ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЮ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Москва. 1969

gost.e-ecolog.ru

П Р Е Д И С Л О В И Е

Методические указания предназначены для определения физико-механических характеристик вечномерзлых, промерзающих и оттаивающих глинистых грунтов в полевых условиях.

В Указаниях даны рекомендации, относящиеся к определению и расчету только основных физико-механических характеристик в связи с трудностями проведения сложных испытаний мерзлых грунтов в полевых лабораториях изыскательских экспедиций.

Методические указания разработаны в лаборатории норм проектирования земляного полотна ЦНИИСа канд.техн.наук Ю.Г. Куликовым при участии канд.техн.наук Ю.Д. Дубинова (раздел 4). Указания рассмотрены Главтранспроектом и приняты для использования при производстве изыскательских работ в районах распространения вечномерзлых грунтов.

Замечания и предложения по Указаниям просим направлять по адресу: Москва, И-829. Игарский пр.2. Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства (ЦНИИС).

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА
ИНСТИТУТА. (А.СМОЛЬЯНИНОВ)

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО
ПОЛОТНА И ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ (Б.ЦВЕЛОДУБ)

При проектировании земляного полотна выполняют ряд инженерных расчетов; для их проведения требуются показатели физико-механических свойств, данные в табл.I.

Таблица I

Расчеты, выполняемые при проектировании	Необходимые показатели физико-механических свойств	
	определяемые опытом	вычисляемые по формулам и определяемые по таблицам
Осадки основания земляного полотна	W, W_p, W_m, t^0, $\gamma_{об}$, e	Δ, $W_л$, G, $W_в$, $W_н$, γ, e
Глубины промерзания и оттаивания	W, $\gamma_{об}$	λ, $c_m(м)$, $W_н$, i
Глубины вырезки и замены в выемках и на нулевых местах	h, $к$, c, φ, $\gamma_{об}$, $\varepsilon=f(p)$	$a_к$
Устойчивости основания и откосов	c, φ, $\gamma_{об}$	γ, $c_{дл}$, $\varphi_{дл}$

Примечание. Пояснения к буквенным обозначениям приведены в тексте.

I. Состав и строение мерзлого грунта

Грунты всех видов называются мерзлыми, если они имеют нулевую или отрицательную температуру и содержат в своем составе лед.

Грунты называются вечномерзлыми, если они находятся в мерзлом состоянии в продолжение многих (от трех и более) лет. В состав мерзлого грунта входят минеральные частицы, лед, вода, воздух.

Величина, форма и взаимное расположение минеральных частиц пор и ледяных включений, входящих в состав грунта, формируют характерную криогенную текстуру.

При описании мерзлого грунта следует различать массивную, слоистую и сетчатую текстуры (рис.I).

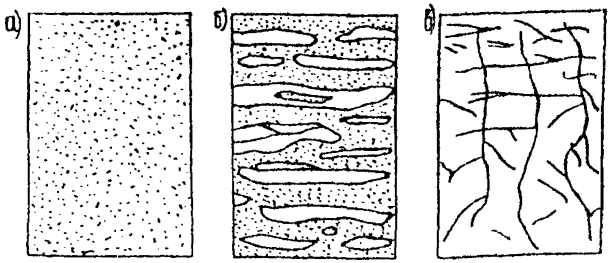


Рис.I. Основные виды текстур мерзлых грунтов: а – массивная; б – слоистая; в – сетчатая

Массивная текстура характеризуется наличием в основном порового льда.

Слоистая текстура представляет собой чередование ледяных включений в виде прослоек и линз с минеральными прослойками, которые имеют массивную текстуру.

Сетчатая текстура формируется ледяными включениями, располагающимися в виде сетки.

2. Определение глубины залегания вечномерзлых грунтов

Положение поверхности вечномерзлых грунтов устанавливается по данным инженерно-геологического обследования. В зависимости от условий ее залегания могут быть два основных случая:

слой сезонно промерзающего грунта не сливается с вечномерзлым грунтом (неоливающаяся мерзлота);

сезонно оттаивающий слой при промерзании сливается с вечномерзлым грунтом (сливающаяся мерзлота).

В первом случае между поверхностью вечномерзлого грунта и подошвой слоя сезонного промерзания имеется слой талого грунта (рис.2), поэтому глубина скважин, достигающих поверхность вечномерзлого грунта, должна быть больше глубины сезонного промерзания на величину, равную мощности постоянно талого слоя. При сливающейся мерзлоте глубина залегания поверхности вечномерзлого грунта соответствует полной глубине сезонного оттаивания.

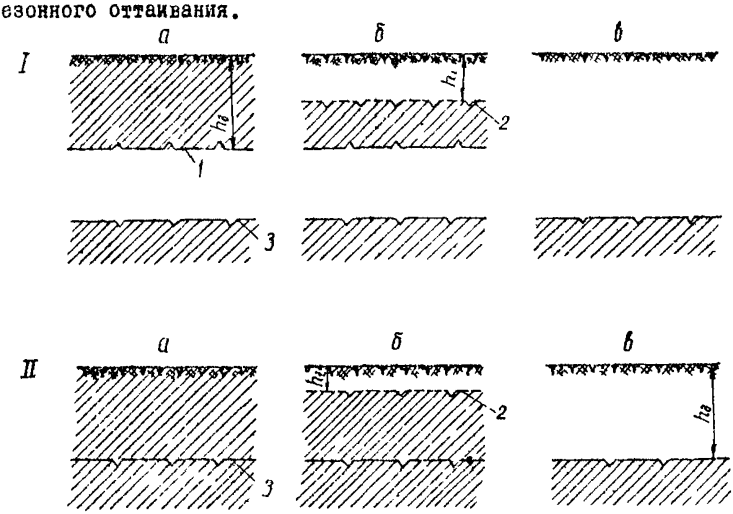


Рис.2. Наиболее характерное положение деятельного слоя:

I - для сезонно промерзающего слоя (несливающаяся мерзлота) в периоды:

а - максимального промерзания; б - промежуточный; в - максимального оттаивания;

II - для сезонно оттаивающего слоя (сливающаяся мерзлота) в те же периоды.

1 - поверхность вечномерзлых грунтов;

2 - граница оттаивания;

3 - граница промерзания;

мерзлый грунт; талый грунт

Полная глубина сезонного оттаивания устанавливается замерами в конце осеннего периода или на основании данных замеров глубины оттаивания на момент обследования и результатов обработки данных ближайшей к району обследования метеостанции.

Наряду с замерами глубины сезонного оттаивания в инженерно-геологических выработках (шурфах и скважинах) слой грунта, оттаявшего на данный период, в некоторых случаях удобно определять специальным щупом, представляющим собой стальной заостренный прут диаметром 5-6 мм с рукояткой для облегчения вдавливания. На каждой исследуемой щупом точке производят двухкратные и трехкратные замеры, которые записывают в полевой журнал.

Полную мощность деятельного слоя $h_д$ и глубину залегания вечномерзлых грунтов по данным единовременных замеров рассчитывают по формуле

$$h_д = \frac{h_i}{I}, \qquad (1)$$

где I – показатель темпов оттаивания на момент обследования;
h_i – глубина оттаивания на момент обследования, см.

Значение показателя темпов оттаивания, характеризующее изменение глубины оттаивания в зависимости от времени, можно определять по данным метеостанции.

Когда наблюдения за глубиной оттаивания отсутствуют, величину показателя темпов оттаивания находят по формуле

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}} = \sqrt{\frac{t_1 + t_2 + \ldots + t_m}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}, \qquad (2)$$

где t_1, t_2 – среднемесячные температуры воздуха соответственно за первый, второй и т.д. месяц по данным наблюдений за наиболее теплый год в течение десятилетнего периода;
n – продолжительность всего периода оттаивания, мес;
m – продолжительность периода от начала оттаивания до момента, для которого определяется показатель темпов оттаивания, мес.

Глубину оттаивания в момент обследования h_i следует замерять не ранее конца июня. Использование данных более ранних замеров, произведенных в мае-июне, может привести к значительным ошибкам при определении полной мощности слоя сезонного оттаивания и глубины залегания вечномерзлых грунтов.

При определении полной глубины сезонного оттаивания можно также использовать данные о криогенной текстуре мерзлого грунта. В тех случаях, когда в однородных грунтах содержание льда в грунте постепенно уменьшается до минимального количества, а затем резко увеличивается, то граница этого перехода, как правило, будет являться максимальной глубиной сезонного оттаивания.

Пример расчета полной глубины сезонного оттаивания

На основании инженерно-геологического обследования, проведенного в пределах участка трассы в районе пос. Анадырь, средняя глубина отта-

явания h_t на момент обследования в середине июля равнялась 40 см.

По данным метеостанции получена среднемесячная температура воздуха за теплый период года для этого района, град С:

VI	VII	VIII	IX
4,8	10,5	9,6	8,9

Определить полную глубину сезонного оттаивания в пределах обследуемого участка.

Сначала рассчитывают суммы средних положительных температур за один, два и т.д. месяца оттаивания. Затем находят отношения этих сумм к сумме температур за весь теплый период, в данном случае за четыре месяца. Результаты заносят в табл.2.

Таблица 2

Месяц	Сумма положительных температур	$\frac{\sum_{0}^{m} t_i}{\sum_{0}^{n} t_i}$	I
VI	4,8	0,17	0,41
VI-VII	15,3	0,53	0,78
VI-VIII	24,9	0,86	0,98
VI-IX	28,8	1,0	1,0

По данным расчета строят график темпов оттаивания (рис.3) и находят значение показателя темпов оттаивания для середины июля. I составляет 0,6. Полную глубину сезонного оттаивания определяют по формуле

$$h_0 = \frac{h_t}{I} = \frac{40}{0,6} = 67\,(см) \quad .$$

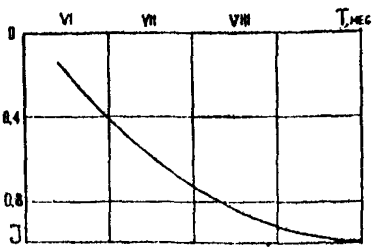


Рис.3. График темпов оттаивания по данным метеостанции поселок Анадырь (к примеру расчета полной глубины оттаивания)

3. Определение температуры вечномерзлого грунта

Физико-механические свойства мерзлых грунтов, количество незамерзшей воды, объемный вес, осадка при оттаивании, их прочностные показатели изменяются в зависимости от температуры, поэтому в процессе инженерно-геологических изысканий необходимо измерять тем-

пературу вечномерзлого грунта.

Различают суточные и сезонные колебания температуры, связанные соответственно с суточными и годовыми колебаниями температуры воздуха.

Колебания температуры в течение суток распространяются на небольшую глубину и практического значения для проектирования не имеют. Сезонные колебания температуры воздуха в течение года сказываются на температуре грунтов до глубины 15-30 м, однако для инженерных целей можно считать температуру грунта практически постоянной уже на глубине 10-15 м.

Глубина, на которой затухают сезонные колебания температуры, называется *глубиной нулевых годовых амплитуд*, или подошвой слоя сезонных колебаний температуры, а температура грунта на этой глубине t_A является основной характеристикой среднегодовой температуры вечномерзлой толщи. Следует иметь в виду, что t_A не является постоянной величиной даже в пределах одного района, а изменяется в зависимости от состава горных пород, их льдистости, состояния поверхности, рельефа, экспозиции склонов, наличия грунтовых вод и т.п. Величину t_A измеряют на характерных типах местности и в пределах однотипных ландшафтных комплексов, выделенных в процессе инженерно-геологической и мерзлотной съемки, в соответствии с "Инструкцией по проведению температурных наблюдений" (ВСН 61-61, приложение 2).

В большинстве случаев при проектировании различных сооружений необходимо знать не только среднюю, но и экстремальные (максимальную и минимальную) температуры вечномерзлой толщи выше глубины нулевых годовых амплитуд. Пределы изменения температуры в зависимости от интересующей глубины могут быть рассчитаны по формулам:

$$\max t_z = \left| t_A \left(1 - e^{-z\sqrt{\frac{\pi c_M}{\lambda_M T}}}\right)\right|, \qquad (3)$$

$$\min t_z = \left| t_A \left(1 + e^{-z\sqrt{\frac{\pi c_M}{\lambda_M T}}}\right)\right|, \qquad (4)$$

где z – глубина, на которой необходимо определить температуру;

T – период колебаний температуры, равный 8760 ч;

c_M – объемная теплоемкость мерзлого грунта, ккал/м^3·град;

λ_M – коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, ккал/м.ч.град.

$e = 2{,}718$

Пример расчета температуры грунта

Определить максимальную и минимальную температуры грунта на глубине 4,0 м в районе г.Сковородино при следующих исходных данных:

t_A = -1°,1; z = 4,0 м; λ_M = 1,65 ккал/м.ч. град

c_M = 510 ккал/м³.град; T = 8760 ч.

Расчет ведется по формулам (3) и (4)

$$\max t_z = \left|1{,}1\left(1 - e^{-4\sqrt{\frac{3{,}14 \cdot 510}{1{,}65\ 8760}}}\right)\right| = \left|1{,}1\left(1 - e^{-1{,}32}\right)\right| = \left|1{,}1\left(1 - 0{,}27\right)\right| = 0{,}8°$$

$$\min t_z = \left|1{,}1\left(1 + 0{,}27\right)\right| = 1{,}4.$$

Таким образом, температура мерзлого грунта в районе Сковородино на глубине 4 м изменяется в пределах от 1,4 до -0,8°.

4. Отбор образцов, их хранение и транспортировка

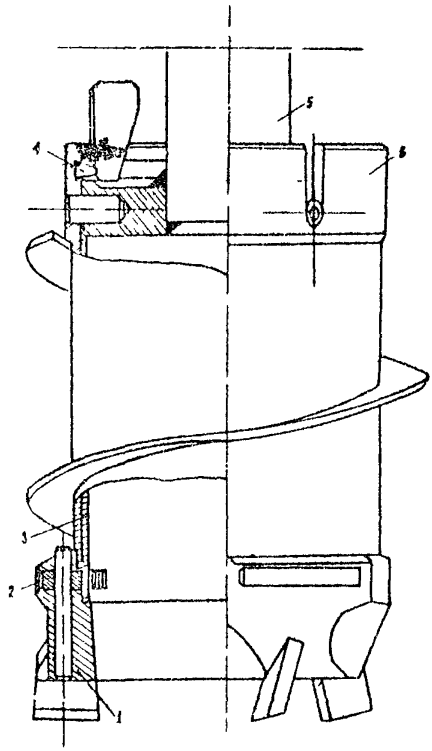
Для отбора образцов мерзлых глинистых грунтов ненарушенной структуры наряду со специально изготовленными ложками-кернобрателями рекомендуется применять грунтонос конструкции ЦНИИС (авторское свидетельство № 218783) (рис.5).

При подготовке к отбору образцов с грунтоноса снимают фиксирующее кольцо 5, корпус грунтоноса 1 отсоединяют от хвостовика 4. Затем в корпус грунтоноса устанавливают кассету с шестью кольцами для компрессионных или срезных приборов, перед установкой которой внутреннюю поверхность корпуса смазывают техническим вазелином или солидолом. После этого корпус грунтоноса соединяют с хвостовиком.

Для отбора образцов грунтонос опускают в скважину, вращая вручную по часовой стрелке до полного заглубления. Мерзлый грунт отрывают от забоя подсекающими ножами, для чего заглубленный грунтонос вращают против часовой стрелки до полного отрыва образца. Затем грунтонос извлекают из скважины, отсоединяют от хвостовика и из его корпуса вынимают кассету с образцом грунта.

Для хранения и испытания отобранных образцов мерзлых грунтов при полевых работах в летний период на исследуемой территории необходимо оборудовать специальный шурф сечением 1,5 х 2 м, который должен вскрыть вечномерзлые грунты на глубину 2–2,5 м. Расположать шурф следует в затененном месте (в лесу) на глинистых грунтах, там, где наблюдается более низкая температура вечномерзлых грунтов и меньше их глубина сезонного протаивания. Шурф должен быть тщательно изолирован от внеш-

них атмосферных воздействий. С этой целью рекомендуется применять двойное перекрытие шурфа: первое - на поверхности и второе - на границе с вечномерзлыми грунтами. В перекрытиях оборудуют люки для спуска в шурф. Верхнее перекрытие засыпают землей или закладывают дерном (мхом) и закрывают водонепроницаемым материалом - толем, рубероидом или брезентом.



Отобранные из выработок образцы мерзлых грунтов доставляют в шурф-лабораторию. При транспортировке необходимо принимать меры по предотвращению их оттаивания. Для этой цели применяют термосы различных конструкций. Три типа таких термосов показаны на рис.6,а,б,в. В термосе, показанном на рис.6,а, размещаются четыре образца размерами 60 х 100 х 120 мм. Образцы в термосе этого типа могут сохраняться в течение 2-2,5 ч. Если термос обернуть мхом или другим изолирующим материалом, срок хранения и перевозки можно увеличить до 4-5 ч.

Термос той же конструкции (см.рис.6,б) большего размера служит для транспортировки мерзлых пород на значительные расстояния. В нем размещаются 10-12 образцов размерами 80х80х90 мм (при укладке в два яруса); в мерзлом

Рис.5. Грунтонос для отбора образцов мерзлого грунта ненарушенной структуры конструкции ЦНИИС:

1 - корпус; 2 - обуривающая коронка; 3 - ножи для подрезки керна; 4 - хвостовик; 5 - пружинное фиксирующее кольцо; 6 - кассеты с кольцами для стандартных компрессионных и сдвиговых приборов

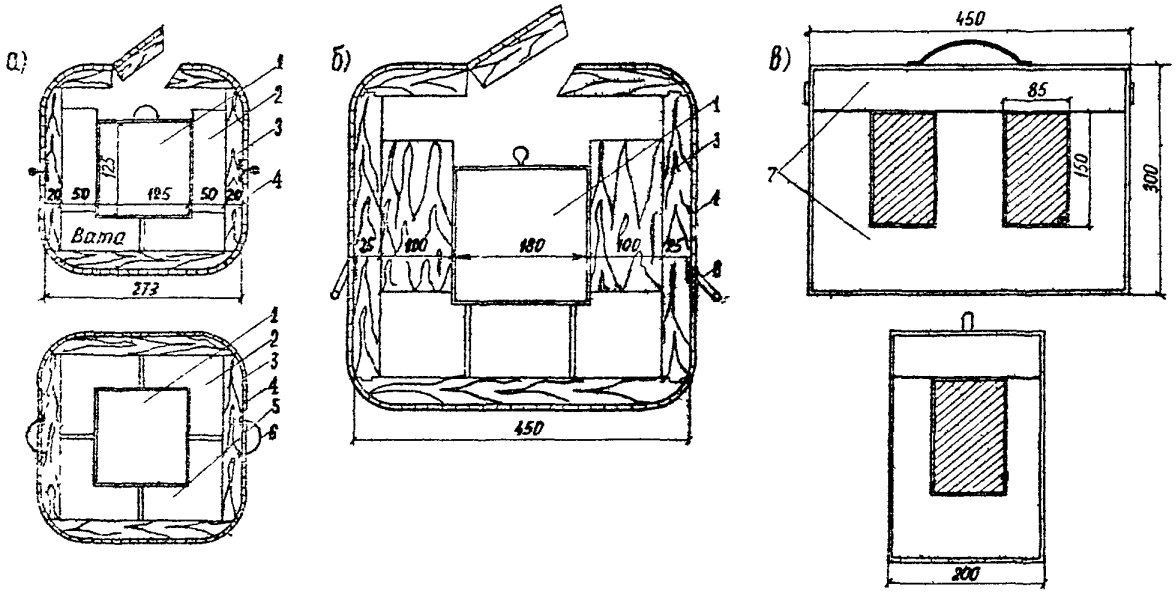


Рис. 6. Термосы для транспортировки образцов мерзлого грунта:
а – на 4 образца; б – на 12 образцов; в – на 2 образца;
1 – внутренний ящик из фанеры и досок; 2 – поддерживающие брусья; 3 – внешний ящик из досок; 4 – обшивка войлоком и брезентом; 5 – заполнитель (вата, пакля);
6 – ручки; 7 – пенопласт

состоянии они сохраняются в течение 6-8 ч, а при хорошей дополнительной упаковке - 10-12 ч.

Образцы должны быть ровными и тщательно обернутыми в 2-8 слоя бумаги. В некоторых случаях образцы следует дополнительно охладить с помощью холодильного ящика, в котором заложена льдосоляная смесь.

Термос (см.рис.6,в) конструктивно отличается от предыдущих. Он выполнен в виде ящика из пенопласта с гнездами для двух образцов. Размеры цилиндрических образцов - 80x150 мм. Термос этой конструкции удобен для хранения и транспортировки образцов на небольшие расстояния. Сохранность образцов 1,5-2 ч.

. Термоизолирующим материалом для термосов может служить вата хлопковая или стеклянная, сухой мох, торфяная или пробковая мелочь, пеносиликат, пенопласт и др.

Снаружи и изнутри термос покрывают олифой и окрашивают белилами, дерматиновую или брезентовую обшивку красят в белый цвет.

В летнее время, если полевая лаборатория находится на расстоянии нескольких километров, отобранные в течение рабочего дня образцы, завернутые в бумагу и уложенные в термос, следует хранить под моховым покровом на дне холодного и сухого шурфа, пройденного в мерзлых породах, когда мерзлые породы залегают непосредственно под мхом.

Для хранения образцов в течение рабочего дня можно использовать также пробуренную вблизи места работы скважину, пройденную в мерзлых грунтах на глубину не менее 2 м. Керны в этом случае опускаются в скважину на шпагате.

Образцы транспортируются в ночное, более прохладное время суток. Вынос образцы грунта перевозят в термосах или обычных ящиках.

При длительном хранении образцов мерзлого грунта следует учитывать, что они могут выветриваться, в результате чего изменяются влажность, структура грунта и т.п. Во избежание выветривания образцы следует обертывать в бумагу и покрывать ледяной коркой, которую необходимо периодически восстанавливать, опрыскивая образцы грунта холодной водой.

5. Количество испытаний для определения гарантированных значений показателей физико-механических свойств однородных грунтов

Минимальное количество испытаний для определения показателей физико-механических свойств однородного грунта или же количество испытуемых образцов, если каждый образец может подвергаться только од-

ному испытанию, не должно быть меньше трех.

Необходимое количество испытаний (или образцов) для определения гарантированного значения показателя физико-механических свойств однородного грунта устанавливается по формуле

$$n = t_\beta^2 \frac{\sigma^2}{\varepsilon_x^2} \quad , \qquad (5)$$

где t_β – табулированное значение аналитической функции, определяемое по табл.8 в зависимости от заданной вероятности β;

σ – среднеквадратическое отклонение отдельного определения;

ε_x – абсолютная величина отклонения при определении показателя физико-механических свойств, возникающего за счет неточностей методики испытаний, ошибок прибора и т.п.

Однородные слои грунта выделяются по результатам первичной обработки данных инженерно-геологических изысканий. Степень однородности того или иного слоя грунта, имеющего определенную текстуру, оценивается по графикам рассеивания значений основных классификационных показателей для этого слоя (рис.7).

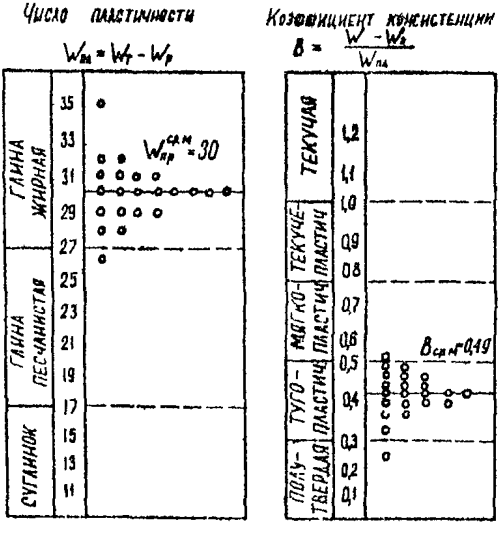


Рис.7. Графики рассеивания значений основных классификационных показателей

Основными классификационными показателями для глинистых грунтов являются число пластичности W_n и коэффициент консистенции B.

Слой следует считать однородным по составу и состоянию грунта, если отклонения отдельных значений основных классификационных показателей не выходят за рамки одной группы по принятой классификации. При этом 10% крайних экспериментальных точек в расчет не принимают.

Абсолютная величина отклонения ε_x в формуле (5) при определении физических свойств должна соответствовать величине допускаемого отклонения при параллельных определениях, выполняемых по обычной методике испытаний талых грунтов.

Таблица 8

Значение функции t_β

n-1	β					
	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
I	3;08	6,3I	I2,7I	3I,8	68,7	686,6
2	I,886	2,92	4,30	6,96	9,92	3I,6
3	I,638	2,35	3,I8	4,54	5,84	I2,94
4	I,533	2,I8	2,77	3,75	4,60	8,6I
5	I,476	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
6	I,440	I,948	2,45	3,I4	4,7I	5,96
7	I,4I5	I,895	2,36	3,00	3,50	5,40
8	I,397	I,860	2,3I	2,90	3,36	5,04
9	I,383	I,833	2,26	2,82	3,25	4,78
I0	I,372	I,8I2	2,23	2,76	3,I7	4,59
II	I,363	I,796	2,20	2,72	3,II	4,49
I2	I,356	I,782	2,I8	2,68	3,06	4,32
I3	I,350	I,77I	2,I6	2,65	3,0I	4,22
I4	I,345	I,76I	2,I4	2,62	2,98	4,I4
I5	I,34I	I,753	2,I3	2,60	2,95	4,07
I6	I,337	I,746	2,I2	2,58	2,92	4,02
I7	I,333	I,740	2,II	2,57	2,90	3,96
I8	I,330	I,734	2,I0	2,55	2,88	3,92
I9	I,328	I,729	2,09	2,54	2,86	3,88
20	I,325	I,725	2,09	2,53	2,84	3,85
2I	I,323	I,72I	2,08	2,52	2,83	3,82
22	I,32I	I,7I7	2,07	2,5I	2,82	3,79
23	I,3I9	I,7I4	2,07	2,50	2,8I	3,77
24	I,3I8	I,7II	2,06	2,49	2,80	3,74
25	I,3I6	I,708	2,06	2,48	2,79	3,72
26	I,3I5	I,706	2,06	2,48	2,78	3,7I
27	I,3I4	I,703	2,05	2,47	2,77	3,69
28	I,3I3	I,70I	2,05	2,47	2,76	3,67
29	I,3I2	I,699	2,04	2,46	2,76	3,66
30	I,3I0	I,697	2,04	2,46	2,75	3,65
40	I,303	I,684	2,02	2,42	2,70	3,55
60	I,296	I,67I	2,00	2,39	2,66	3,46
I20	I,289	I,658	I,980	2,36	2,62	3,37
∞	I,282	I,645	I,960	2,33	2,58	3,29

В случае механических испытаний значение ε_x следует принимать в зависимости от степени точности, с которой следует получить параметры, характеризующие сдвиг и осадку. Приближенно величина ε_x для сдвиговых испытаний может быть принята равной 0,05 кг/см^2, для определения относительной осадки – 0,02; значение β =0,8.

В тех случаях, когда количество испытанных образцов меньше определяемого по формуле (5), осредненные нормативные показатели физико-механических свойств, установленные в результате испытаний, могут существенно отличаться от действительных свойств грунта в естественных условиях.

Пример расчета необходимого количества испытаний для определения гарантированных значений показателей физико-механических свойств

В результате компрессионных испытаний десяти образцов оттаивающего грунта получена средняя величина относительной осадки e =0,25 и среднеквадратическое отклонение σ =0,1. Следует определить количество образцов, которое необходимо испытать для получения гарантированной величины относительной осадки с вероятностью 0,8.

Принимаем величину ε_x =0,02.

Необходимое количество образцов находим методом подбора или же графическим, решая относительно n уравнение (5). Значения коэффициента t_β, соответствующие разному количеству образцов, находим по табл. 3 для β =0,8.

В данном случае при подстановке численных значений в уравнение (5) получим равенство

$$n = 25\, t^2_{\beta=0,8},$$

которое будет справедливо при n =43. Таким образом, в результате проведенного расчета установлено, что для получения гарантированной величины относительной осадки следует испытать 43 образца.

В полевых условиях массовые лабораторные анализы производят для определения суммарной влажности грунта W, влажности, соответствующей пределам раскатывания W_p и текучести W_T. Во всех выработках, пройденных в вечномерзлых грунтах, измеряют температуру.

На основании данных массовых определений W, W_p, W_T и замеров температуры могут быть рассчитаны влажность грунта за счет содержания незамерзшей воды $W_н$, объемный вес мерзлого грунта $\gamma_{об}$ и относительная осадка при оттаивании e.

Более сложные определения физических и механических свойств мерзлых и оттаивающих грунтов A, C, φ, а также определения объемного ве-

са $\sigma_{об}$ и относительной осадки мерзлых грунтов ε для контроля и уточнения их значений, полученных расчетом, при обследовании объектов индивидуального проектирования проводятся в меньшем объеме для характерных генетических разностей вечномерзлых грунтов.

6. Физические свойства мерзлого грунта

Удельный вес

Удельный вес - это отношение веса частиц образца грунта, высушенного до постоянного веса при 100-105°, к их объему.

Удельный вес мерзлых грунтов определяют так же, как и талых в соответствии с методикой по ГОСТ 5181-64.

В полевых условиях для предварительных расчетов допускается использование средних значений удельных весов:

Грунты	Удельный вес Δ, г/см³
Пески	2,66
Супеси	2,70
Суглинки	2,71
Глины	2,74

Влажность

Для мерзлых грунтов при неравномерном распределении и различном состоянии влаги в объеме грунта следует определять: суммарную влажность W, влажность за счет незамерзшей воды $W_н$, влажность за счет ледяных включений $W_б$, влажность минеральных прослоек $W_{мн}$.

С у м м а р н а я в л а ж н о с т ь W представляет собой отношение веса всех видов воды, содержащейся в мерзлом грунте, к весу скелета грунта.

Способы отбора проб грунта и методы определения суммарной влажности выбираются в зависимости от криогенной текстуры мерзлого грунта.

Пробы грунта, имеющего массивную текстуру, отбирают т о ч е ч н ы м с п о с о б о м. Влажность определяют методом высушивания, как для талых грунтов, в соответствии с ГОСТ 5179-64.

Для грунтов, имеющих слоистую или сетчатую текстуры, отбор проб на влажность производится способом бороздки или способом средней пробы, позволяющим проводить определения на образцах большого объема. Способом бороздки рекомендуется пользоваться в тех случаях, когда

имеется возможность извлекать из буровых скважин образцы мерзлого грунта с ненарушенным сложением, а также при исследовании мерзлых грунтов в шурфах, котлованах, расчистках и т.п. В этом случае с каждых 25-30 см ровным слоем соскабливают мерзлый грунт и собирают в бюксы или пикнометры. Влажность отобранных образцов определяют высушиванием или пикнометрическим способом.

П и к н о м е т р и ч е с к и й с п о с о б определения суммарной влажности заключается в том, что оттаявшую пробу грунта весом не менее 200-300 г собирают в пикнометр и взвешивают. В качестве пикнометра можно использовать обычные мерные колбы или банки емкостью 0,5-I л с широким горлышком и притертой пробкой. В пробке просверлено отверстие и вставлена стеклянная трубка для удаления избытка воды. В пикнометре грунт заливают водой (примерно до половины объема пикнометра) и тщательно взбалтывают для удаления из него воздуха, а затем в колбу доливают воду до полного ее объема или до условной метки и снова взвешивают. Если берут банку с притертой пробкой, то воду наливают так, чтобы ее избыток был вытеснен через отверстие в пробке. Мерную колбу или банку следует предварительно протарировать, т.е. заранее взвесить ее с водой, долитой до полного ее объема или до условной метки.

Зная вес влажного грунта g_1, вес колбы с водой и грунтом g_2, вес колбы с водой g_3, можно рассчитать суммарную влажность грунта по формуле

$$W = \left[\frac{g_1(\Delta - 1)}{\Delta(g_2 - g_3)} - 1\right] \cdot 100\% \quad , \qquad (6)$$

где Δ - удельный вес скелета грунта, г/см^3.

С п о с о б с р е д н е й п р о б ы. Пробы мерзлых грунтов, извлекаемые из скважин шурфов и других выработок, помещают в мешочки и сразу же взвешивают (вес g_1). Возможные изменения во влажности грунта после взвешивания для окончательного определения суммарной влажности значения не имеют. Отобранные образцы мерзлого грунта оттаивают и перемешивают до однородной массы тестообразной консистенции (при необходимости можно подливать недостающее количество воды или же подсушиванием удалить лишнюю), не допуская потерь минеральной части образца грунта. После этого пробу грунта снова взвешивают (вес g_2), а затем отбирают из нее небольшое количество грунта для определения методом высушивания влажности $W_м$. Влажность средней пробы находят по формуле

$$W = \frac{g_1(100 + W_м) - 100\,g_2}{g_2} \quad . \qquad (7)$$

Влажность за счет незамерзшей воды $W_н$ в полевых условиях можно определять по формуле

$$W_н = kW_p ,$$

где k – коэффициент, принимаемый по табл.4 в зависимости от вида грунта, числа пластичности $W_п$ и температуры мерзлого грунта;

W_p – влажность на границе раскатывания.

Таблица 4

Грунты	Число пластичности	Значения К при температуре грунтов, град					
		-0,3	-0,5	-I	-2	-4	-I0
Пески	$W_п<I$	0	0	0	0	0	0
Супеси	$I<W_п<2$	0	0	0	0	0	0
Супеси	$2<W_п<7$	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3	0,25
Суглинки	$7<W_п<I3$	0,7	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4
Суглинки	$I3<W_п<I7$	x)	0,75	0,65	0,55	0,5	0,45
Глины	$W_п<I7$	x)	0,95	0,9	0,65	0,6	0,55

x) Вся вода в порах грунта находится в немерзлом состоянии.

Влажность минеральных прослоек $W_{мн}$ определяется методом высушивания в образцах, отобранных из минеральных прослоек грунта, имеющего слоистую или сетчатую текстуру. При этом из образцов тщательно удаляют все ледяные включения, видимые невооруженным глазом.

Влажность за счет ледяных включений $W_б$ находят из выражения

$$W_б = W - W_н - W_{мн} . \qquad (9)$$

Влажность мерзлых грунтов, соответствующая пределам раскатывания и текучести, определяется при их оттаивании обычными способами по ГОСТ 5183-64 и 5184-64.

Льдистость

В зависимости от способа количественного выражения содержания льда в мерзлом грунте различают льдистость весовую, относительную и объемную.

Весовая льдистость $W_л$ выражает отношение веса льда к весу сухого грунта. Весовая льдистость может быть получена из выражения

$$W_л = W - W_н . \qquad (10)$$

Относительная льдистость – отношение веса льда к весу всей воды и льда, содержащихся в грунте, или отношение весовой льдистости к весовой влажности

$$i_0 = 1 - \frac{W_н}{W} = \frac{W_л}{W} \qquad (11)$$

Объемная льдистость – отношение объема льда, содержащегося в мерзлом грунте, к объему мерзлого грунта.

Объемная льдистость мерзлого грунта может быть найдена по формуле

$$i_v = \frac{(W - W_н)\gamma}{\Delta_л} , \qquad (12)$$

где $\Delta_л$ – удельный вес льда, равный 0,9 г/см^3;

γ – *объемный вес скелета грунта*, г/см^3;

Объемную льдистость можно рассчитать раздельно с учетом льда-цемента $i_ц$ и льда прослоек $i_п$ по формулам:

$$i_ц = \frac{100 \cdot \Delta (W_{мн} - W_н)}{90 + \Delta(W - 0{,}1 W_н)} , \qquad (13)$$

$$i_п = \frac{100 \Delta (W - W_{мн})}{90 + \Delta(W_{мн} - 0{,}1 W_н)} . \qquad (14)$$

Степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой определяется из выражения

$$G = \frac{(1{,}1 W_л + W_н)\Delta}{100 \cdot \varepsilon \Delta_в} , \qquad (15)$$

где ε – коэффициент пористости минеральных прослоек мерзлого грунта в естественном состоянии.

Объемный вес

Объемным весом называется вес грунта ненарушенного сложения при естественной влажности в единице объема.

Для мерзлых грунтов различают и отдельно определяют объемный вес мерзлого грунта вцелом и объемный вес минеральных прослоек. При определении объемного веса грунта ненарушенного сложения, особенно в тех случаях, когда грунт имеет слоистую или сетчатую текстуру, необходимо стремиться к тому, чтобы образцы, отбираемые для опыта, были возможно большего объема (300-500 г).

Объемный вес мерзлого грунта в полевых условиях следует определять, как и для талых грунтов, в соответствии с ГОСТ 5182-64 методом режущего кольца или методом парафинирования, при этом объем кольца должен быть не менее 200-300 см^3.

При невозможности определения объемного веса мерзлого грунта

указанными методами допускается применение расчетного способа, тогда величину объемного веса рассчитывают по формуле

$$\gamma_{об} = \frac{0{,}9\,\Delta(100+W)}{90+\Delta(W-0{,}1W_н)} \quad . \qquad (16)$$

Когда грунт имеет слоистую или сетчатую текстуру, может применяться метод гидростатического взвешивания, для чего используют нейтральные жидкости с известным удельным весом, незамерзающие при отрицательной температуре: керосин, лигроин, толуол. Образец мерзлого грунта произвольной формы (300-500 г) взвешивают на технических весах в воздухе, а затем в нейтральной жидкости при температуре ниже 0^0. Разность между весом образца в воздухе и в жидкости будет равняться весу вытесненной жидкости. Разделив вес вытесненной жидкости на ее удельный вес, получим объем образца. Объемный вес образца может быть определен как частное от деления веса образца на его объем.

7. Механические свойства мерзлого грунта

Испытания механических свойств мерзлых глинистых грунтов при температуре от 0 до -5^0 можно проводить на приборах, предназначенных для талых грунтов. При более низкой температуре испытываемого грунта приборы должны быть частично переоборудованы так, чтобы испытания можно было бы проводить в широких пределах изменяемых нагрузок, поскольку сопротивление мерзлых грунтов в зависимости от ряда факторов может достигать 100 кг/см^2 и более. В процессе испытаний необходимо обеспечить практически постоянную в течение всего опыта отрицательную температуру образца. Допустимые изменения температуры приведены в табл.5.

Таблица 5

Температура испытаний, ^{0}C	до - 2	-2 + - 5	-5+-10	ниже - 10
Допустимые отклонения	±0,1	±0,2	+0,5	±1,0

Постоянную температуру грунта можно сохранить при работе в помещении с автоматическим регулированием температуры (холодильные камеры, шкафы), а в полевых условиях - в естественных подземных лабораториях (шурфах и скважинах), надежная изоляция которых препятствует изменению температуры.

При длительных испытаниях нужно предохранять мерзлые грунты от выветривания. Способы предохранения образцов различные: резиновые оболочки, изоляционные прокладки из различных материалов, клей и т.п.

Сопротивление сдвигу

При оценке условий предельного равновесия массива мерзлого грунта зависимость между касательными τ и нормальными напряжениями ρ, как и для талых грунтов, принимается в виде

$$\tau = c + \rho \operatorname{tg} \varphi ,$$

где c – сцепление мерзлого грунта, кг/см^2;

φ – угол внутреннего трения, град.

В практических расчетах следует применять значения предельно длительного сцепления $c_{дл}$ и внутреннего трения $\varphi_{дл}$. В большинстве случаев для величин давления 2 ÷ 8 кг/см^2 внутреннее трение приближенно принимают равным нулю. В этом случае

$$\tau_{дл} \approx c_{дл} = \text{const}, \qquad (17)$$

т.е. величина предельно длительного сопротивления сдвигу мерзлого грунта численно равна величине его предельно длительного сцепления, которая в полевых условиях устанавливается в результате испытаний образцов грунта при постоянной отрицательной температуре методом шарикового штампа.

Конструкция прибора, на котором проводятся испытания, может быть различной. Одна из применяемых конструкций показана на рис. 8.

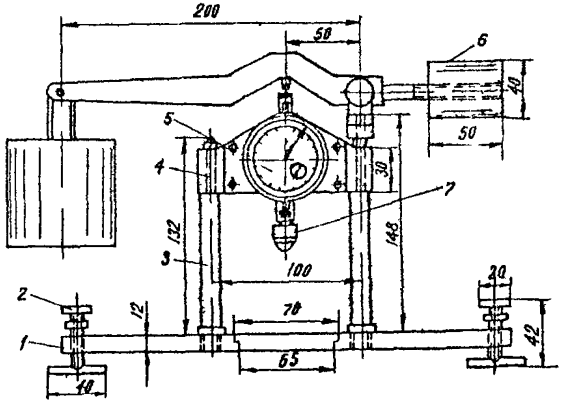


Рис.8. Схема прибора для определения сцепления мерзлого грунта:

I – опорная площадка; 2 – уравнительные винты; 3 – стойки; 4 – поперечина с вмонтированным в нее индикатором; 5 – стопорное приспособление ; 6 – рычаг с контргрузом; 7 – подвижной стержень с шариковым штампом

Во избежание оттаивания грунта под шариком температура прибора должна быть близка к температуре образцов. Для этого прибор необходимо выдержать вместе с образцами в холодильной камере в течение 2-3 ч.

Поверхность образца мерзлого грунта перед испытаниями тщательно зачищают; с нее удаляют включения камней, остатки корней и т.п. Для предупреждения местных пластических деформаций, обусловленных плотностью контакта образца с опорной станиной, мерзлый грунт следует предварительно обжать с помощью жесткой пластинки давлением, по величине не меньшим, чем давление на штоке прибора при последующем испытании.

Величина давления, которое следует приложить на площадку шарикового штампа, зависит от прочности мерзлого грунта. Общее погружение шарикового штампа в мерзлый грунт не должно превышать 0,I его диаметра. При стандартном диаметре шарика, равном I4 мм, обычно прикладывается нагрузка от 5 до I0 кг. Глубину вдавливания стального шарика в мерзлый грунт определяют точными замерами.

Величину сцепления вычисляют по формуле

$$c = 0{,}18\,\frac{p}{\pi h d}\,, \qquad (I8)$$

где d – диаметр стального шарика, см;

h – глубина вдавливания шарика в грунт, см;

p – нагрузка на шариковый штамп, кг.

Величина сцепления мерзлого грунта зависит от времени действия нагрузки. Наибольшее сцепление будет в начале приложения нагрузки, а наименьшее – при длительном ее действии.

Деформацию мерзлого грунта под шариковым штампом измеряют через 10 сек, 30 сек, I, I5, 30 мин, I,2,3 и 8 ч.

Мгновенное сцепление определяется по истечении I0 сек после приложения нагрузки, длительное сцепление – по данным восьмичасового испытания из выражения

$$c_{дл} = 0{,}75\, c_{8}\,, \qquad (I9)$$

где c_{8} – величина сцепления, определяемая в результате восьмичасового испытания, кг/см^2.

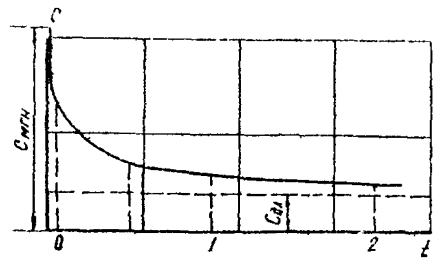


Рис.9. Зависимость сил сцепления от времени действия нагрузки на шариковый штамп

Повторные испытания можно проводить на одном и том же образце, при этом последующие погружения штампа в грунт необходимо производить на расстоянии не менее I см от предыдущих. Если при испытаниях обнаружится, что глубина погружения штампа больше 0,I его диаметра, то следует применять шарики более крупных диаметров.

Результаты испытаний оформляют в виде графика зависимости сцепления от времени действия нагрузки (рис. 9).

Сжимаемость под нагрузкой

Для определения показателей **сжимаемости** мерзлых грунтов (относительного сжатия e, коэффициента относительной сжимаемости a_0), характеризующих величину их уплотнения, испытания проводят под нагрузкой, возрастающей ступенями с выдерживанием каждой ступени нагрузки до стабилизации деформаций.

Число и величина ступеней нагрузки определяются температурой мерзлого глинистого грунта. Нагружать грунты с температурой выше -2° рекомендуется ступенями, последовательно увеличивающимися на 1-2 кг/см^2, а грунты с температурой ниже -2° – на величину 3-4 кг/см^2.

Величину начальной нагрузки при испытании устанавливают в зависимости от сложения мерзлого грунта: при испытании грунтов естественного сложения эта величина должна соответствовать природному давлению, при испытании грунтов с нарушенной структурой с температурой выше -2° величина нагрузки первой ступени не должна превышать 0,5 кг/см^2, а для грунтов с температурой ниже -2° она может быть принята 0,5-2 кг/см^2.

Максимальное уплотняющее давление устанавливается в зависимости от величины проектной нагрузки. При отсутствии данных о величине проектной нагрузки можно воспользоваться значениями предельных сопротивлений по нормативным документам. Перед началом испытаний мерзлый грунт обжимают для достижения наиболее полного контакта торцевых поверхностей образца со штампом и поддоном одометра. Для этого грунты с температурой выше -1° в течение 30 сек, а образцы с температурой ниже -1° в течение 1 мин выдерживают под нагрузкой, равной величине максимального уплотняющего давления.

Определение деформации образца в процессе испытаний производят так же, как для талых грунтов, – после завершения процесса уплотнения под данной нагрузкой.

По данным испытаний строят график зависимости относительной деформации от действующей нагрузки.

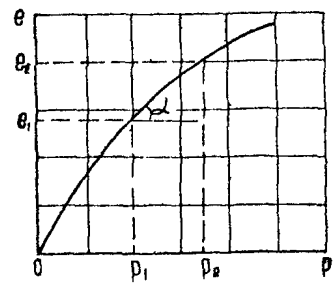


Рис. 10. Зависимость относительной деформации от нагрузки

Величину коэффициента относительной сжимаемости определяют как отношение приращения относительной деформации сжатия Δe к величине приращения нагрузок Δp, представляющее собой тангенс угла наклона к оси абсцисс секущей, проходящей через две точки кривой в пределах выбранного интервала уплотняющих нагрузок (рис. 10)

$$a_0 = \operatorname{tg}\alpha = \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1} \quad . \qquad (20)$$

8. Механические свойства грунтов при оттаивании

Сопротивление сдвигу оттаявшего грунта

Сдвиговые характеристики c и φ определяются на обычных сдвиговых приборах сразу же после оттаивания вечномерзлого грунта, при этом особенности испытаний зависят от условий работы грунта и сооружения.

При испытании грунтов, используемых для отсыпки насыпей, сопротивление сдвигу определяют по обычной методике на образцах с нарушенной структурой, влажность и плотность которых соответствуют нормативной плотности и влажности грунта в теле проектируемой насыпи.

В тех случаях, когда сопротивление сдвигу определяют для грунтов основания или откосов выемок и грунты после оттаивания длительное время сохраняют естественную влажность вследствие плохих условий дренирования, испытания проводят на образцах грунта ненарушенной структуры по методике быстрого сдвига без предварительного уплотнения (незавершенное уплотнение).

В большинстве случаев оттаявшие вечномерзлые глинистые грунты практически полностью водонасыщены. Вследствие этого при сдвиговых испытаниях под действием приложенной нагрузки влажность образцов этих грунтов может изменяться на величину, превышающую 2-3% предусмотренную методикой обычных испытаний. Для получения сдвиговых характеристик, соответствующих начальной влажности образцов грунта, испытывают несколько образцов с различной влажностью под разными нормальными нагрузками.

Нормальные нагрузки при сдвиге следует назначать через равные интервалы - от максимальной до нулевой с учетом реально действующих нагрузок. Под каждой выбранной нормальной нагрузкой производят сдвиг трех образцов с различной влажностью.

Образцы различной влажности можно получить и испытать следующим образом:

Каждый образец, предназначенный для сдвига, выдерживают под постоянной нормальной нагрузкой, под которой проводится сдвиг, в течение различного времени. В этом случае первый образец сдвигается сразу

же после приложения заданной нормальной нагрузки, второй образец - после выдерживания его под данной нагрузкой до практически полного завершения консолидации. Оставшиеся образцы перед сдвигом выдерживают под нагрузкой так, чтобы величина их влажности в момент сдвига имела промежуточное значение между величиной влажности первого и второго образцов.

Образцы выдерживают в течение различного времени под постоянной большой нагрузкой. В этом случае испытывают по одному образцу, выдержанному в течение различного времени под каждой из принятых нормальных нагрузок.

Образцы выдерживают до практически полной консолидации или в течение заданного времени под различными нагрузками, наибольшая из которых должна примерно вдвое превышать максимальную нормальную нагрузку при сдвиге. Часть образцов испытывают на сдвиг без предварительного уплотнения.

После завершения предварительного уплотнения имеют образцы, не подвергавшиеся уплотнению с максимальной влажностью, максимально уплотненные с минимальной влажностью и образцы с промежуточной влажностью. Каждый из образцов грунта с одинаковой влажностью испытывают под одной из принятых нормальных нагрузок.

Интенсивность приложения сдвигающей нагрузки рекомендуется назначать с таким расчетом, чтобы сдвиг образца происходил в течение 2-3 мин. При ступенчатом приложении сдвигающей нагрузки очередную нагрузку следует прикладывать, не дожидаясь прекращения деформаций от предыдущей ступени, убедившись, что деформация сдвига, регистрируемая мессурой, носит затухающий характер. Это устанавливается сопоставлением 4-5 отсчетов по мессуре, взятых с интервалом 3-5 сек.

При использовании ступенчатой нагрузки целесообразно принимать небольшие ступени - по 100-200 г на рычаг.

После завершения сдвига из зоны сдвига образца отбирают пробы на влажность.

По результатам испытаний строят график зависимости сопротивления сдвигу от влажности для каждого из принятых давлений (рис.II,а). Полученный график перестраивают в график зависимости сопротивления сдвигу от нормальной нагрузки для различных влажностей (см.рис.II,б). Затем найденные значения сцепления и углов трения наносят на график, устанавливающий зависимость сцепления и угла внутреннего трения от влажности грунта (см.рис. II,в).

Полученные зависимости используют для определения сдвиговых параметров при любой влажности, включая влажность, превышающую исходную

на момент испытаний. В этом случае полученные кривые экстраполируются в область более высоких влажностей.

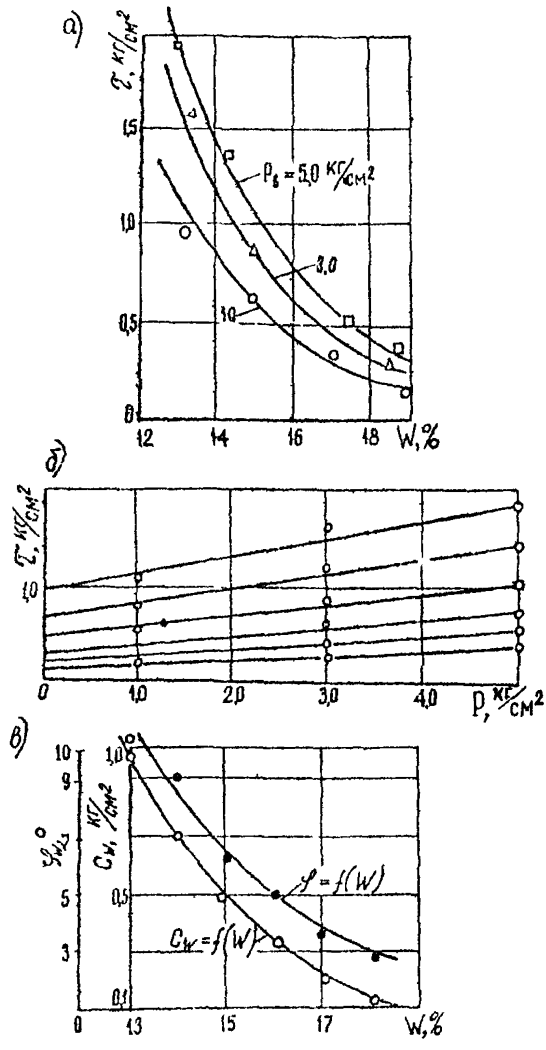


Рис.II. График обработки результатов сдвиговых испытаний:

а - зависимость сопротивления грунта сдвигу от влажности при различных нагрузках; б - зависимость сопротивления грунта сдвигу от нагрузки при различных влажностях; в - зависимость угла внутреннего трения φ и сцепления С от влажности

Осадка при оттаивании

Основным показателем *деформации мерзлых* грунтов при их оттаивании под действием нагрузки от сооружения является относительная осадка - отношение величины осадки при уплотнении без бокового расширения к высоте уплотняемого образца

$$e = \frac{S}{h}, \qquad (21)$$

где S - величина осадки образца грунта при испытании;

h - высота уплотняемого образца.

Величина относительной осадки рассчитывается по формуле

$$e = A_0 + a_0 p, \qquad (22)$$

где A_0 - коэффициент оттаивания;

a_0 - коэффициент сжимаемости.

Коэффициенты A_0 и a_0 определяются в ре-

вультате испытаний грунта ненарушенной структуры на обычных компрессионных приборах. Испытания проводят в зависимости от количества образцов одним из двух способов.

При первом способе испытаний образцы грунта в течение периода оттаивания находятся под действием постоянной нагрузки до полной стабилизации осадки.

Испытания проводят под действием по меньшей мере двух нагрузок (I÷8 кг/см^2). При этом количество повторных испытаний при одной и той же нагрузке для однородного мерзлого грунта не должно быть менее трех.

Относительная осадка образца грунта, оттаявшего под действием каждой нагрузки, в этом случае определяется по формуле

$$e = \frac{h_м - h_т}{h_м}, \qquad (23)$$

где $h_м$ – высота мерзлого образца грунта, см;

$h_т$ – высота оттаявшего образца грунта после его обжатия, см.

Коэффициент оттаивания A_0 и коэффициент сжимаемости a_0 вычисляют по данным испытания из выражений:

$$a_0 = \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1}, \qquad (24)$$

$$A_0 = e_2 - a_0 p_2, \qquad (25)$$

где e_1, e_2 – соответственно относительные осадки образцов, полученные при двух разных нагрузках;

p_1, p_2 – нагрузки, при которых проводились испытания, кг/см^2.

Второй способ испытаний для определения осадки оттаивающего грунта следует применять при ограниченном количестве образцов мерзлого грунта.

В этом случае грунт оттаивает при нагрузке p_1, соответствующей бытовому давлению на глубине отбора образца.

После оттаивания проводят компрессионные испытания грунта по методике для талых грунтов. В процессе испытаний величина максимальной обжимающей нагрузки принимается с учетом условий работы грунта и проектируемого сооружения.

Значения коэффициентов A_0 и a_0 вычисляются по формулам (24) и (25).

Для массовых предварительных расчетов величину относительной осадки оттаивающих глинистых грунтов допускается определять по формулам:

при $C \leqslant 0{,}95$

$$e = 1 - \gamma\left[\frac{1}{\Delta} + \frac{1}{\Delta_\theta}\left(W_p + \frac{K_g W_n}{100}\right)\right], \qquad (26)$$

при $C > 0{,}95$

$$e = \frac{1{,}1 W_\theta + W_H - W_p + \frac{K_g W_n}{100}}{\frac{\Delta_\theta}{\Delta} + 1{,}1 W_\theta + \frac{W_n}{100}}, \qquad (27)$$

где W_n – число пластичности, %;

K_g – эмпирический коэффициент, принимаемый по табл. 6 в зависимости от давления и числа пластичности.

Таблица 6

Грунты	Значения коэффициента K_g при уплотняющем давлении p, кг/см²				
	1	2	3	4	5
Супесь с числом пластичности:					
$W_n \leqslant 3$	1,60	1,80	1,10	0,90	0,80
$3 < W_n \leqslant 5$	1,80	1,10	0,95	0,80	0,70
$5 < W_n \leqslant 7$	1,20	1,00	0,85	0,75	0,65
Суглинок с числом пластичности:					
$7 < W_n \leqslant 9$	1,10	0,90	0,80	0,65	0,5[illegible]
$9 < W_n \leqslant 13$	1,00	0,80	0,70	0,60	0,5[illegible]
$13 < W_n \leqslant 17$	0,90	0,70	0,60	0,50	0,40
Глина с числом пластичности:					
$17 < W_n \leqslant 21$	0,80	0,65	0,50	0,45	0,35
$21 < W_n \leqslant 26$	0,75	0,55	0,45	0,35	0,30
$26 < W_n \leqslant 32$	0,65	0,50	0,35	0,30	0,25
$W_n \leqslant 32$	0,55	0,40	0,30	0,25	0,20

9. Величина и неравномерность морозного пучения

Морозное пучение – это поднятие поверхности промерзающего грунта в результате перехода в лед воды, содержащейся внутри объема грунта и поступившей извне в процессе миграции.

Неравномерность морозного пучения характеризуется коэффициентом неравномерности пучения, представляющим собой отношение превышения одной точки поверхности пучения над другой к расстоянию между этими точками

$$K = \frac{|h_2 - h_1|}{L} , \qquad (28)$$

где h_2, h_1 – величины поднятия рассматриваемых точек при пучении, см;

L – расстояние между точками, см.

Определение величины и коэффициента неравномерности пучения проводят в полевых условиях на месте предполагаемых выемок и нулевых мест высотным нивелированием точек поверхности земли. Точки наблюдения следует располагать на расстоянии 50-70 см друг от друга в местах резкого изменения литологического состава грунта, резкой смены поверхностных условий, связанных с изменением микроландшафта (кочковатая поверхность, бугры, ложбины, понижения, растительность, зоны перехода от участков с растительным покровом к безлесным участкам), условий увлажнения (переходы от увлажненных участков к более сухим) и т.п.

Точки наблюдения фиксируются металлическими или деревянными колышками, забиваемыми на глубину 15-20 см. Количество этих точек должно быть не менее 20 на объект.

Нивелировку требуется проводить два раза: перед началом промерзания и при промерзании грунта на величину, превышающую 60-70% от глубины сезонного оттаивания.

Нивелировочные отметки привязывают к постоянному грунтовому реперу (ВСН 61-61, приложение 3).

При определении коэффициента неравномерности нивелировку можно проводить в относительных отметках. В этом случае величину коэффициента неравномерности пучения определяют по формуле

$$K = \frac{|\Delta h_1 - \Delta h_2|}{L} , \qquad (29)$$

где Δh_1 – превышение одной точки над другой (по данным нивелировки перед промерзанием грунта), см;

Δh_2 – то же после промерзания, см.

Пределы изменения величины пучения и коэффициента его неравномерности определяют с заданной вероятностью по формулам:

$$h_\beta = \bar{h} \pm \Delta h , \qquad (30)$$

$$K_\beta = \bar{K} \pm \Delta K , \qquad (31)$$

где $\bar{h}$, $\bar{K}$ – соответственно среднее значение величин пучения и коэффициента неравномерности по данным полевых измерений;

Δh, ΔK – соответственно отклонение величины пучения и коэффициента неравномерности от среднего значения, определяемые в зависимости от среднеквадратического отклонения σ_h и σ_K и заданной вероятности β по графикам на рис.I2.

Вероятность, с которой следует определять пределы изменения величины пучения и его неравномерности, назначается в зависимости от чувствительности сооружения к деформации основания при пучении грунта.

Пример расчета пределов изменений величины пучения и коэффициента его неравномерности с заданной вероятностью

В результате наблюдений за величиной пучения в полевых условиях средняя величина пучения $\bar{h}$ =I5см, а среднеквадратическое отклонение σ_h =2 см, средняя величина коэффициента неравномерности пучения $\bar{K}$ =0,06, σ_K =0,02.

Определить пределы изменения величины пучения и коэффициента его неравномерности с вероятностью β =0,8.

По графикам на рис. I2 определяют отклонения от среднего значения для величины пучения и коэффициента его неравномерности.

При β =0,8 величины отклонений, соответствующие σ_h =2 см и σ_K =0,02, будут равны: Δh =8 см, ΔK = 0,03.

Отсюда величина пучения и коэффициента его неравномерности будет изменяться в пределах: $h = I5 \pm 8$ см; $K = 0,06 \pm 0,03$.

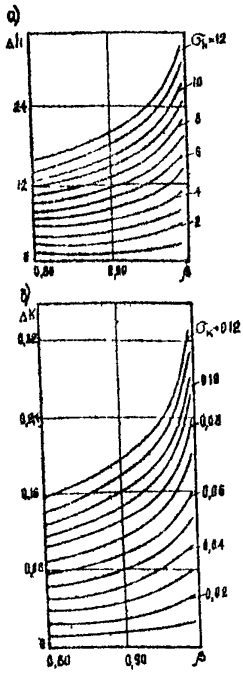


Рис.I2. Графики для определения возможных отклонений: а – величины пучения; б – коэффициента неравномерности пучения грунта в зависимости от заданной вероятности

IO. Теплофизические характеристики мерзлых грунтов

Основные теплофизические характеристики, необходимые для расчетов глубин промерзания и оттаивания грунта в полевых условиях, могут быть определены по табл. 7 и 8.

Таблица 7

Расчетные значения теплофизических характеристик талых и мерзлых грунтов (СНиП П-Б.6-66)

Объемный вес, т/м³, $\gamma_{об}$	Суммарная влажность грунта W	Коэффициент теплопроводности грунта, ккал/м·ч·град						Объемная теплоемкость грунта, ккал/м³град	
		пески		супеси		суглинки и глины			
		$\lambda_т$	$\lambda_м$	$\lambda_т$	$\lambda_м$	$\lambda_т$	$\lambda_м$	$c_т$	$c_м$
I,2	0,05	0,40	0,52	-	-	-	-	285	260
I,2	0,I0	0,62	0,79	0,38	0,45	-	-	320	270
I,4	0,05	0,57	0,69	-	-	-	-	330	300
I,4	0,I0	0,87	I,08	0,52	0,69	0,44	0,68	370	3I5
I,4	0,I5	I,00	I,25	0,7I	0,88	0,56	0,84	4I0	330
I,4	0,20	-	-	0,84	I,05	0,65	0,94	45I	345
I,4	0,25	-	-	0,92	I,I6	0,72	I,00	490	360
I,6	0,05	0,75	0,9I	-	-	-	-	380	340
I,6	0,I0	I,05	I,35	-	-	-	-	430	360
I,6	0,I5	I,25	I,60	0,98	I,I0	0,72	0,98	470	370
I,6	0,20	I,36	I,73	I,05	I,29	0,88	I,I2	520	395
I,6	0,25	I,4I	I,82	I,I6	I,44	0,96	I;24	565	4I0
I,6	0,30	-	I,93	I,20	I,55	I,00	I,30	6I0	430
I,6	0,35	-	-	I,30	I,65	I,05	I,35	650	445
I,6	0,40	-	-	-	I,72	I,I0	I,4I	700	465
I,6	0,60	-	-	-	-	-	I,50	-	500
I,8	0,I0	I,30	I,60	-	-	-	-	400	400
I,8	0,I5	I,55	I,90	I,I9	I,3I	0,72	0,98	530	420
I,8	0,20	I,65	2,I0	I,34	I,52	0,88	I,I2	580	440
I,8	0,25	I,75	2,28	I,43	I,70	0,96	I,24	640	460
I,8	0,30	-	2,32	I,48	I,82	I,00	I,30	690	480
I,8	0,35	-	-	I,5I	I,93	I,05	I,35	740	500
I,8	0,40	-	-	-	2,00	I,I0	I,4I	795	520
I,8	0,60	-	-	-	-	-	I,58	-	560
2,0	0,I5	I,76	2,20	I,40	I,50	-	-	590	470
2,0	0,20	2,00	2,42	I,56	I,75	I,24	I,50	650	490
2,0	0,25	2,26	2,72	I,73	I,93	I,35	I,6	705	5I0
2,0	0,30	-	-	I,80	2,I0	I,44	I,75	770	530
2,0	0,35	-	-	-	-	I,53	I,86	820	555

Таблица 8

Теплофизические характеристики гравийно-галечных грунтов, мха и торфа

Грунты или материалы	Объемный вес, т/м³, $\gamma_{об}$	Влажность %, W	Коэффициент теплопроводности, ккал/м.ч.град		Объемная теплоемкость, ккал/м³·град	
			λ_m	$\lambda_м$	c_m	$c_м$
I	2	3	4	5	6	7
Песок гравелистый	2,I0	5,I	0,75	I,05	468	4I0
	2,I2	5,9	0,79	I,II	476	4I9
	2,I8	6,6	0,88	I,23	492	426
Гравий	2,22	3,5	0,65	0,9I	547	5I0
	2,25	4,8	0,74	I,04	577	525
	2,26	4,9	0,83	I,I6	580	528
	2,26	5,2	0,77	I,08	586	529
	2,27	5,5	0,87	I,22	592	533
	2,30	7,0	0,88	I,23	628	552
	2,32	7,9	0,93	I,30	645	559
Гадька (щебень)						
а) с песком	2,04	I0	I,93	2,9	-	-
б) с глиной	2,04	I0	2,00	8,0	-	-
Насыпь из гравийно-песчаных грунтов	I,67	8,7	I,29	I,43	720	640
Мох воздушно-сухой	0,I3	-	0,06	-	I5	-
Мох уплотненный	0,26	233	0,32	0,45	202	II2
	0,30	294	0,34	0,48	249	I35
	0,33	333	0,39	0,55	279	I5I
	0,45	484	0,35	0,49	396	207
	0,62	700	0,44	0,86	562	290
Мох спрессованный	I,I6	-	0,062	-	I28	-
Торф сфагнум	0,I5-0,3	-	0,05-0,07	-	-	-
Фрезерный торф	0,7	257	0,27	0,43	500	275
Торф естественной влажности	0,8-I,0	-	0,26-0,5	-	320-870	-

I	2	3	4	5	6	7
Торф спрессованный воздушно-сухой	0,82	-	0,I5	-	303	-
Торфяной слой, спрессованный весом насыпи и увлажненный	0,82	I00	0,I5	0,27	360	304
	I,0I	335	0,33	0,43	880	485
Торф (сфагнум и сфагново-пушицевый), уплотненный весом насыпи	0,8I	2I9	0,42	0,72	675	400
Почвенный слой, состоящий из сильно гумусированной супеси с торфом	I,39	84	0,55	0,76	-	-

Значения $c_м$ в табл. 8 даны для температуры - $I0^0$. В интервале температур от -0,5 до -I0 $c'_м$ определяется в зависимости от количества незамерзшей воды при заданной температуре по формуле

$$c'_м = \frac{1}{W}\left[c_м (W - W_н) + c_т W_н\right] \qquad (33)$$

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Вялов С.С., Городецкий С.Э. и др. Методика определения характеристик ползучести, длительной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов. М., "Наука", 1966.

2. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение М., изд-во МГУ, 1967.

3. Мазуров Г.П. Физико-механические свойства мерзлых грунтов. Л.-М., Стройиздат, 1964.

4. Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. Сб. I,2,3. М., изд-во АН СССР, 1953, 1954, 1957.

5. Методические указания по определению физико-механических свойств грунтов в полустационарной лаборатории изыскательских экспедиций. М., Оргтрансстрой Минтрансстроя, 1961.

6. Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования. Методическое руководство. М., изд-во АН СССР, 1961.

7. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок. М., Союздорнии, 1967.

8. СНиП П-Б.6-66. Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования. М., Госстрой СССР, 1967.

9. Технические указания по изысканию, проектированию и постройке железных дорог в районах вечной мерзлоты. ВСН 61-61. М.,Оргтрансстрой Минтрансстроя, 1962.

10. Цытович Н.А., Вотяков И.Н., Пономарев З.Д. Методические рекомендации по исследованию осадок оттаивающих грунтов. М., изд-во АН СССР, 1961.

gost.e-ecolog.ru