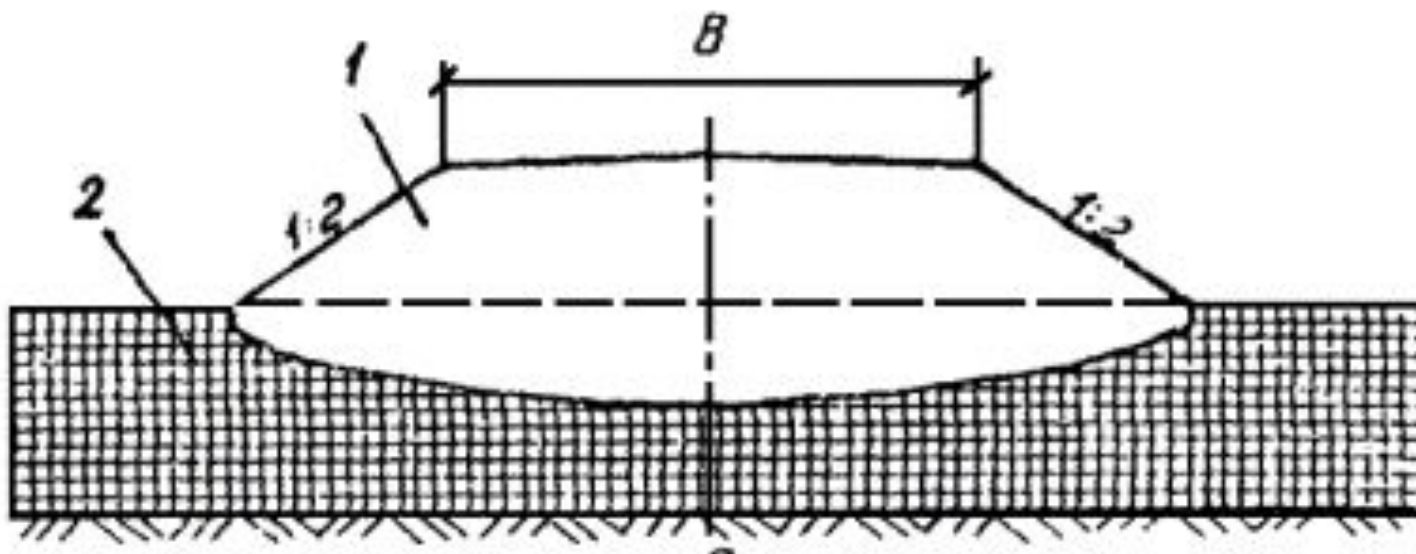


# Конструкцию земляного полотна назначают в зависимости от:

- категории дороги;
- типа и глубины болота;
- физико-механических свойств торфа и грунтов минерального дна;
- капитальности дорожной одежды.



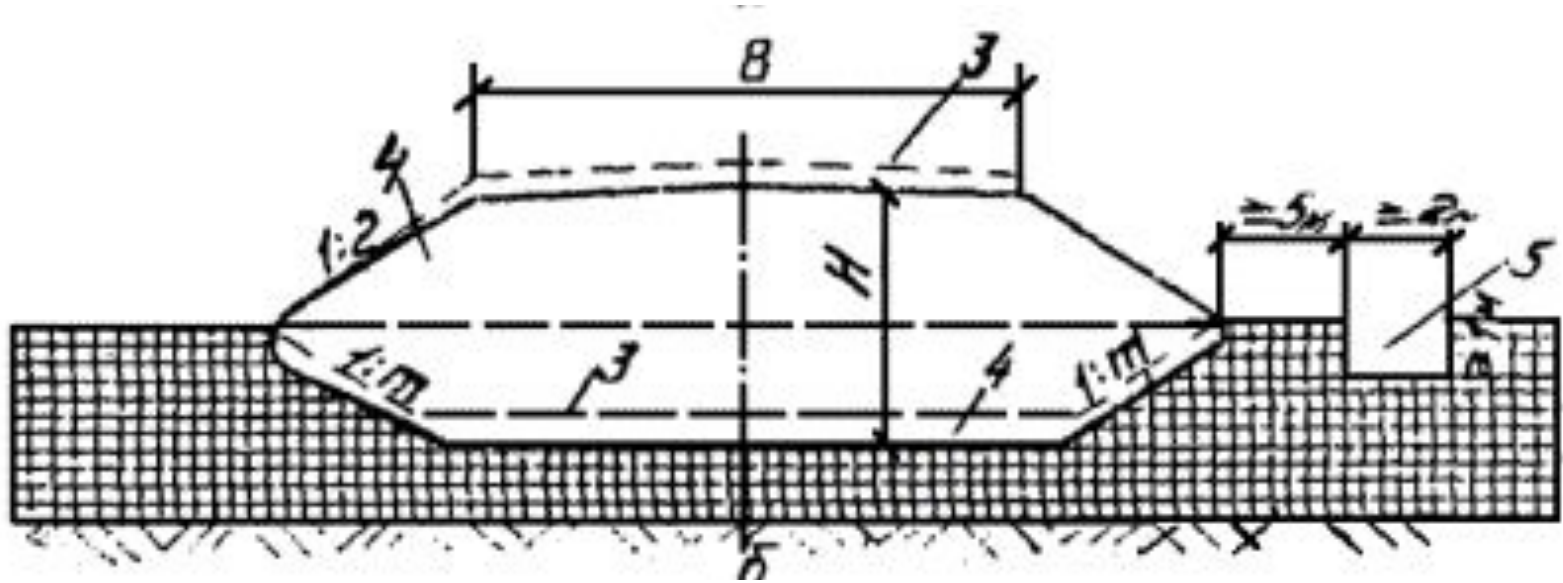
## «плавающая» насыпь, земляное полотно непосредственно на торфяном основании



1 - грунт земляного полотна; 2 - торф; В - ширина земляного полотна

предусматривают на болотах I типа с глубиной более 2 м, состоящего из плотных малоувлажненных (не более 600 %) торфов устойчивой консистенции и с допускаемой несущей способностью

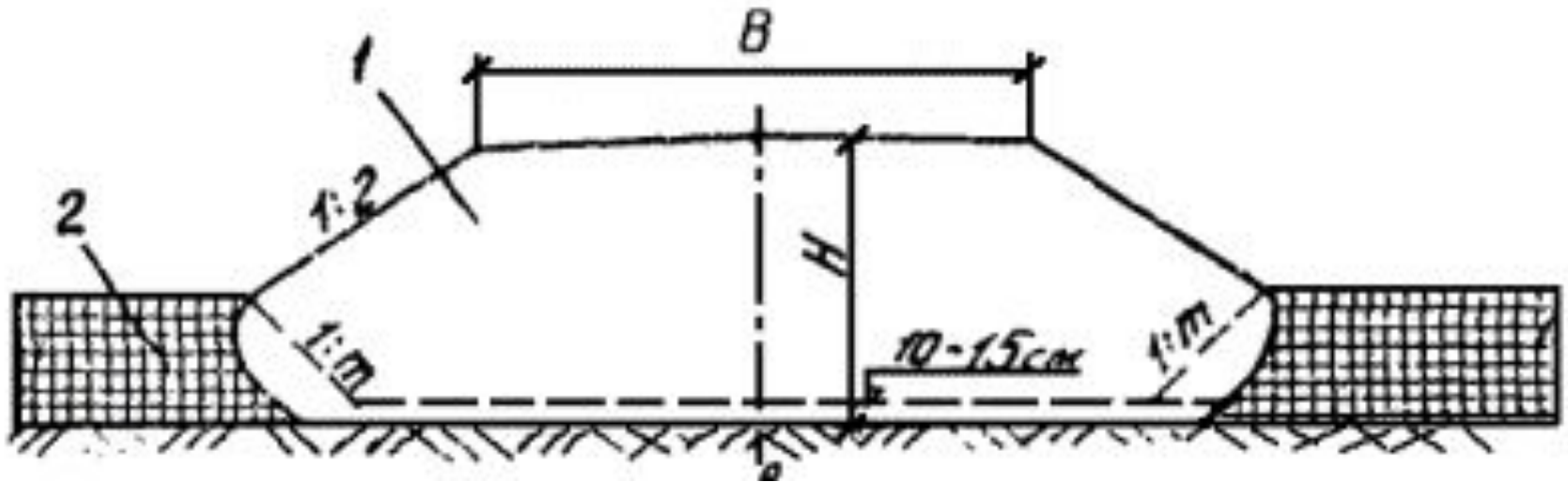
## земляное полотно с частичным выторфовыванием верхнего слоя торфяной залежи



3 - положение земляного полотна до стабилизированной консолидации торфяной залежи; 4 - положение насыпи после стабилизированной консолидации торфяной залежи; 5 - водоотводная канава;

На болотах I типа с сильноувлажненным и рыхлым верхним слоем торфа (удаление слоя торфа неустойчивой консистенции), отсыпка грунта на торф устойчивой консистенции с допускаемой несущей способностью и влажностью не более 600 %.

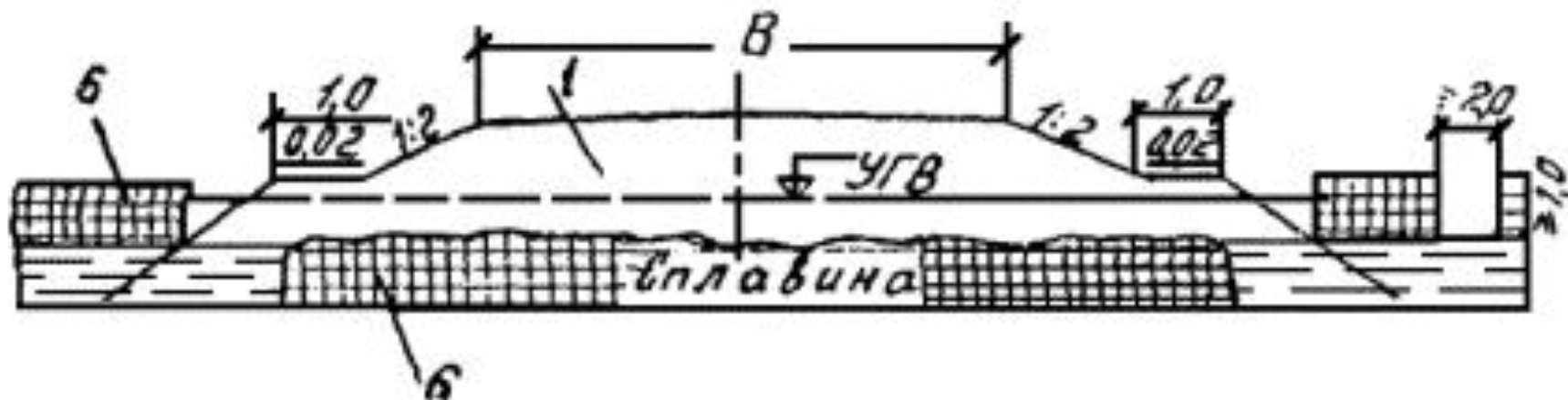
полное удаление торфа неустойчивой консистенции  
и посадка земляного полотна на минеральное дно  
болота



1 - грунт земляного полотна; 2 - торф;  $H$  - высота насыпи;  
 $m$  - заложение откоса;  $B$  - ширина земляного полотна

На болотах I и II типов с мощностью торфяной залежи до 1,5 м  
и несущей способностью торфа менее  $0,5 \text{ кгс/см}^2$

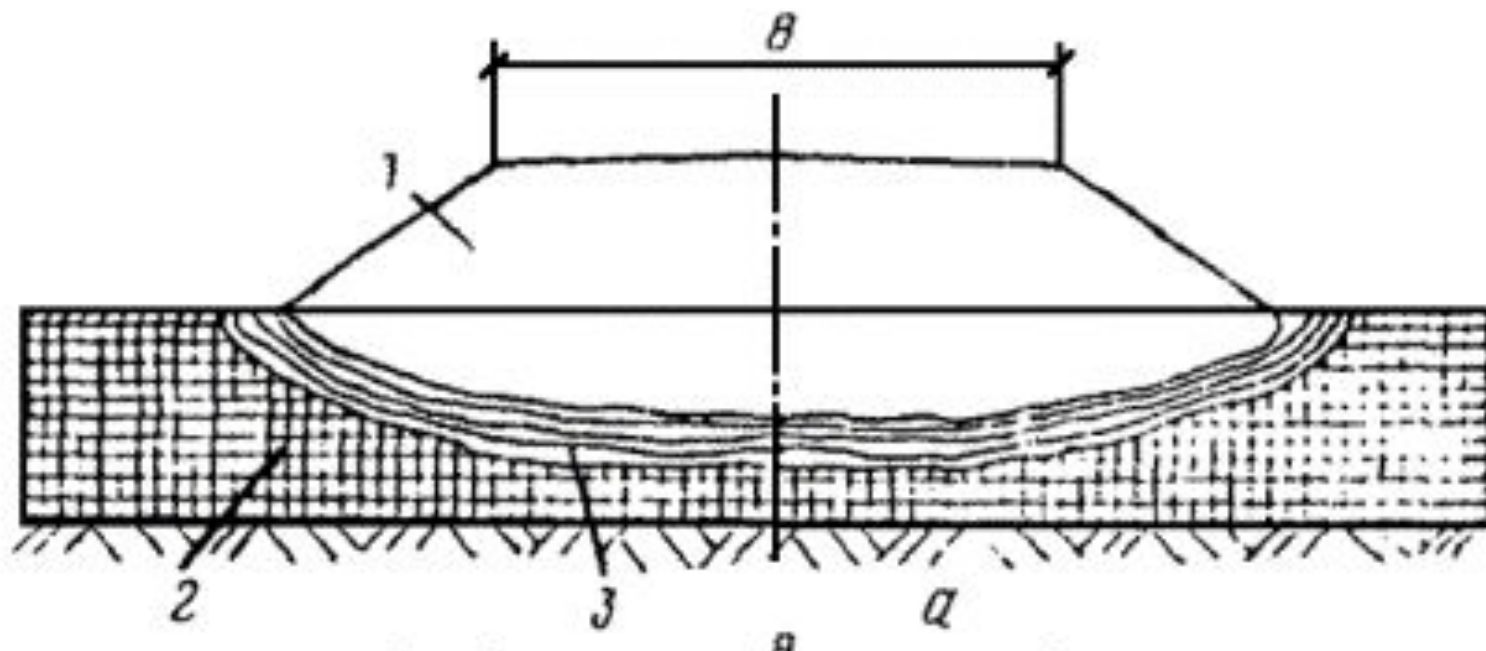
## посадка земляного полотна на минеральное дно болота вместе со сплавиной



б - сплавина (верхняя корка мохоторфяного слоя)

На болотах II типа, заполненных торфом неустойчивой консистенции, или на болотах III типа с плавающей торфяной коркой толщиной менее 2 м

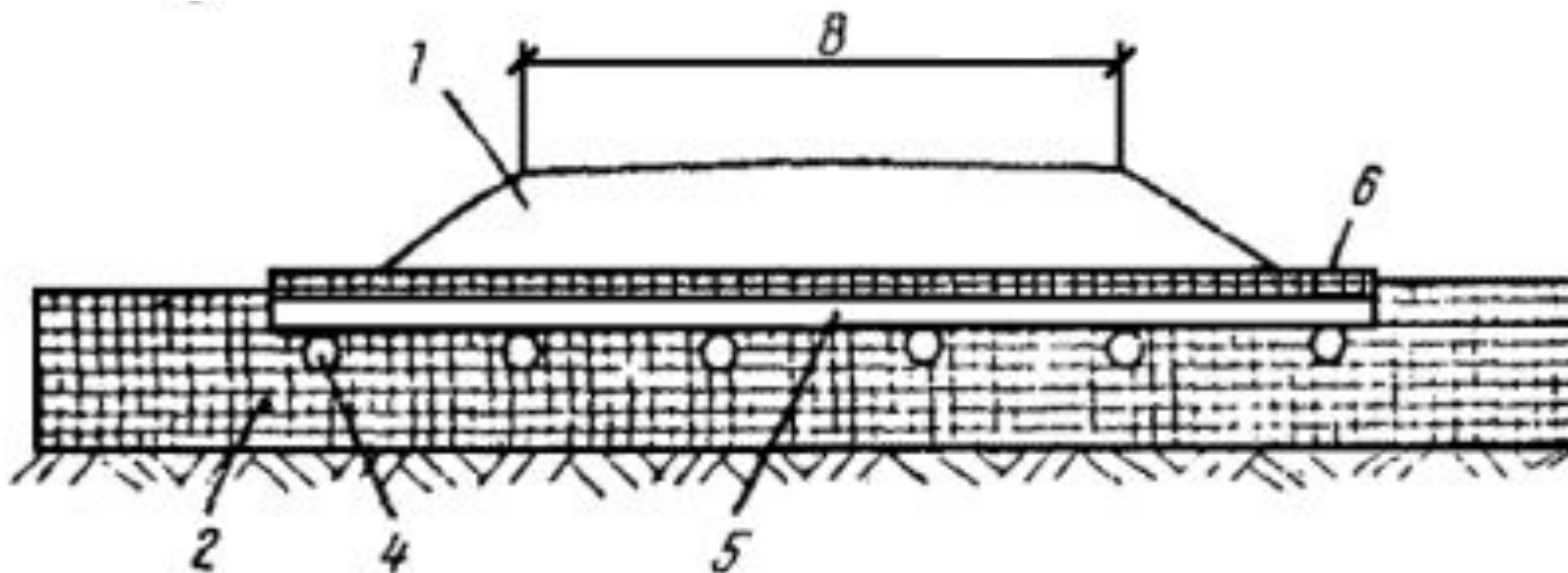
земляное полотно с хворостяной выстилкой  
толщиной от 10 до 40 см



1 - грунт земляного полотна; 2 - торф; 3 - хворостяная выстилка

На болотах I типа с сильноувлажненным и рыхлым верхним слоем торфа, а также на болотах I типа из плотных увлажненных торфов устойчивой консистенции на обводненных участках

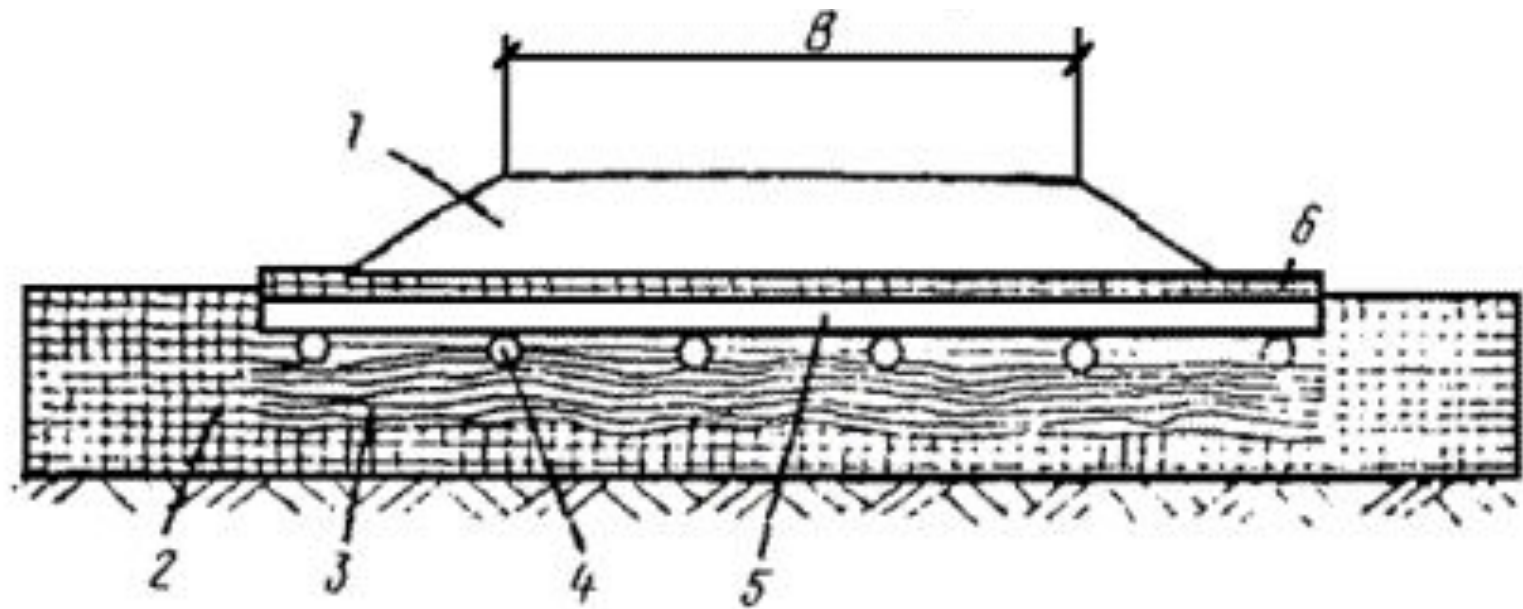
земляное полотно на мохорастительном покрове на  
лежневом настиле (продольно-поперечных  
деревянных лагах)



1 - грунт земляного полотна; 2 - торф; 3 - хворостяная выстилка;  
4 - продольные лаги; 5 - поперечины; 6 - слой мохорастительного грунта

На болотах с допускаемой несущей способностью торфа более  
0,3 кгс/см<sup>2</sup>

земляное полотно на мохорастительном покрове,  
лежневом настиле и хворостяной выстилке  
толщиной 10 - 20 см (в плотном теле)



1 - грунт земляного полотна; 2 - торф; 3 - хворостяная выстилка;  
4 - продольные лаги; 5 - поперечины; 6 - слой мохорастительного грунта

На болотах с допускаемой несущей способностью торфа более 0,2 кгс/см<sup>2</sup> и на сплавинных болотах с толщиной плотной плавающей торфяной корки (сплавины) более 4 м

**Вопрос 5. Расчет осадки  
земляного полотна на слабом  
основании**





Величину осадки основания необходимо знать для того, чтобы компенсировать осадку соответствующим увеличением объемов земляных работ.

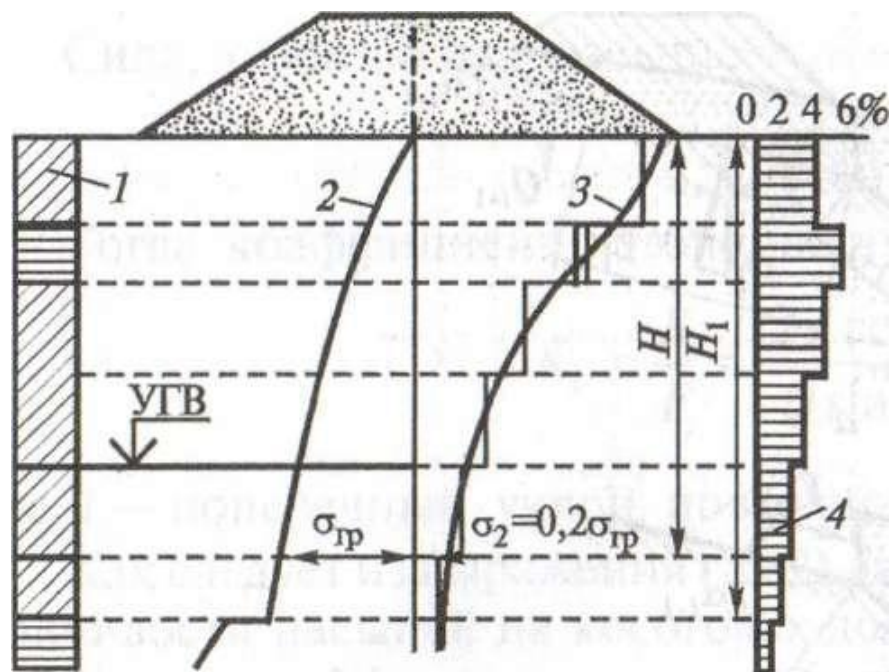
Неравномерные осадки земляного полотна являются причиной:

- появления неровностей покрытий дорожных одежд, ухудшающих условия безопасного движения автомобилей;
- разрушения дорожных одежд.

# Метод послойного суммирования деформаций сжатия отдельных слоев

в пределах активной зоны (расчет производится по формулам теории упругости)

*Расчетная схема вычисления осадки от сжатия грунта под насыпью*



- 1 - геологический разрез;
- 2 - кривая напряжений от собственного веса грунта;
- 3 - кривая напряжений от веса насыпи;
- 4 - эпюра относительного сжатия слоев грунта

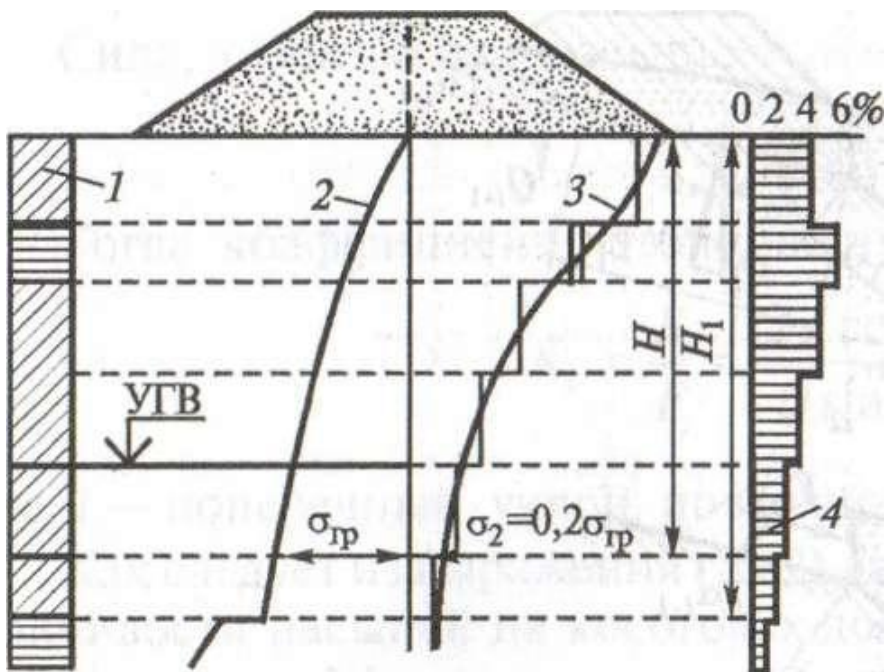
Границу активной зоны определяют глубиной, на которой

- для слабосжимаемых грунтов:

$$\sigma_2 = 0,2\sigma_{гр}$$

- для сильносжимаемых грунтов:

$$\sigma_2 = 0,1\sigma_{гр}$$



- где  $\sigma_2$  - сжимающие напряжения в грунтовой толще от веса насыпи;
- $\sigma_{гр}$  - сжимающие напряжения в грунтовой толще от собственного веса слабого грунта.

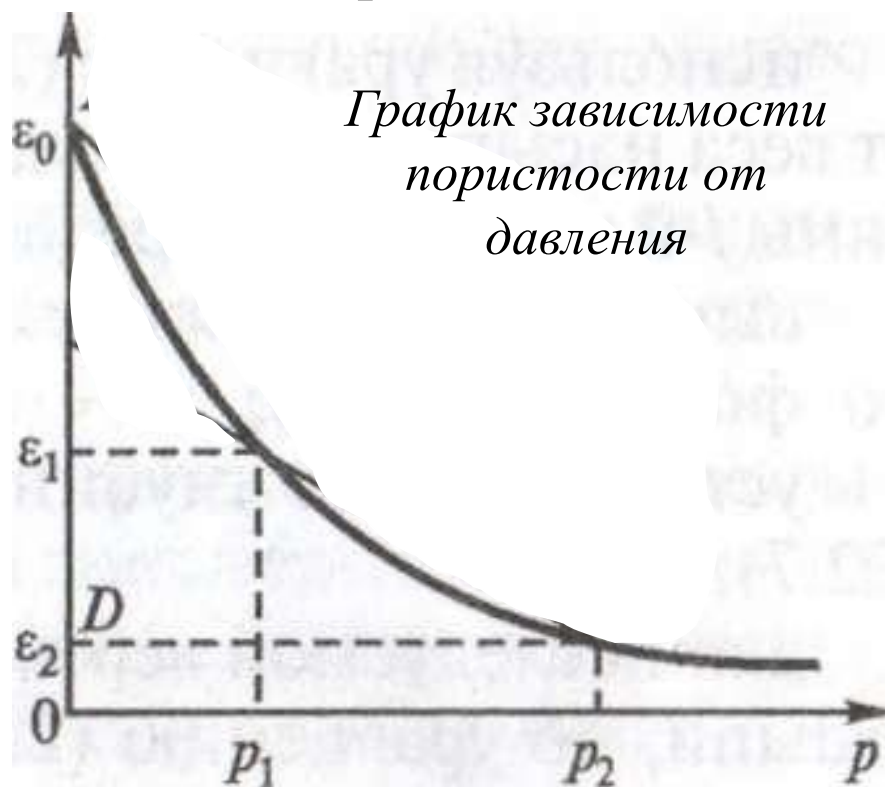
# Суммарная осадка основания на заданной вертикали:

$$S_m = \sum_{i=1}^k S_i = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \Delta h_{ij} \left( \frac{\varepsilon_{ij}^{(б)} - \varepsilon_{ij}^{(к)}}{1 + \varepsilon_{ij}^{(б)}} \right),$$

- где  $\Delta h_{ij}$  — толщина  $j$ -й пластины  $i$ -го геологического слоя на заданной вертикали поперечного сечения;
- $S_i$  — осадка  $i$ -го слоя грунта,
- $\varepsilon_{ij}^{(б)}$  — значение пористости при бытовом давлении, осредненном в пределах  $j$ -й пластины  $i$ -го слоя;
- $\varepsilon_{ij}^{(к)}$  — значение пористости при полном давлении, осредненном в пределах  $j$ -й пластины  $i$ -го слоя.

для определения пористости для каждого вида грунта соответствующего геологического слоя на основе данных лабораторных испытаний образцов строят **компрессионные кривые**

*Общий вид компрессионной кривой*



**Свойства компрессионных кривых:**

1. зависимость представляет собой вогнутую кривую, не имеющую экстремумов, поскольку пористость с увеличением нагрузки уменьшается;
2. с увеличением нагрузки компрессионная кривая становится более пологой, в связи с тем что темп уменьшения пористости при деформации грунта как упруго-пластичного тела непрерывно падает.

В случае отсутствия данных лабораторных испытаний образцов грунта, пористость ориентировочно может быть представлена уравнением проф. Н.Н. Иванова:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{2,3}{B} \lg p,$$

- $\varepsilon_0$  — начальная пористость;
- $B$  — безразмерный коэффициент, характеризующий сжимаемость грунта и не зависящий от нагрузки
- $p$  — нагрузка.

## Значения коэффициентов $\varepsilon_0$ и $B$

Грунты	$\varepsilon_0$	$B$
Крупнозернистые и среднезернистые пески и супеси	0,4	До 100
Мелкозернистые пески и супеси	0,4-0,5	25-75
Пылеватые грунты	0,5-0,65	10-25
Суглинистые грунты средней плотности, глинистые грунты	0,65	10-15
Супеси и суглинки с содержанием пыли более 50%; сильно сжимаемые суглинки и глины с прослойками песка	0,7-0,85	5-10
Торфы при разложении, %:	3,0-4,0	8,5-10
0,10	2,5-3,0	8-9
10-25	1,5-2,5	6-8
25-40	0,75-1,5	4-6
40 и более		
Торфяной ил	0,25-1,5	2-4

# Последовательность расчета осадки основания насыпи

1. определяют сжимающие напряжения от веса насыпи на вертикали, совпадающей с осью насыпи для середины  $j$ -й пластины в пределах каждого  $i$ -го геологического слоя;
2. вычисляют напряжения от собственного веса грунта основания;
3. устанавливают глубину активной зоны по условиям;
4. для исследуемой вертикали, находящейся на расстоянии  $x$  от оси насыпи, вычисляют напряжения для середины каждой  $j$ -й пластины грунта каждого  $i$ -го слоя в пределах активной зоны;
5. для середины каждой  $j$ -й пластины грунта каждого  $i$ -го слоя вычисляют значения пористости при бытовом давлении и значение пористости при полном давлении (используя компрессионные кривые или уравнение Н.Н.Иванова)
6. определяют полную осадку насыпи для ординаты, расположенной на расстоянии  $x$  от оси насыпи;
7. далее переходят к расчету осадки основания насыпи для следующей вертикали и т.д.
8. определяют суммарную осадку, как сумму сжатия всех слоев.



# ПЕРИОД КОНСОЛИДАЦИИ

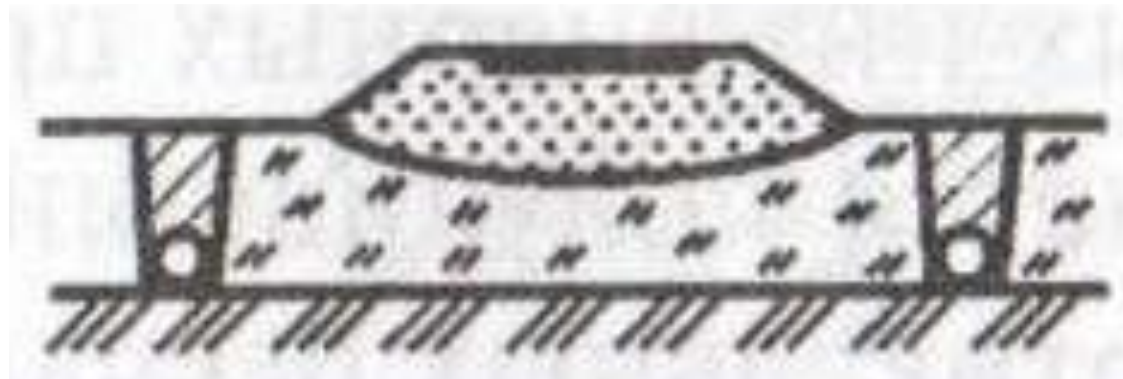
- время достижения конечной осадки.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСКОРЕНИЮ ОСАДКИ НАСЫПИ:

1. частичным удалением грунта слабого основания (т.е. уменьшением толщины сжимаемого слоя);



2. осушением  
водонасыщенного  
грунта устройством  
продольных дрен;



3. применением способа «перегрузки» путем отсыпки более высокой, чем требуется по проекту, но узкой насыпи;



4. устройством вертикальных песчаных дрен в виде буровых скважин, засыпанных крупнозернистым песком (песчаных свай-дрен)

