

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА

64-6
110672

[П. О. БОЙЧЕНКО]

64-6
110672
72/122

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ
И КОНСИСТЕНЦИИ
ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
МЕТОДОМ КОНУСА

(МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ)



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1964

В работе излагаются разработанные автором методы определения пределов пластичности, показателей консистенции и структурной связности глинистых грунтов с использованием общей для всех этих определений экспериментальной основы — конуса постоянного веса. Применение конуса обеспечивает высокую точность испытаний, позволяет характеризовать консистенцию грунтов в естественном состоянии и подразделять грунты по степени выраженности структурной связности.

В работе большое внимание уделяется вопросу классификации грунтов по указанным показателям.

Данные методические указания предназначаются для использования в качестве учебного пособия, а также в качестве руководства для работников грунтовых лабораторий различных производственно-исследовательских организаций.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Пределы пластичности и показатели консистенции принадлежат к числу наиболее распространенных классификационных характеристик глинистых грунтов.

Величины пределов, и в особенности числа пластичности, находятся в тесной связи со степенью дисперсности и гидрофильтрностью поверхности частиц, характером порового раствора и угими факторами, определяющими степень выраженности основного свойства связных грунтов — их пластичности. Число пластичности, косвенно отображающее состав грунтов, широко используется в качестве классификационной основы при отнесении грунтов к тем или иным разновидностям. Показатели консистенции находят применение для относительной оценки устойчивости грунтов.

Пределы пластичности и показатели консистенции весьма часто определяются экспериментально и поэтому могут быть получены при инженерно-геологических исследованиях для большого числа образцов. Возможность получения этих характеристик в массовом количестве позволяет выделять в исследуемом массиве единообразные инженерно-геологические горизонты, обожженные грунтами, близкими по составу и устойчивости, что является необходимым при обоснованном выборе характерных образцов для полных испытаний и получения обобщенных и распределенных показателей однородных по составу и состоянию разностей грунтов.

Простые способы оценки несущей способности грунтов уже давно базируются на использовании показателей пластичности и консистенции. Очевидно также значение этих характеристик и контроль за качеством уплотнения грунтов в земляных сооружениях, а также при установлении различных корреляционных зависимостей, по которым на основании весьма несложных испытаний могут быть получены приближенные значения таких

важных расчетных показателей грунтов, как показатели сжимаемости и сопротивления сдвигу, непосредственное определение которых связано со значительной затратой труда и времени.

Несмотря на широкое и разнообразное использование пределов пластичности и показателей консистенции, распространенные в настоящее время методы определения этих характеристик следует признать весьма несовершенными. Методикам определения пределов пластичности по ГОСТ 5183-49—5184-49 свойственны недостатки как принципиального характера, так и относящиеся к технике эксперимента. Оценка консистенции в настоящее время, согласно Строительным нормам и правилам (СН и П II-Б. 1-62), производится посредством показателя, позволяющего характеризовать только консистенцию грунтов, без учета структурной связности, т. е. в нарушенном их состоянии.

В данной работе изложены разработанные автором методы определения пределов пластичности и консистенции грунтов с помощью конуса постоянного веса. Помимо оценки консистенции грунтов в естественном и нарушенном состояниях, излагается также метод определения показателя структурной связности, являющегося относительной характеристикой степени изменения консистенции грунтов при нарушении их естественной структуры. Описан также способ изучения интенсивности восстановления структурной прочности грунтов с течением времени путем испытания их консистенции. Определение всех указанных выше характеристик грунта, связанных по своей физической сущности, производится с применением одного прибора (пенетрометра) при единообразной технике эксперимента. Наглядность и логичность численной характеристики консистенции прямым методом (по испытаниям грунтов конусом) обеспечивается благодаря взаимосвязи с численным выражением консистенции косвенным методом (по сопоставлению влажности с пределами пластичности).

Рекомендуемые методы позволяют повысить точность характеристики грунтов и делать более обоснованными практические выводы и решения, которые основываются на показателях пластичности и консистенции. Следует отметить, что более качественная оценка консистенции достигается при значительно меньшей трудоемкости испытаний по сравнению с распространенными в настоящее время способами. Определенное снижение затрат труда имеет место также и при определении пределов пластичности предлагаемым ускоренным методом.

Методика экспериментов по определению пределов пластичности, характеристике консистенции и структурной связности с помощью конуса постоянного веса была опубликована автором в 1950 г. Истекшее время показало, что широкое внедрение этих методов в практику исследований грунтов затрудняется главным образом потому, что автором принята эталонная консистенция на верхнем пределе пластичности, отличная от принятой в

ГОСТ 5184-49, и, кроме того, рекомендовано выражать консистенцию посредством коэффициента, отличающегося от признанного различными ведомственными нормами и техническими условиями. В соответствии с этим в данной работе изложены методические указания по определению характеристик как применительно к рациональным, по мнению автора, эталонной консистенции на верхнем пределе пластичности и показателю консистенции, так и соответствующим ныне действующим ГОСТ и СН и П. Кроме того, приведены выражения и графики, позволяющие производить сопоставления и пересчеты показателей пластичности, полученных при различных стандартных условиях, и показателей консистенции различного вида. В работе удалено также большое внимание классификации грунтов по различным показателям.

Цель настоящих методических указаний — служить руководством при проведении экспериментальных исследований, поэтому изложение не сопровождается ссылками на литературные источники. Список основной литературы приведен в конце работы.

I. АППАРАТУРА

Для определения пределов пластичности, консистенции и характеристики структурной связности глинистых грунтов при испытании их конусом применяется прибор пенетрометр. К настоящему времени разработаны две модели этого прибора (рис. 1 и 2). Пенетрометр состоит из основания (1) с прикрепленной к нему колонкой (2), по которой перемещается кронштейн (3). В направляющих отверстиях кронштейна помещается стержень (4) со стальным конусом (5), поверхность которого тщательно отшлифована, и грузом (6). Угол при вершине конуса равен 30° , вес подвижной системы (вес всех деталей, соединенных со стержнем и конусом) — $300 \pm 0,2$ г. В исходном положении стержень удерживается защелкой с кнопкой (7). Глубина погружения конуса фиксируется по шкале и нониусу с точностью до 0,1 мм. Для предохранения конуса от повреждений в углублении, имеющемся в центральной части диска основания прибора, помещена резиновая прокладка, верхняя поверхность которой находится ниже поверхности диска.

В первой модели пенетрометра (рис. 1) перемещение кронштейна осуществляется с помощью установочного винта (8), закрепление же, после установки острия конуса на поверхности грунта, т. е. непосредственно перед определением глубины погружения конуса, производится винтом (9). Во второй модели (см. рис. 2) благодаря кремальерному устройству обеспечивается более быстрое перемещение кронштейна по колонке, подъем и спускание которого производится вращением маховика кремалььеры (8), а закрепление стопорным винтом (9).

Перед началом испытаний необходимо проверить исправность пенетрометра, обратив внимание на следующее:

1. Острие конуса должно иметь строго коническую форму и не иметь повреждений.
2. В начальном положении отсчет по шкале должен быть равен нулю.

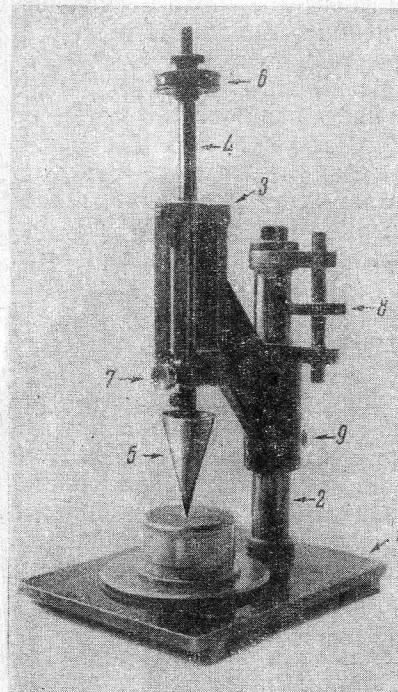


Рис. 1. Пенетрометр (первая модель).

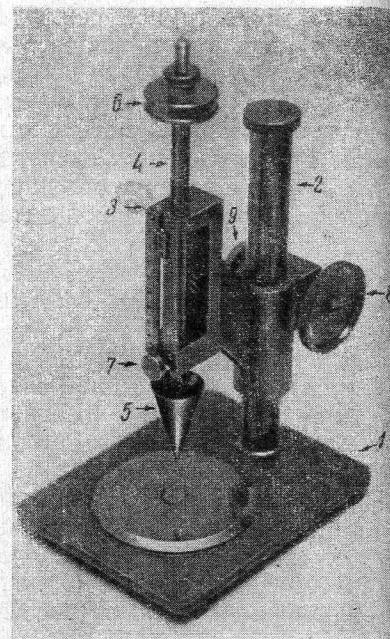


Рис. 2. Пенетрометр (вторая модель).

3. При закреплении кронштейна на колонке стопорным винтом положение острия конуса не должно изменяться. Перед началом испытаний, а также после каждого определения глубины отпечатка конус необходимо вытираять насухо и по окончании работы поверхность его смазывать техническим вазелином.

4. При нажатии на кнопку защелки (до отказа) падение стержня с конусом должно быть совершенно свободным (смазывание стержня какими-либо смазочными средствами не допускается, стержень и направляющие отверстия кронштейна периодически протираются сухой тканью).

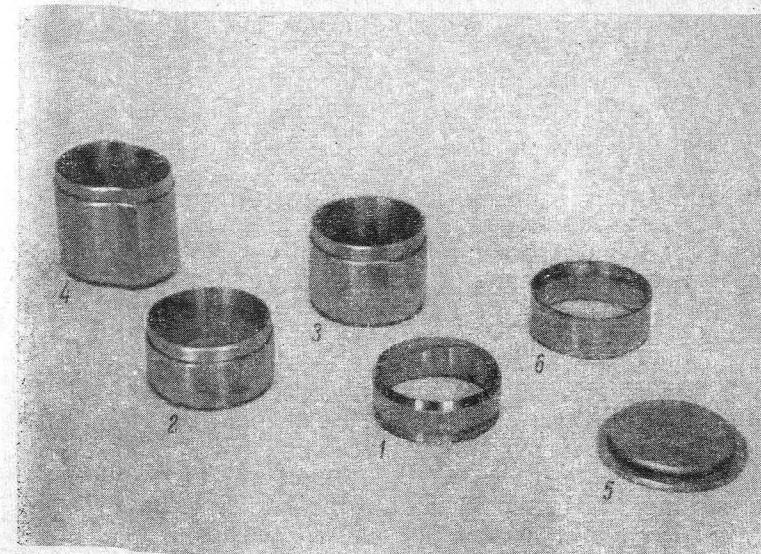


Рис. 3. Обоймы (кольца) для грунта (1-4), предохранительное кольцо (6) и диск (5).

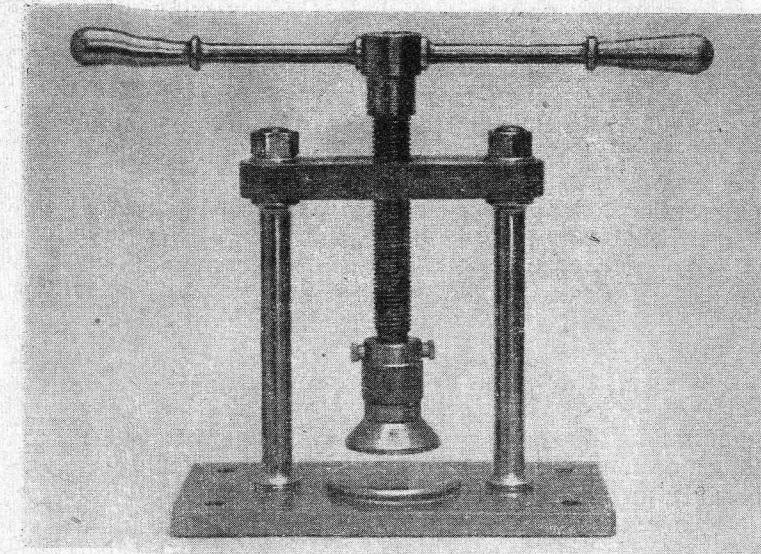


Рис. 4. Винтовой пресс.

Перед испытаниями грунты помещаются в обоймы (кольца) с внутренним диаметром 50 мм разной высоты — 20, 30, 40 и 50 мм (рис. 3).

Придание монолитности образцам грунтов нарушенной структуры с малой влажностью производится с помощью винтового пресса (рис. 4).

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ГРУНТОВ

Пределы пластичности, определяемые с помощью пенетрометра, являются величинами влажности грунта при его состояниях, характеризуемых стандартными значениями глубины погружения конуса.

За нижний предел пластичности (A_c) принимается влажность, соответствующая глубине погружения конуса пенетрометра в грунт на 4 мм ($h_A=4$ мм). Величина $h_A=4$ мм является средней глубиной погружения конуса в грунт, влажность которого равна нижнему пределу пластичности (w_p), определенному по обычной методике (ГОСТ 5183-49), т. е. раскатыванием грунта в жгут при диаметре последнего, равном 3 мм.

В качестве верхнего предела пластичности (F_c) автор рекомендует принимать влажность грунта при погружении конуса на 32 мм ($h_F=32$ мм). Величина $h_F=32$ мм установлена в результате измерения глубин отпечатков конуса в грунтах, имеющих влажность, соответствующую верхнему пределу пластичности, определенному на приборе В. В. Охотина при высоте падения чашки 15 см.¹

Консистенции грунтов на границе текучести (w_t) по ГОСТ 5184-49 отвечает средняя глубина погружения конуса пенетрометра, равная 22,5 мм ($h_B=22,5$ мм). Таким образом, влажность грунта при $h_B=22,5$ мм, обозначенная нами F_B , соответствует границе текучести w_t .

Испытанию подвергаются только связные грунты, обладающие свойством пластичности, которое может быть обнаружено по способности грунта, при соответствующем увлажнении, раскатываться в валики диаметром не более 3—4 мм и длиной не менее 20—30 мм.

1. Подготовка грунта к испытаниям

Определение пределов пластичности следует производить для образцов при влажности, близкой к естественной.

Частицы, крупнее 3 мм, при их содержании свыше 5% необходимо удалять путем протирания грунтов через сито. Кроме сит с круглыми отверстиями диаметром 3 мм, можно пользоваться

¹ Результаты, аналогичные получаемым на приборе В. В. Охотина, дает и прибор В. М. Безрука, основанный на таком же принципе испытаний и имеющий одинаковые стандартные данные.

ся проволочными с отверстиями 2,5 мм. Образцы, находящиеся при естественной влажности в полутвердом и твердом состояниях, предварительно увлажняются до пластичной консистенции. Для этого грунт, нарезанный мелкими кусочками, помещают в фарфоровую чашку, смачивают водой и выдерживают в течение суток в эксиликаторе с водой или другом закрытом сосуде.

Грунты, не содержащие частицы крупнее 3 мм или содержащие их в количестве, меньшем 5%, можно не протирать. Если такие грунты находятся в пластичном состоянии, то их нужно тщательно перемять при естественной влажности до получения совершенно однородной массы. При полутвердой и твердой консистенции их предварительно размачивают в течение суток до пластичного состояния, после чего переминают.

Если определения пределов пластичности производятся для воздушно-сухих грунтов, то в этом случае пробы необходимо растереть в фарфоровой ступке деревянным пестом или пестом с резиновым наконечником, просеять через одно из указанных сит и сделать замес при влажности, соответствующей «рабочему» состоянию (грунт должен хорошо формоваться и не обладать липкостью), после чего грунт оставляют на сутки в эксиликаторе с водой. Выдерживание замеса грунта нужно для обеспечения равномерного распределения влаги в грунте.

Определение пределов пластичности для грунтов, подсушенных до воздушно-сухого состояния, является крайне нежелательным, так как высушивание, как правило, приводит к получению заниженных значений этих показателей, в особенности верхнего предела пластичности тонкодисперсных грунтов.

2. Определение нижнего предела пластичности

Чтобы определить нижний предел пластичности (A_c), необходимо произвести два опыта по установлению величин влажности грунта ($w\%$) при погружениях конуса (h мм), по возможности более близких к 4 мм. В одном испытании глубина отпечатка должна быть больше, а во втором меньше — $h_A=4$ мм. Минимальное значение глубины погружения конуса должно быть не менее 2,5 мм, максимальное — не более 7 мм.

Если влажность подготовленного к опытам грунта является высокой ($h>7$ мм), то часть образца, предназначенную для определения нижнего предела пластичности, необходимо несколько подсушить. Снижение влажности можно производить, переминая грунт в руках (при влажности, мало отличающейся от требуемой при опыте) или же выдерживая некоторое время нарезанный мелкими кусочками грунт в открытой чашке при комнатной температуре и при периодическом перемешивании. Равномерное снижение влажности может быть также обеспечено, если подсушивать на воздухе грунт, раскатанный на стекле деревянным валиком до толщины слоя 2—3 мм и затем поме-

щенный на фильтровальную бумагу. После подсушивания влажность грунта должна быть несколько выше предела раскатывания.

Подготовленный к опытам грунт помещают в обойму (кольцо) высотой 20 мм (рис. 3,1), установленную на стекле и слегка смазанную внутри вазелином. Грунт укладывают в обойму отдельными порциями с послойным трамбованием деревянным цилиндрическим стержнем (диаметр 25—30 мм). После заполнения кольца почти на всю его высоту (поверхность грунта должна быть ниже верхнего края кольца на 1—2 мм) производится уплотнение грунта на винтовом прессе (рис. 4) для обеспечения слияния отдельных комочек в монолитную массу. Перед уплотнением на основание пресса (под кольцо с грунтом) кладется листок плотной бумаги или кальки, а нижняя поверхность штампа слегка смазывается техническим вазелином для того, чтобы грунт к нему не прилипал. Вращением рукояток винта опускают штамп пресса до соприкосновения с поверхностью грунта, наблюдая при этом за тем, чтобы штамп проник внутрь кольца. После этого вращают рукоятки пресса, увеличивая давление на грунт до наступления механической его текучести, т. е. до момента выдавливания грунта через зазоры между штампом и кольцом или между кольцом и основанием пресса.² Уплотнение слабоглинистых грунтов прекращают при появлении в зазорах воды, выжимаемой из грунта.

После прессования ножом срезают грунт с нижней стороны кольца бровень с краями, вставляют в кольцо выступ диска (рис. 3,5), проталкивая образец вверх на высоту выступа (5 мм), и срезают весь излишний грунт также бровень с краями. Поверхность грунта следует пригладить плоской стороной ножа.

В дальнейшем производится определение глубины погружения конуса. Кольцо вместе с диском устанавливают на основание пенетрометра и вращением установочного винта (см. рис. 1,8) или маховичка кремальеры (см. рис. 2,8), подводят конус к поверхности грунта таким образом, чтобы его острие слегка касалось поверхности образца. При этом положении конуса закрепляют кронштейн на колонке завинчиванием стопорного винта. Правильность положения конуса проверяется передвижением обоймы с грунтом по подставке пенетрометра: при точной установке острие конуса вычерчивает тонкую линию. Затем, резко нажимая на кнопку защелки, дают возможность конусу внедриться в грунт в течение 5 секунд, после чего кнопку отпускают. Отсчетом по шкале с нониусом определяют глубину отпечатка конуса с точностью до 0,1 мм.

При определении нижнего предела plasticности, т. е. при работе с грунтами, мало увлажненными, глубины отпечатков конуса в которых невелики, делают несколько (3—5) контроль-

² Диаметр штампа меньше внутреннего диаметра кольца (50 мм) на 0,2 мм.

ных измерений. При этом после каждого опыта приподнимают стержень с конусом в исходное положение (до щелчка защелки), освобождают стопорный винт, установочным винтом (или вращением маховичка кремальеры) несколько приподнимают кронштейн и тщательно, насухо вытирают конус, после чего опять устанавливают конус на поверхности грунта и поступают, как указано выше. За окончательный результат принимают среднее из нескольких определений, исключив случайные, главным образом заниженные величины (заниженные значения глубины отпечатков возможны при попадании острия конуса на отдельные крупные частицы).

Непосредственно после испытания из обоймы отбирают пробу в сушильный стаканчик для определения влажности. При ответственных испытаниях рекомендуется влажность определять по двум пробам.

Поскольку при первом опыте глубина погружения конуса обычно находится в пределах 4—7 мм, для того, чтобы произвести второй опыт, при $h=2,5 \div 4$ мм, необходимо снизить влажность грунта, что достигается указанными выше приемами. Уплотнение под прессом образцов со сниженной влажностью во всех случаях также производят до начала пластического течения грунта или до появления выжимаемой воды.

Численное значение нижнего предела plasticности (A_C), отвечающее влажности грунта при глубине погружения конуса $h_A=4$ мм, находится в результате графической интерполяции (рис. 5).

При опытах с грунтами весьма малой глинистости, относящимися к переходным разновидностям между супесями и песками, возможны случаи, когда даже при низкой влажности грунта и после интенсивного уплотнения его с помощью винтового пресса до появления выжимаемой воды не может быть получена глубина погружения конуса меньше 4 мм. Этот факт указывает на то, что данные грунты являются непластичными, и нижний предел plasticности для этих грунтов, так же как и для песков, не может быть определен.

Применяющееся при определении A_C уплотнение грунтов обеспечивает монолитность образцов при их водонасыщении, близком к полному. Заметим, что величина уплотняющего давления, а также продолжительность его действия могут варьировать в широких пределах, не влияя на конечные результаты опытов,

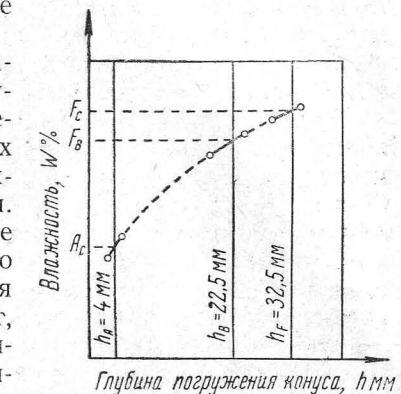


Рис. 5. Графический способ установления численных значений пределов plasticности.

так как влажность фиксируется после испытания грунтов конусом, механическая же сопротивляемость грунта при близком к полному водонасыщению определяется фактическим водосодержанием и практически не зависит от величины давления, которое было приложено в процессе формования образца.

3. Определение верхнего предела пластичности

Методика определения верхнего предела пластичности F_C и F_B в общих чертах аналогична методике определения нижнего предела (A_C). В этом случае также необходимо произвести не менее двух опытов по определению глубины погружения конуса и влажности испытуемого грунта.

Определение верхнего предела пластичности F_C связано с нахождением влажности при $h_F=32 \text{ мм}$, поэтому глубина отпечатка конуса в одном опыте должна быть меньше 32 мм (27–32 мм), а в другом — больше (32–37 мм). Для того чтобы получить глубину погружения конуса более 27 мм, подготовленный к испытаниям грунт, как правило, требуется увлажнить. При добавлении воды грунт тщательно перемешивают шпателем в фарфоровой чашке и укладывают в обойму высотой 40 мм, установленную на стеклянной пластинке (или на пластинке из пластмассы); обойма заполняется грунтом с некоторым избытком, который затем счищается ножом. Уплотнение грунта под прессом не производят и диск не применяют. Вместе с пластинкой обойма переносится на основание пенетрометра, и производится определение глубины погружения конуса. Первая проба для определения влажности отбирается при глубине погружения конуса 27–32 мм, следующая — после дополнительного увлажнения грунта, при $h=32 \div 37$. Глубина погружения конуса фиксируется с точностью до 0,1 мм. Длительность погружения (время, в течение которого кнопка защелки нажата до отказа) — 5 секунд.

Ввиду того, что при определении верхнего предела пластичности испытываются увлажненные образцы, в которые конус погружается на значительную глубину, в одной обойме определяется глубина только одного отпечатка; острие конуса при этом устанавливается в центре обоймы. Контрольные определения при одной и той же влажности не производятся.

С целью исключения влияния тиксотропных явлений на характер зависимости глубины погружения конуса от влажности следует перед каждым опытом производить перемешивание грунта в фарфоровой чашке с примерно равной интенсивностью, без задержки переносить грунт в кольца и глубину погружения конуса определять через 1 минуту после заполнения кольца грунтом. Соблюдение указанного единообразия в подготовительных операциях необходимо бывает только при испытании

грунтов с весьма резко выраженным тиксотропными свойствами.

Грунт, оставшийся после определения верхнего предела пластичности, может быть использован, при надлежащем снижении влажности, в опытах по установлению A_C .

Верхний предел пластичности (F_C), соответствующий влажности при глубине $h_F=32 \text{ мм}$, определяется графическим путем (см. рис. 5).

Верхний предел пластичности F_B (в среднем равный границе текучести ω_t) определяется совершенно таким же способом, как и F_C , с той разницей, что в этом случае устанавливается влажность при $h_B=22,5 \text{ мм}$ (см. рис. 5). Глубины отпечатков конуса при получении отдельных экспериментальных точек должны находиться в пределах 17–27 мм (17–22,5 и 22,5–27 мм). При определении F_B используется кольцо (обойма) высотой 30 мм.

Величины верхнего и нижнего пределов пластичности определяются в результате графической интерполяции с точностью 0,1–0,2% (в процентах влажности), поэтому масштаб графика (см. рис. 5), выполняемого на миллиметровой бумаге, должен быть достаточно большим. Рекомендуется следующий масштаб: 1 мм глубины погружения конуса должен соответствовать 5 мм на графике, 1% влажности — 5–10 мм (в зависимости от абсолютных значений пределов пластичности).

При правильно проведенных опытах экспериментальные точки весьма хорошо укладываются на плавную кривую, выражающую зависимость глубины погружения конуса от влажности грунта. Значительные отклонения отдельных точек от общей зависимости вызываются случайными ошибками (при определении

Таблица 1
Результаты определения пределов пластичности грунтов
методом конуса

№ обр.	№ опыта	Глубина погружения конуса, $h, \text{мм}$		Влажность, $w, \%$ [*]	Пределы пластичности			Число пластичности	
		Параллельные определения	Среднее		F_C	F_B	A_C	N_C	N_B
1	1	3,4; 3,6; 2,9; 3,0	3,3	19,2	42,3	—	20,0	22,3	—
	2	4,9; 4,8; 4,5	4,7	20,8					
	3	29,6	29,6	41,3	—	33,3	16,7	—	16,6
	4	34,6	34,6	43,5					
2	1	2,5; 2,8; 2,8; 2,7	2,7	15,1	—	33,3	16,7	—	16,6
	2	4,7; 5,4; 5,3	5,1	18,1					
	3	19,1	19,1	30,8	—	33,9	—	—	—
	4	23,5	23,5	33,9					

* В рабочем журнале целесообразно поместить все графы, необходимые для записи результатов взвешиваний и расчетов при определении влажности.

ниях влажности или отсчетах по шкале пенетрометра), и в таких случаях требуются контрольные определения.

По полученным значениям пределов пластичности находятся числа пластичности:

$$N_C = F_C - A_C, \quad (1)$$

$$N_B = F_B - A_C. \quad (2)$$

В табл. 1 в качестве примера приведены результаты испытаний двух образцов грунта. Численные значения пределов пластичности получены графическим путем в соответствии со схемой, изображенной на рис. 5.

90 сече иор

4. Ускоренный способ определения пределов пластичности

Определение пределов пластичности изложенным выше методом требует получения данных о глубине погружения конуса и влажности грунта при четырех его состояниях, различающихся по консистенции. Это обусловливается тем обстоятельством, что зависимость глубины погружения конуса от влажности грунта на графике с нормальными масштабами выражается кривой со значительной кривизной. Поэтому графическую интерполяцию для каждого предела пластичности необходимо производить при достаточно близком расположении двух экспериментальных точек.

Зависимость между глубиной погружения конуса и влажностью грунта, изображаемая на графике, на котором по осям координат откладываются логарифмы этих величин, весьма близка к линейной в пределах изменения h от 3 до 40 мм. Благодаря этому при использовании логарифмического графика представляется возможным находить численные значения обоих пределов пластичности, путем графической интерполяции и экстраполяции, по определениям h и w в двух состояниях грунта при условии, что в одном случае глубина погружения конуса близка к h_A , а в другом — к h_F или h_B .

При ускоренном методе определения пределов пластичности необходимо, чтобы один опыт был произведен с грунтом, консистенция которого характеризуется глубиной погружения конуса в пределах 3—6 мм. Очевидно, что более высокая точность определений обеспечивается при значениях h , не превышающих 5 мм. Лучше экспериментировать с грунтом в пластичном состоянии, т. е. при h более 4 мм. При этой консистенции грунт легко формируется, и, кроме того, требуется меньше времени на снижение влажности подготовленного к опыту грунта, если это снижение является необходимым. Приемы, используемые при эксперименте, аналогичны таковым при определении нижнего предела пластичности (разд. II, п. 2). Средняя глубина погружения конуса устанавливается по 3—5 пенетрациям. С целью исключения случайных ошибок влажность определяется по двум параллельным пробам.

В случае определения верхнего предела пластичности F_C во втором опыте по установлению влажности и глубины погружения конуса величины последней должны находиться в интервале от 26—28 до 37 мм. Опыты производятся в соответствии с указаниями, изложенными в разд. II, п. 3. Высота используемого кольца — 40 мм. После установления глубины погружения конуса, в указанных выше пределах, и отбора пробы на влажность опыт повторяется при той же влажности грунта. При этом извлекают грунт шпателем из обоймы, перемешивают в фарфоровой чашке с оставшимся в ней грунтом после первого заполнения обоймы и затем производят контрольное испытание грунта конусом с отбором пробы на влажность. В дальнейшем используются средние значения влажности и глубины погружения конуса.

При определении верхнего предела пластичности F_B опыт отличается лишь тем, что определение влажности производится при глубине погружения конуса в пределах от 18 до 28 мм. Кольцо при этом применяют высотой 30 мм.

Пример записи экспериментальных данных при определении пределов пластичности ускоренным методом приведен в табл. 2.

Таблица 2
Результаты определения пределов пластичности ускоренным методом

№ обр.	№ опыта	Глубина погружения конуса, h , мм		Влажность, w , %*		Пределы пластичности			Число пластичности	
		Параллельные определения	Среднее	Параллельные определения	Среднее	F_C	F_B	A_C	N_C	N_B
1	1	4,7; 5,1; 5,3; 4,8	5,0	22,1	22,2					
				22,4						
	2	28,8	29,0	42,5	42,6	44,2	—	20,5	23,7	—
		29,2		42,6						
2	1	5,8; 5,7; 5,8; 5,8	5,8	21,6	21,2					
				20,8						
	2	19,7	19,6	30,6	31,2	—	32,6	18,8	—	13,8
		19,6		31,8						

Величины пределов пластичности находят графическим путем в соответствии со схемой, представленной на рис. 6. Логарифмическая сетка для установления пределов пластичности указанным методом приведена на рис. 7. Принятые масштабы этой сетки отображаются следующими выражениями:

$$x_h = 180 (\lg h - 0,477), \quad (3)$$

и

$$x_w = 300 (\lg w - 1), \quad (4)$$

где x_h и x_w — величины отрезков (в мм) от начала координат по горизонтальной и вертикальной осям; h — глубина погружения конуса (в мм); w — влажность грунта (в процентах).

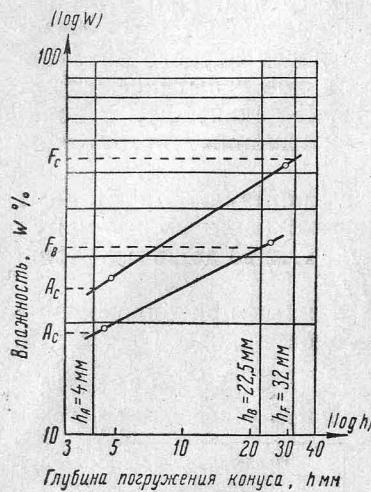


Рис. 6. Графический способ установления численных значений пределов пластичности на логарифмической сетке.

Ускоренный метод является менее трудоемким как по сравнению с основным, так и с методами определения пределов пластичности w_p и w_t (по ГОСТ). Время, затрачиваемое непосредственно на эксперимент, без учета подготовки грунта к анализу и без определений влажности,³ примерно на 15—20 минут меньше, чем при опытах по определению w_p и w_t с контрольными испытаниями. Если не требуется предварительного протирания грунта через сите, подготовка грунта к анализу занимает практически равное время, несмотря на то, что при ускоренном методе грунта для опытов нужно в 2—2,5 раза больше, чем при испытаниях по ГОСТ. Протирание грунта, как отмечено выше, бывает необходимым при испытаниях конусом только в тех относительно редких случаях, когда содержание частиц крупнее 3 мм является значительным. Но и в случае необходимости про-

³ Число определений влажности в ускоренном методе и при определении w_p и w_t с параллельными испытаниями одинаковое — по четыре.



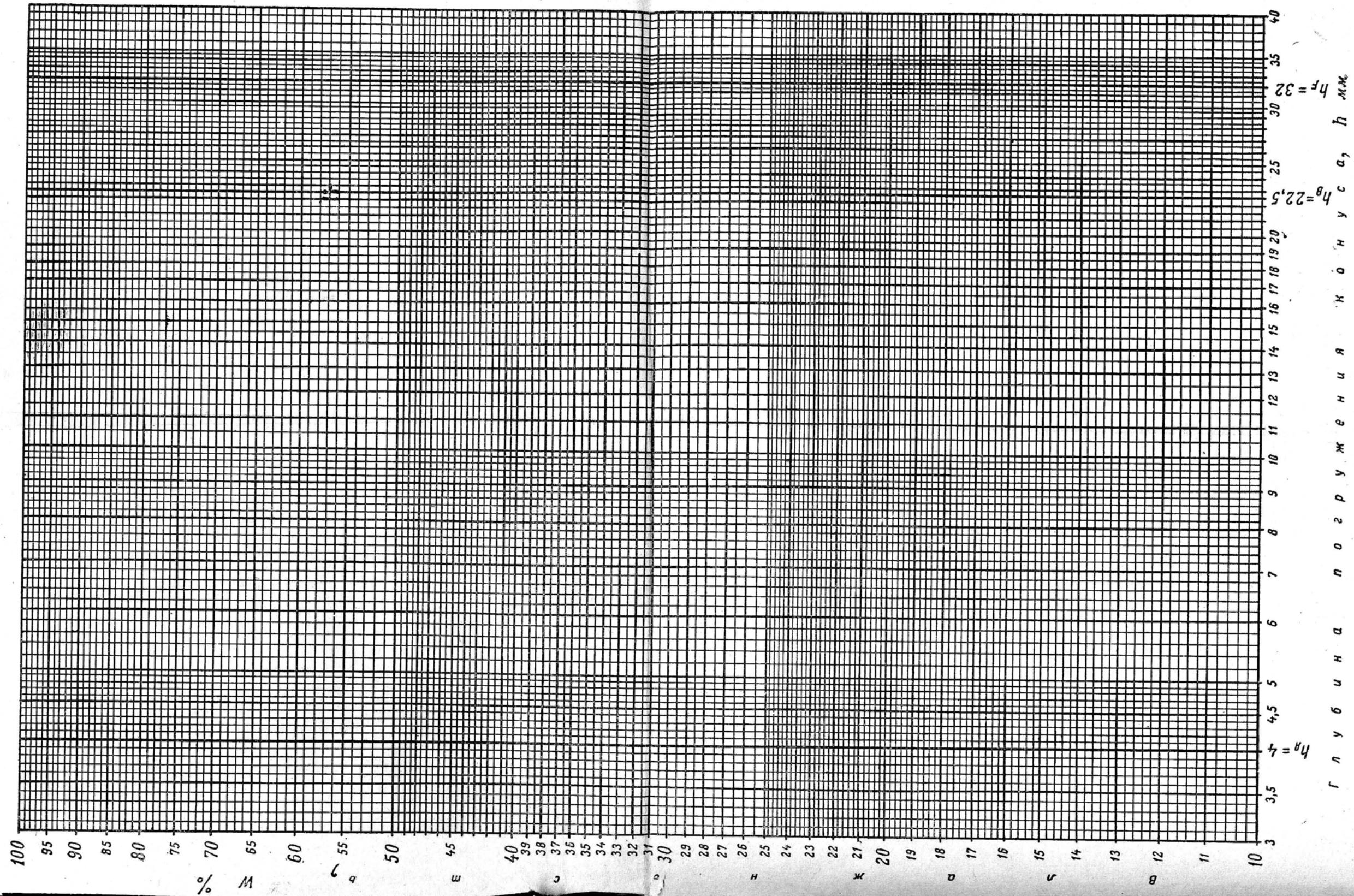


Рис. 7. Логарифмическая сетка для установления численных значений пределов plasticности.

тириания грунта при ускоренном методе на весь эксперимент затрачивается меньше времени, чем при опытах по ГОСТ.

5. Особенности метода определения пределов пластичности с помощью конуса

Предложенные методы определения пределов пластичности имеют следующие основные особенности, которые позволяют также судить и о достоинствах этих методов.

1. Каждый из пределов пластичности, определяемых методом конуса, отвечает определенной эталонной консистенции грунта по механической сопротивляемости. В особенности следует отметить, что механическая устойчивость различных грунтов, характеризуемая сопротивлением внедрению конуса, при влажности, равной нижнему пределу пластичности (A_c), одинакова. При определении границы раскатывания (ω_p) обычным методом (ГОСТ 5183-49) легко устанавливается, что распадение раскатываемого валика на отдельные кусочки происходит при различной прочности грунтов: глины при этом обладают заметно более высокой прочностью, чем супеси и легкие суглинки.

2. Принцип определения верхнего и нижнего пределов пластичности одинаков.

3. Эксперимент весьма точен: ошибки субъективного характера при надлежащем соблюдении методики исключаются.

4. Применяемая аппаратура обладает малым числом стандартных величин, влияющих на результаты опытов (угол при вершине конуса — 30° , вес конуса — 300 г, внутренний диаметр обоймы для грунта — 50 мм).

5. Значительный вес конуса пенетрометра позволяет экспериментировать с грунтами, из которых удаляются только частицы крупнее 3 мм (при содержании последних более 5%), в то время как при определении обоих пределов пластичности по ГОСТ требуется удаление частиц крупнее 0,5 мм, что приводит в некоторых случаях к существенному изменению состава исследуемых грунтов.

6. Величины нижнего предела пластичности A_c , определяемые методом конуса, весьма близки к значениям границы раскатывания ω_p , в основном для средних суглинков. У супесей и легких суглинков A_c , как правило, меньше ω_p , так как устойчивость этих разновидностей грунтов на границе раскатывания в большинстве случаев весьма низка и характеризуется величинами глубины погружения конуса, превышающими 4 мм (для легких супесей отмечаются значения 11 мм и более). Глины, наоборот, на границе раскатывания имеют высокую прочность — глубина погружения конуса, за относительно редкими исключениями, менее 4 мм (до 2,6 мм), и поэтому A_c в подавляющем большинстве случаев больше ω_p .

7. Консистенция грунта при влажности, равной F_C ($h_F = 32 \text{ мм}$, сопротивление сдвигу при отсутствии нормальных давлений $0,019 - 0,31 \text{ кг}/\text{см}^2$), более отвечает представлениям о границе между пластичным и текучим состояниями, чем консистенция при влажности, равной границе текучести w_t (ГОСТ 5184-49) или верхнему пределу пластичности F_B . Консистенция на границе текучести по ГОСТ характеризуется средней глубиной отпечатка конуса пенетрометра $h_B = 22,5 \text{ мм}$ и сопротивлением сдвигу в пределах $0,035 - 0,052 \text{ кг}/\text{см}^2$. Эти показатели механической сопротивляемости указывают, что на границе текучести по ГОСТ (а также и при $w=F_B$) консистенция грунта практически является пластичной.

8. Определение предела текучести F_B с помощью пенетрометра, как влажности грунта при глубине погружения конуса $h_B = 22,5 \text{ мм}$, является более точным, чем определение w_t методом, регламентированным ГОСТ, так как при использовании «балансирующего конуса» имеют место ошибки субъективного характера при установке конуса на поверхности грунта, в момент опускания конуса и при установлении факта погружения конуса до метки (10 мм). Кроме того, к числу недостатков метода ГОСТ следует отнести наличие трудоемкой и принципиально несовершенной операции подбора замеса, отвечающего строго заданной консистенции.

Граница текучести w_t , а также и F_B может быть получена с достаточной точностью по известным значениям F_C из следующего выражения:

$$w_t = F_B = 0,88 F_C. \quad (5)$$

9. Числа пластичности $N_C = F_C - A_C$ и $N_B = F_B - A_C$ представляют собой разности влажностей при двух эталонных по механической сопротивляемости (пластической прочности) консистенциях, т. е. состояниях, характеризуемых одним и тем же свойством, но выраженным в различной степени. Физическая же сущность числа пластичности $w_p = w_t - w_p$, получаемого по результатам определения пределов пластичности в соответствии с ГОСТ, весьма неопределенна по той причине, что w_p является разностью влажностей грунта при состояниях, для которых характерны различные свойства: в одном случае — определенная способность к пластическим деформациям, а в другом — потеря способности к раскатыванию.

10. Ускоренный метод определения пределов пластичности с помощью конуса позволяет получать с меньшей затратой труда более совершенные характеристики грунтов, чем при использовании методики по ГОСТ.

11. Методика определения пределов пластичности аналогична, по общим приемам экспериментов, методике определения коэффициента консистенции грунтов в их естественном сложении и коэффициента структурной связности (см. разд. III и IV).

6. Классификация связных грунтов по числу пластичности

Число пластичности в настоящее время широко используется в качестве классификационного показателя.

Установление наименования связных грунтов по числу пластичности является более рациональным, чем по гранулометрическому составу. В гранулометрических классификациях наименования основных разновидностей грунтов определяются только содержанием глинистых частиц, без учета дисперсности глинистой фракции, минералогического состава частиц и ряда других факторов, которые в совокупности обуславливают степень выраженности разнообразных свойств и в том числе определяющего для связных грунтов свойства пластичности. Кроме того, содержание глинистых частиц при гранулометрическом анализе, в зависимости от способа подготовки грунта, может быть весьма различным.

Классификация по СН и П II-Б. 1-62, в которой подразделение грунтов на виды дается в зависимости от числа пластичности по ГОСТ (w_p), приведена в табл. 3.

Таблица 3
Классификация грунтов по числу пластичности (применительно к СН и П II-Б. 1-62)

Наименование видов грунтов	Число пластичности		
	Метод ГОСТ, $w_p = w_t - w_p$	Метод конуса $N_C = F_C - A_C$	Метод конуса $N_B = F_B - A_C$
Глина	$w_p > 17$	$N_C > 21$	$N_B > 16$
Суглинок	$17 \geq w_p > 7$	$21 \geq N_C > 12$	$16 \geq N_B > 9$
Супесь	$w_p \leq 7$	$N_C \leq 12$	$N_B \ll 9$

В этой таблице указаны также и величины чисел пластичности N_C и N_B , отвечающие граничным значениям.

Нужно отметить, что все рассматриваемые показатели пластичности являются взаимосвязанными. Соотношения между w_p и N_C автором установлены экспериментальным путем на основании весьма большого числа определений. Между числами пластичности N_C и N_B существует тесная взаимосвязь, которая выражается зависимостью

$$N_B = 0,75 N_C. \quad (6)$$

Числа пластичности w_p и N_B примерно одинаковы, причем наиболее часто совпадают эти показатели у суглинистых грунтов. У глин величины w_p , как правило, несколько больше, чем N_B , а у супесей, наоборот, меньше. Это обстоятельство объясняется отмеченным выше различием значений w_p и A_C грунтов различной глинистости.

Заметим, что значения фигурирующих здесь чисел пластичности можно находить по выражениям:

$$w_n = w_t - w_p = F_B - w_p = 0,88 F_C - w_p, \quad (7)$$

$$N_C = F_C - A_C = 1,14 F_B - A_C = 1,14 w_t - A_C, \quad (8)$$

$$N_B = F_B - A_C = w_t - A_C = 0,88 F_C - A_C. \quad (9)$$

Расхождения между величинами чисел пластичности, получаемыми по этим выражениям при разных методах определения верхнего предела пластичности, практически не отличаются от тех расхождений, которые могут быть при повторных определениях с использованием одного и того же метода.

Учитывая, что в классификации, приведенной в табл. 3, величины чисел пластичности, ограничивающие глины от суглинков и суглинки от супесей, значительно занижены, автором рекомендуется классификация (табл. 4), в которой установлены

Таблица 4

Классификация связных грунтов по пластичности и гранулометрическому составу

Наименование видов грунтов	Наименование разновидностей	Число пластичности		Содержание песчаных и гравийных частиц (0,05–40 мм), %
		Метод ГОСТ, $w_n = w_t - w_p$	Метод конуса $N_C = F_C - A_C$	
Глина	Тяжелая	>35	>40	>30
	Легкая	35>24	40–28	30–21
Суглинок	Тяжелый	24–18	28–22	21–17
	Средний	18–14	22–18	17–14
	Легкий	14–10	18–15	14–11
Пылеватый суглинок	Тяжелый	24–18	28–22	<35
	Средний	18–14	22–18	<40
	Легкий	14–10	18–15	<45
Супесь	Тяжелая	10–6	15–11	11–8
	Легкая	<6	<11	<8
Пылеватая супесь	Тяжелая	10–6	15–11	11–8
	Легкая	<6	<11	<8

Примечание. Грунты называются гравелистыми, если в них гравийных частиц (2–40 мм) содержится 10–50%.

более высокие граничные значения чисел пластичности и выделены разновидности связных грунтов, фигурирующие в гранулометрических классификациях. Кроме того, эта классификация, составленная с сохранением возможно более близкого соответствия с гранулометрической классификацией В. В. Охотина, при

наличии результатов определения гранулометрического состава, позволяет более детально характеризовать грунты, выделяя пылеватые и гравелистые разновидности связных грунтов.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСИСТЕНЦИИ ГРУНТОВ

Механическая прочность грунта при данном его состоянии зависит от сил сцепления между частицами. Величина этих сил определяется концентрацией твердой фазы, влажностью и структурной связностью грунтов. Учитывая это, под консистенцией грунта, применяя этот термин к естественным грунтам, следует понимать состояние грунта, характеризуемое определенной его сопротивляемостью деформирующими усилиям, обусловленной сцеплением частиц при данной влажности, пористости и степени выраженности структурных связей.

Консистенция связных грунтов в количественном отношении может быть оценена косвенным и прямым методами.

1. Характеристика консистенции косвенным методом

Оценка консистенции грунта косвенным методом достигается путем сопоставления естественной или данной влажности грунта с пределами пластичности.

Для численного выражения консистенции этим способом применяются так называемые показатели, или коэффициенты, консистенции различного вида. Два таких коэффициента, при расчете которых используются пределы пластичности, определяемые по ГОСТ, представлены формулами (10) и (11).

$$B = \frac{w - w_p}{w_t - w_p} = \frac{w - w_p}{w_n}, \quad (10)$$

$$K = \frac{w_t - w}{w_t - w_p} = \frac{w_t - w}{w_n}. \quad (11)$$

B и K связаны между собой зависимостью

$$B + K = 1. \quad (12)$$

Коэффициент консистенции B в настоящее время имеет широкое распространение и рекомендован к использованию существующими СН и П II-Б. 1-62. Однако этот показатель менее рационален, чем коэффициент консистенции З. А. Макеева (11), потому что с повышением прочности грунта значения коэффициента B уменьшаются, а для полутвердого и твердого состояний, в которых очень часто находятся грунты в природных условиях, значения коэффициента B получаются отрицательными. В остальном показатели B и K совершенно равнозначны.

Следует иметь в виду, что при оценке консистенции косвенным способом механическая прочность грунта ставится в зависимость только от его влажности. Таким образом, коэффициенты B и K , если их численные значения получены с учетом естественной влажности, позволяют судить только о консистенции грунта с нарушенной структурой при данной влажности и водонасыщенности, близкой к полной.

Критерием устойчивости грунтов в естественном состоянии эти показатели, конечно, служить не могут. Благодаря наличию структурных связей прочность грунтов в естественном состоянии всегда является более высокой, чем в нарушенном, при одних и тех же пористости и влажности, причем различие в прочности у многих разновидностей грунтов может быть, как известно, чрезвычайно большим. Кроме того, коэффициенты B и K не отражают влияние на прочность грунтов величины пористости. Следовательно, и по этой причине возможны весьма существенные погрешности в оценке консистенции естественных грунтов, если их водонасыщенность значительно отличается от полной, как, например, у лёссов и лёссовидных грунтов.

Представляется, таким образом, очевидным, что косвенные показатели консистенции должны использоваться только для характеристики консистенции грунтов в нарушенном состоянии. Однако нужно иметь в виду, что и в этом случае возможны некоторые погрешности. Так, искаженная оценка может быть получена, если пределы пластичности определены для высушившего образца, а грунт, консистенция которого характеризуется, высушиванию не подвергался. Снижение величин пределов пластичности, в особенности верхнего предела, после высушивания образцов, даже до воздушно-сухого состояния, обусловливает заниженную оценку устойчивости. Следует отметить также то обстоятельство, что на точности характеристики консистенции показателями B и K существенным образом оказывается различие прочности грунтов на границе раскатывания. Несколько отличается прочность нарушенных грунтов при равенстве показателей B и K , можно судить по тому, что глубина погружения конуса penetрометра в различных грунтах при $w=w_p$ ($B=0$; $K=1$) колеблется, как указано выше, в пределах от 2,6 до 11 мм и более.

Консистенция грунтов нарушенной структуры может быть охарактеризована косвенным методом с большей точностью, если применять пределы пластичности, определяемые методом конуса. Учитывая высказанные выше соображения относительно рациональности верхнего предела пластичности F_c , автор рекомендует пользоваться следующим показателем, аналогичным коэффициенту консистенции З. А. Макеева:

$$K_c = \frac{F_c - w}{F_c - A_c} = \frac{F_c - w}{N_c}. \quad (13)$$

Применительно к консистенции на границе текучести по ГОСТ, но с учетом пределов пластичности F_b и A_c коэффициентам B и K соответствуют показатели B_c (14) и K_b (15):

$$B_c = \frac{w - A_c}{F_b - A_c} = \frac{w - A_c}{N_b}, \quad (14)$$

$$K_b = \frac{F_b - w}{F_b - A_c} = \frac{F_b - w}{N_b}. \quad (15)$$

Сумма B_c и K_b равна единице.

Основное преимущество этих показателей заключается в том, что они лишены отмеченного недостатка, свойственного коэффициентам B и K и зависящего от различия прочности грунтов на границе раскатывания. При влажности, равной нижнему пределу пластичности A_c , прочность всех грунтов одинакова (глубина погружения конуса равна 4 мм). Поэтому равенство значений K_c , B_c и K_b для различных грунтов указывает на одинаковую их механическую устойчивость в нарушенном состоянии.

По численным значениям коэффициенты B_c и B , так же как K_b и K , близки между собой ($B_c \approx B$; $K_b \approx K$). Несовпадения значений этих показателей, в особенности для грунтов с малыми числами пластичности и при влажности, близкой к нижнему пределу пластичности, объясняются отмеченным различием величин w_p и A_c (разд. II, п. 5). Кроме того, на точности характеристики консистенции показателями K и B отражается низкая точность определения w_p и w_t .

Учитывая существующее в настоящее время положение, при котором официально признанным является показатель B , представляется рациональным использование вместо этого показателя однотипного коэффициента консистенции — B_c , как более правильно характеризующего консистенцию грунтов в нарушенном состоянии, при сохранении эталонной консистенции на границе текучести по ГОСТ.⁴

Между всеми указанными показателями консистенции, помимо уже отмеченных простых соотношений, существует весьма тесная взаимосвязь, позволяющая производить соответствующие пересчеты.

Зависимость между показателями, рассчитываемыми с учетом пределов пластичности, определяемых с помощью конуса, отображается следующими выражениями:

$$B_c = 1,33 (1 - K_c), \quad (16)$$

$$K_c = 1 - 0,75 B_c, \quad (17)$$

$$K_b = 1,33 K_c - 0,33, \quad (18)$$

$$K_c = 0,75 K_b + 0,25. \quad (19)$$

⁴ Пределы пластичности F_b и w_t , если не учитывать неизбежные экспериментальные погрешности при их определении различными методами, имеют одинаковые численные значения.

Таблица 5

Классификация глинистых грунтов по консистенции
(применительно к показателю K_C)

Главные формы консистен- ции	Подформы консистенции	Основные признаки грунтов, определяемые визуально	Характеристика консистенции			
			Границные влажности	Коэффициент кон- систенции K_C	Прямой метод	
Текущая	Текущая	На наклонной плоско- сти течет	F_C	<0	>32	<0
	Текучепла- стичная	Прилипает, в больших массах проявляет склонность к тече- нию		0	32	0
Пластич- ная	Очень мят- копластич- ная	Деформируется лег- ко, обладает лип- костью	$A_C + \frac{3N_C}{4}$	0,25	22,5	0,25
	Мягкопла- стичная	Деформируется срав- нительно легко, на ощупь влажный, липкость слабая	$A_C + \frac{N_C}{2}$	0,50	14,2	0,50
	Тугопла- стичная	Деформируется с уси- лением, раскатывает- ся в жгут, не при- липает	$A_C + \frac{N_C}{4}$	0,75	8,6	0,75
Твердая	Полутвер- дая	Не раскатывается в жгут, комочки при раздавливании рас- трескиваются, ок- раска темная	A_C	1,00	4,0	1,00
	Твердая	Обладает твердостью и хрупкостью, ок- раска светлая	w_y^*	1,25	0,5	1,25

w_y — предел усадки

Соотношения между показателями консистенции, рассчитываемыми по значениям пределов пластичности, полученным различными методами (по ГОСТ и методом конуса), выражаются аналогичными формулами, но являющимися приближенными по причине имеющего место неравенства w_p и A_C :

$$B \approx 1,33 (1 - K_C), \quad (20)$$

$$K_C \approx 1 - 0,75 B, \quad (21)$$

$$K \approx 1,33 K_C - 0,33, \quad (22)$$

$$K_C \approx 0,75 K + 0,25. \quad (23)$$

Указанные зависимости между различными показателями консистенции иллюстрируются шкалами, изображенными на рис. 8. Таким образом, представляется полная возможность сопоставления показателей консистенции любого вида, несмотря на различие эталонной консистенции на границе текучести и различие способов определения пределов пластичности.

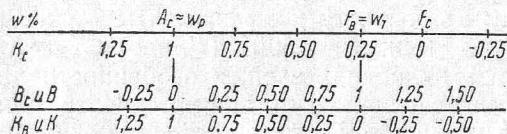


Рис. 8. Взаимозависимость между показателями консистенции грунтов нарушенной структуры.

Наименование форм и подформ консистенции грунтов нарушенной структуры автор рекомендует устанавливать по значениям коэффициента консистенции K_C в соответствии с табл. 5.

В табл. 5 указаны также основные признаки, по которым представляется возможным визуально установить наименование подформы консистенции, свойственной данному грунту. При визуальной оценке следует указывать консистенцию грунта в естественном и нарушенном состояниях. Для этого нужно фиксировать свойства грунта как в первый момент деформирования, так и после приведения его в полностью нарушенное состояние. Грунты, обладающие отчетливо выраженной структурной связностью, до перемятия являются значительно более прочными, чем после полного нарушения их структуры; нередкими являются случаи изменения консистенции на 2—3 подформы.

Значения K_C согласуются с визуальными описаниями свойств грунтов в нарушенном состоянии; согласование визуальных признаков и величин K_C для грунтов с естественной структурой возможно только в том случае, если устойчивость последних практически не различается в естественном и нарушенном состояниях.

В табл. 6 приведена классификация, в которой для различных подформ консистенции даны граничные значения B_C и B . Эта классификация почти не отличается от классификаций, пользовавшихся распространением ранее. Выше было отмечено, что граница текучести по ГОСТ является заниженной, поэтому указанное в табл. 6 подразделение грунтов по консистенции автор считает менее рациональным по сравнению с приведенным в табл. 5. Однако, считаясь с тем, что использование показателя K_C во многих организациях затруднено в связи с необходимостью придерживаться действующих в настоящее время СН и П II-Б. 1-62, предусматривающих характеристику консистенции показателем B , а также ГОСТ на определение пределов пластич-

Таблица 6

**Классификация глинистых грунтов по консистенции
(применительно к показателям B_C и B)**

Главные формы консистен- ции	Подформы консистенции	Характеристика консистенции					
		Косвенный метод		Прямой метод			
		Границные влажности	Коэффициенты консистенции	Глубина погружения конуса, h , мм	Коэффициенты консистенции	C_B (C_{Bn})	C (C_n)
			B_C и B	K_C			
Пластич- ная	Текущая						
	Текучепла- стичная	$F_B = w_t$	>1	<0,25	>22,5	>1	<0,25
	Очень мяг- копластич- ная	$A_C + \frac{3N_B}{4}$	1	0,25	22,5	1	0,25
	Мягкопла- стичная	$A_C + \frac{N_B}{2}$	0,75	0,43	16,2	0,75	0,43
	Тугопла- стичная	$A_C + \frac{N_B}{4}$	0,50	0,62	11,3	0,50	0,62
Твердая	Полутвер- дая	$A_C \approx w_p$	0,25	0,81	7,4	0,25	0,81
	Твердая	w_y	0	1,00	4,0	0	1,00
			-0,33	1,25	0,5	-0,33	1,25
			<-0,33	>1,25	<0,5	<-0,33	>1,25

ности, можно рекомендовать применение этой классификации при исследовании грунтов в практических целях. По величинам B_C и B , разумеется, может быть охарактеризована консистенция грунта только в нарушенном состоянии.

Кроме косвенного метода, в табл. 5 и 6 отражен также и прямой метод характеристики консистенции. Прямой метод, позволяющий оценивать консистенцию грунтов в естественном и нарушенном состояниях по величинам глубин погружения конуса и коэффициентов C и C_B , обсуждается на стр. 33.

Поскольку прочность различных по гранулометрическому составу грунтов на пределе усадки весьма заметно различается, значения коэффициентов консистенций, а также и глубина погружения конуса для состояния, отвечающего границе между полутвердой и твердой подформами консистенции, в табл. 5 и 6 даны с известной условностью.

Классификация грунтов по консистенции, фигурирующая в СН и П II-Б. 1—62, приведена в табл. 7.

В этой классификации отсутствует «очень мягкопластичная» подформа консистенции, а для трех подформ значения B увеличены на 0,25 по сравнению с принятыми ранее значениями (табл. 6). Очевидно, что смещение подформ консистенции про-

ведено с целью достижения соответствия наименований консистенции при их естественном состоянии со значениями показателя B . Возможно, что для некоторых разновидностей грунтов это соответствие в среднем может иметь место, но, несомненно, со многими исключениями. В качестве универсальной данная классификация признана быть не может. У грунтов, различающихся по составу, генезису, возрасту, степени и характеру диагенетических изменений, прочность структурных связей колеблется в очень широких пределах. Поэтому при нарушении естественной структуры некоторые грунты почти не изменяют своей консистенции, у других же происходит изменение консистенции на несколько подформ.

Таблица 7

**Наименование глинистых (непросадочных) грунтов по консистенции
(по СН и П II-Б. 1-62)**

Наименование грунтов	Консистенция B
Супеси	
Твердые	$B < 0$
Пластичные	$0 \leq B \leq 1$
Текущие	$B > 1$
Суглинки и глины	
Твердые	$B < 0$
Полутвердые	$0 \leq B \leq 0,25$
Тугопластичные	$0,25 < B \leq 0,5$
Мягкопластичные	$0,5 < B \leq 0,75$
Текучепластичные	$0,75 < B \leq 1$
Текущие	$B > 1$

Вследствие разнообразия грунтов по структурной прочности при пользовании классификацией СН и П (см. табл. 7) неизбежны частые и серьезные несоответствия между номенклатурой консистенции и действительной консистенцией. Так, например, грунты естественной структуры с весьма слабо выраженным структурными связями или же грунты в нарушенном сложении при значениях $B=0 \div 0,25$ находятся в пластичном состоянии (деформируются хотя и с усилием, но без разрыва сплошности, раскатываются в жгут) и должны быть названы именно «тугопластичными», но никак не «полутвердыми». В этом примере наименование консистенции дает завышенную оценку устойчивости грунтов. При значениях $B=0,75 \div 1$, согласно табл. 7, грунтам присваивается наименование «текучепластичные», в то время как в зависимости от степени выраженности структурной связности их консистенция при естественном сложении, в согласии с испытаниями механической устойчивости и визуальными признаками, может быть от полутвердой до текучепластичной. Таким

образом как при этих, так и других значениях B возможны частные случаи недооценки прочности грунтов в естественном состоянии.

2. Характеристика консистенции прямым методом

Наиболее полноценная характеристика консистенции грунтов может быть получена только прямыми методами — на основании непосредственных испытаний их механической сопротивляемости.

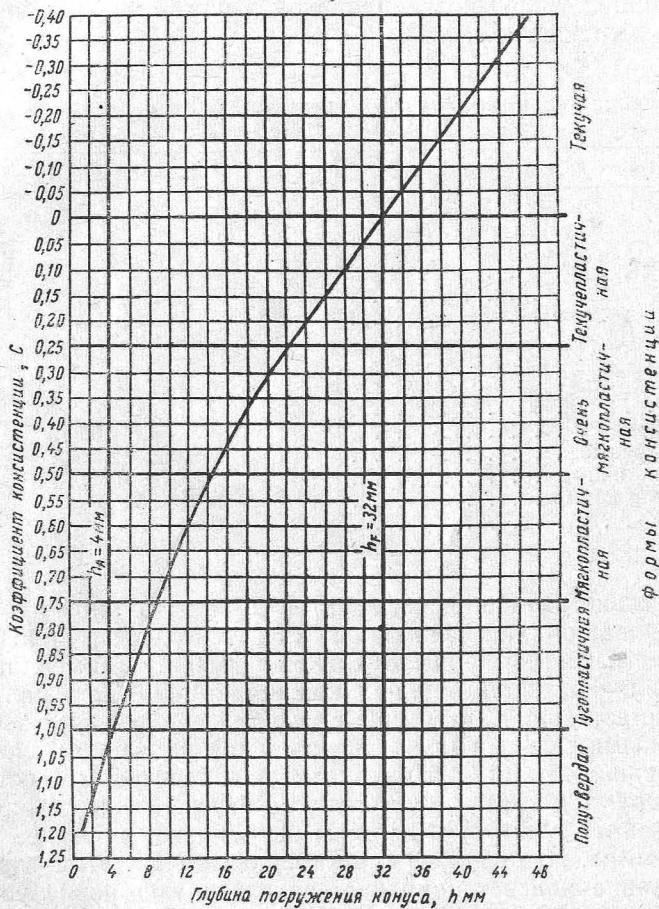


Рис. 9. График коэффициента консистенции C .

Консистенция грунтов как в естественном, так и нарушенном состоянии при использовании пенетрометра отображается величиной отпечатка конуса — h мм. Для перехода от величин погру-

жения конуса к показателю консистенции — коэффициенту консистенции C служит график, изображенный на рис. 9.

Этот график построен в результате осреднения кривых зависимости глубины погружения конуса от коэффициента консистенции K_C (13), полученных при испытании весьма большого числа образцов различных по составу грунтов нарушенной структуры. Координаты отдельных точек графика (величины h и соответствующие им значения коэффициента C) приведены в табл. 8.

Таблица 8

Значения коэффициента консистенции C в зависимости от глубины погружения конуса (угол конуса 30° , вес 300 г)

$h, \text{мм}$	C						
1,0	1,20	6,0	0,89	11,0	0,64	20,0	0,32
1,2	1,19	6,2	0,88	11,2	0,63	21,0	0,29
1,4	1,17	6,4	0,87	11,4	0,62	22,0	0,26
1,6	1,16	6,6	0,85	11,6	0,61	23,0	0,23
1,8	1,14	6,8	0,84	11,8	0,60	24,0	0,20
2,0	1,13	7,0	0,83	12,0	0,59	25,0	0,17
2,2	1,12	7,2	0,82	12,2	0,58	26,0	0,15
2,4	1,10	7,4	0,81	12,4	0,57	27,0	0,12
2,6	1,09	7,6	0,80	12,6	0,57	28,0	0,10
2,8	1,07	7,8	0,79	12,8	0,56	29,0	0,07
3,0	1,06	8,0	0,78	13,0	0,55	30,0	0,05
3,2	1,05	8,2	0,77	13,2	0,54	31,0	0,02
3,4	1,04	8,4	0,76	13,4	0,53	32,0	0,00
3,6	1,02	8,6	0,75	13,6	0,53	33,0	-0,03
3,8	1,01	8,8	0,74	13,8	0,52	34,0	-0,05
4,0	1,00	9,0	0,73	14,0	0,51	35,0	-0,08
4,2	0,99	9,2	0,72	14,2	0,50	36,0	-0,10
4,4	0,98	9,4	0,71	14,4	0,49	37,0	-0,13
4,6	0,96	9,6	0,70	14,6	0,49	38,0	-0,16
4,8	0,95	9,8	0,69	14,8	0,48	39,0	-0,19
5,0	0,94	10,0	0,68	15,0	0,47	40,0	-0,21
5,2	0,93	10,2	0,67	16,0	0,44	41,0	-0,23
5,4	0,92	10,4	0,66	17,0	0,41	42,0	-0,25
5,6	0,91	10,6	0,66	18,0	0,38	43,0	-0,28
5,8	0,90	10,8	0,65	19,0	0,35	44,0	-0,30

В дальнейшем используются следующие обозначения глубины погружения конуса и показателя консистенции: для грунтов в естественном состоянии — h_s и C , в нарушенном, при влажности, равной естественной, — h_n и C_n .

Существенной особенностью численного выражения консистенции является согласованность между показателями, определяемыми прямым и косвенным методами. Так, показатели консистенции грунтов нарушенного сложения C_n и K_C практически являются равнозначными величинами. Коэффициент консистен-

ции C по численным значениям и физическому смыслу соответствует показателю консистенции вида

$$K'_c = \frac{F_c - w_s}{F_c - A_c} = \frac{F_c - w_s}{N_c}, \quad (24)$$

где w_s — влажность грунта нарушенной структуры при одинаковой его прочности с грунтом в естественном состоянии («эквивалентная влажность» по М. Н. Гольдштейну).⁵

Коэффициент K'_c аналогичен «исправленному коэффициенту консистенции» В. А. Приклонского. Различие между этими коэффициентами состоит лишь в том, что при расчете первого коэффициента (K'_c) используются пределы пластичности, определенные методом конуса, а при расчете второго — пределы пластичности, определяемые по ГОСТ.

При испытании консистенции естественных грунтов конусом образец предварительно должен быть помещен (врезан) в обойму, не допуская нарушения его естественного сложения, точно таким же образом, как это делается при определении объемного веса кольцевым методом. Обоймы могут быть применены те же, что и для грунтов с нарушенной структурой (см. рис. 3, 1—4). При помещении грунта в обойму применяется кольцо (рис. 3, 5), назначение которого состоит в том, чтобы предохранить грунт от уплотнения при вдавливании обоймы на полную ее высоту. При работе с ненарушенным грунтом диск (см. рис. 3, 6) не применяется.

Образец грунта зачищается вровень с краями с обеих сторон обоймы и устанавливается на стекле или на пластиинке из пластмассы. Определение глубины погружения конуса в грунт естественной структуры (h_s) производится точно таким же способом, как при определении пределов пластичности. Глубина отпечатка конуса фиксируется через 5 секунд после того, как конус внедряется в грунт, точность отсчета 0,1 мм. Если конус погружается в данный грунт на глубину не более 15 мм, с каждой стороны образца получают по 3—4 отпечатка и затем находят среднюю глубину погружения конуса, также с точностью до 0,1 мм. Случайные величины отпечатков, в основном заниженные по причине попадания острия конуса на гравийные частицы, конкреции, обломки раковин и т. п., при этом исключаются.

В большинстве случаев при увеличении времени свыше 5 секунд, в течение которого полный вес конуса передается на грунт (кнопка нажата до отказа), глубина погружения конуса или остается постоянной, или же его дальнейшее заглубление является незначительным (до 0,2—0,5 мм) и полностью затухает в течение нескольких минут. Однако для некоторых грунтов пластичной консистенции отмечены случаи, когда заглубление конуса с

текущим временем после его внедрения в результате свободного падения является весьма значительным. Учитывая это, следует для характерных разновидностей исследуемых грунтов произвести опыт по установлению зависимости глубины отпечатка конуса от времени его погружения в течение 3 минут. Кнопка при этих опытах должна быть все время нажата до упора. Если будет установлено, что глубины отпечатков конуса при отсчете через 5 секунд и 3 минуты отличаются более, чем на 10%, то для таких грунтов следует указывать глубину погружения конуса и соответствующие значения коэффициентов консистенции как при отсчете через 5 секунд, так и после практически полного затухания процесса заглубления в грунт конуса.

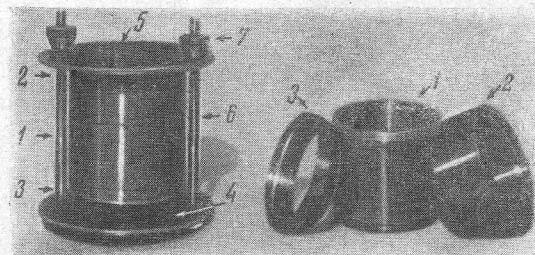


Рис. 10. Цилиндр для отбора образцов грунта с естественным сложением и испытания их консистенции.

В полевых условиях отбор и транспортировку грунтов ненарушенной структуры рекомендуется производить, используя специальные цилиндры (рис. 10) с внутренним диаметром, также равным 50 мм. Эти цилиндры разной высоты состоят из основной обоймы (1), на которую навинчивается предохранительное (2) и режущее (3) кольца. От высыхания грунт предохраняется резиновыми прокладками (4), закрывающими отверстия цилиндра с обеих сторон. Резиновые прокладки прижимаются к собранному цилинду двумя металлическими дисками (5), скрепляемыми между собой посредством шпилек (6) и гаек (7) с накаткой. Перед испытанием предохранительное и режущие кольца отвинчиваются, грунт зачищается с каждой стороны обоймы, и испытание производится обычным способом.

Параллельно с определением консистенции целесообразно определять влажность грунта и его объемный вес. Для определения объемного веса необходимо только взвесить обойму с грунтом перед определением глубины погружения конуса; расчет — обычный для кольцевого метода. Грунт для определения влажности следует брать с каждой стороны кольца, т. е. производить параллельные определения влажности, по которым рассчитывается средняя влажность.

⁵ Способ определения влажности w_s изложен в разд. IV, п. 1.

Образцы грунтов полутвердой и тугопластичной консистенции при определении величины h_s в кольца можно не помещать; грунт срезают с двух сторон по параллельным плоскостям и, подложив под него стеклянную пластинку или лист кальки, устанавливают на основание пенетрометра. Нижняя поверхность образца должна быть так же тщательно защищена, как и верхняя, для того, чтобы его положение было вполне устойчивым.

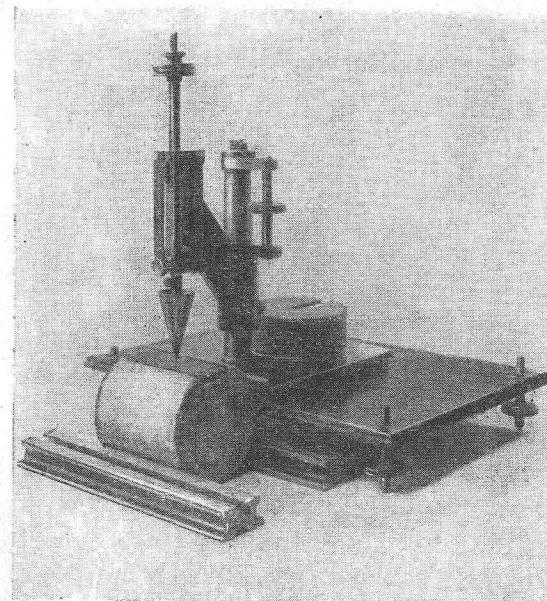


Рис. 11. Испытание консистенции грунта в монолите.

Консистенцию грунта можно определять также непосредственно в целых монолитах, отбираемых из буровых скважин. Испытание конусом при этом производят на боковой поверхности монолита, для чего снимают ножом по узкой полосе вдоль монолита парафиновую оболочку и верхний слой грунта примерно на глубину 5 мм. Ввиду того, что диаметр монолитов может быть больше наибольшей высоты подъема конуса, следует повернуть колонку пенетрометра на 180° и установить пенетрометр на ровную подставку, высота которой зависит от размеров испытываемых монолитов (рис. 11). Монолиту придается устойчивое положение посредством двух тяжелых призм, подпирающих его с обеих сторон. Устойчивость пенетрометра обеспечивает укладываемый на его основание груз (плоские гири). Испытания конусом производят в различных местах монолита. При слоистой

текстуре для каждого слоя устанавливается средняя глубина погружения конуса по 2—4 опытам.

Для характеристики консистенции грунтов в нарушенном состоянии при их естественной влажности определение глубины погружения конуса (h_n) производится с использованием обойм (см. рис. 3) точно так же, как и при определении пределов пластичности. Перемягление грунта и заполнение обойм при этом должно производиться в возможно более краткие сроки с тем, чтобы не происходило сколько-нибудь существенное снижение влажности. Глубина отпечатка h_n может быть также получена в результате графической интерполяции, но для этого необходимо произвести не менее двух опытов по определению h и w при влажности, несколько меньшей и большей естественной.

По полученным величинам глубины погружения конуса, пользуясь таблицей 8, устанавливают значения показателя консистенции C . Величины C , соответствующие промежуточным значениям h , находят по интерполяции с округлением до 0,01.

Наименования подформ консистенции в зависимости от значений показателя C и глубины погружения конуса указаны в табл. 5. Как видно из этой таблицы, граничные значения коэффициентов C и K_C одинаковы. Очевидно, что у грунтов с достаточно хорошо выраженной структурной связностью глубины погружения конуса в естественном и нарушенном состояниях, так же как и соответствующие им значения коэффициентов C и C_n , могут весьма значительно отличаться и отвечать различным подформам консистенции. Как было отмечено выше, консистенция грунтов с нарушенным сложением оценивается и прямым и косвенным методами практически однозначно.

Применительно к косвенным показателям вида B и B_C (10 и 14) консистенция грунтов с естественной структурой характеризуется коэффициентом консистенции C_B , численные значения которого, так же как и C , находятся по результатам испытаний грунтов конусом (табл. 9). Данные этой таблицы соответствуют осредненной кривой зависимости коэффициента консистенции C_B от глубины погружения конуса в грунты нарушенной структуры. Следовательно, принцип составления табл. 8 и 9 одинаков. Функциональная взаимосвязь между коэффициентами C_B и C отображается выражением (25), аналогичным формуле (16), а также шкалой, представленной на рис. 12.

$$C_B = 1,33 (1 - C). \quad (25)$$

Показатель C_B , получаемый по испытаниям конусом грунтов в естественном состоянии, отвечает коэффициенту консистенции B'_C :

$$B'_C = \frac{w_s - A_C}{F_B - A_C} = \frac{w_s - A_C}{N_B}.$$

Таблица 9

Значения коэффициента консистенции C_B в зависимости от глубины погружения конуса (угол конуса 30°, вес 300 г)

$h, \text{мм}$	C_B						
1,0	-0,27	6,0	0,15	11,0	0,48	20,0	0,90
1,2	-0,25	6,2	0,16	11,2	0,49	21,0	0,94
1,4	-0,23	6,4	0,18	11,4	0,51	22,0	0,98
1,6	-0,21	6,6	0,20	11,6	0,52	23,0	1,02
1,8	-0,19	6,8	0,21	11,8	0,53	24,0	1,06
2,0	-0,17	7,0	0,23	12,0	0,55	25,0	1,10
2,2	-0,16	7,2	0,24	12,2	0,56	26,0	1,13
2,4	-0,13	7,4	0,25	12,4	0,57	27,0	1,17
2,6	-0,12	7,6	0,27	12,6	0,58	28,0	1,20
2,8	-0,09	7,8	0,28	12,8	0,59	29,0	1,24
3,0	-0,08	8,0	0,29	13,0	0,60	30,0	1,27
3,2	-0,07	8,2	0,31	13,2	0,61	31,0	1,30
3,4	-0,05	8,4	0,32	13,4	0,62	32,0	1,33
3,6	-0,03	8,6	0,33	13,6	0,63	33,0	1,37
3,8	-0,01	8,8	0,35	13,8	0,64	34,0	1,40
4,0	0,00	9,0	0,36	14,0	0,65	35,0	1,44
4,2	0,01	9,2	0,37	14,2	0,66	36,0	1,47
4,4	0,03	9,4	0,39	14,4	0,67	37,0	1,50
4,6	0,05	9,6	0,40	14,6	0,69	38,0	1,54
4,8	0,07	9,8	0,41	14,8	0,70	39,0	1,58
5,0	0,08	10,0	0,43	15,0	0,71	40,0	1,61
5,2	0,09	10,2	0,44	16,0	0,74	41,0	1,64
5,4	0,11	10,4	0,45	17,0	0,78	42,0	1,67
5,6	0,12	10,6	0,46	18,0	0,82	43,0	1,70
5,8	0,13	10,8	0,47	19,0	0,86	44,0	1,73

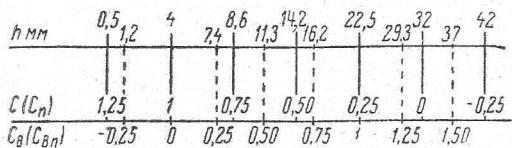


Рис. 12. Взаимозависимость между показателями консистенции C и C_B .

Коэффициент консистенции грунта нарушенной структуры, определяемый по табл. 9 с учетом глубины h_n и обозначаемый в дальнейшем C_{Bn} , имеет почти одинаковые численные значения с коэффициентом B_c . Во многих случаях C_{Bn} весьма мало отличается по величине от B .

Подразделение на подформы консистенции с учетом показателя C_B дано в табл. 6.

Форма журнала для записи результатов определения консистенции грунтов в естественном состоянии приведена в табл. 10.

В табл. 11 приведены примеры характеристики консистенции образцов озерно-ледниковых грунтов в естественном и нарушенном сложении как прямым, так и косвенным методом с использованием рекомендуемых показателей консистенции C и K_C .

Таблица 10

Форма журнала для определения консистенции грунтов естественной структуры

№ обр.	№ слоя	Глубина, м	Краткая характеристика образца (или слоя)	Глубина погружения конуса, $h_s, \text{мм}$		Название подформ консистенции	Примечания
				Параллельные определения	Среднее		

В табл. 12 представлены данные по характеристике консистенции применительно к показателям C_B , B_c и B для тех же образцов грунтов, которые фигурируют в табл. 11. В таблицы включены также характеристики грунтов, необходимые для расчета косвенных показателей консистенции.

Данные, помещенные в табл. 11 и 12, иллюстрируют высказанные выше положения о существенном различии консистенции в естественном и нарушенном состояниях и близости значений показателей консистенции, определяемых методом конуса с показателями, численно характеризующими консистенцию путем сравнения величин влажности (естественной и эквивалентной) с пределами пластичности.

Табл. 12 дает также представление о том, насколько несовершенным является показатель B даже в тех случаях, когда он используется по своему прямому назначению, т. е. для характеристики консистенции грунтов в нарушенном состоянии. Об этом можно судить на примере обр. 3. Консистенция этого образца в нарушенном состоянии, в соответствии со значением B , имеется полутвердой. В действительности же не только в нарушенном, но и в естественном сложении его консистенция является тугопластичной, на что указывают другие, очень хорошо соглашающиеся между собой показатели. Заметим, что структурная связность этого грунта выражена слабо (разница между h_s и h_n относительно невелика), а его прочность на границе раскатывания весьма низка (при $w = w_p$ глубина погружения конуса равна 7,8 мм). Следует при этом отметить, что наименования подформ консистенции в табл. 12 даны в соответствии с классификаци-

Результаты определения консистенции грунтов

№ обр.	Влажность естеств., эквив. w_e , %	Пределы и число пластичности F_C	A_C	N_C	Характеристика консистенции					в нарушенном состоянии				
					$h_s^{\text{м.м.}}$	C	K_C	Подформа консистенции	h_n , м	C_n	K_C	Подформа консистенции	h_n , м	C_n
1	28,5	18,4	27,5	15,0	12,5	8,8	0,74	0,73	36,2	-0,11	-0,08	Текущая		
2	24,7	19,1	38,0	19,7	18,3	3,6	1,02	1,03	10,1	0,68	0,73	Мягкопластичная		
3	19,4	17,8	32,6	17,5	15,1	4,4	0,98	0,98	6,2	0,88	0,87	Тугопластичная		
4	38,7	30,8	49,0	27,3	21,7	6,9	0,84	0,84	15,8	0,45	0,47	Очень мягкопластичная		
5	39,4	31,4	42,5	22,7	19,8	12,4	0,57	0,56	25,4	0,16	0,16	Текущепластичная		

кацией, приведенной в табл. 6. Согласно же классификации СН и П II-Б. 1-62 (табл. 7), обр. 3 должен именоваться «твердым». Такое несоответствие является очевидным. Подобные случаи завышения оценки устойчивости грунтов при пользовании показателем B могут быть весьма частыми.

Следует подчеркнуть, что консистенция грунтов в естественном состоянии может быть охарактеризована показателями двух типов, которые с принципиальной точки зрения являются равноценными. Очевидно, что наиболее рационально характеризовать консистенцию по результатам испытаний конусом (коэффициентами C или C_B) ввиду чрезвычайной простоты и высокой точности эксперимента. Способ оценки консистенции коэффициентами K_C и B_C , несомненно, является весьма трудоемким и, кроме того, менее точным, так как для получения этих показателей требуется определение пределов пластичности и эквивалентной влажности.

Характеристика консистенции грунтов нарушенной структуры может быть дана, если для данных образцов определены влажность и пределы пластичности, только коэффициентами K_C или B_C (или B , что менее точно); определять h_n в этом случае нет необходимости.

Изложенный выше метод характеристики консистенции показателями C и C_B применим для всех связных грунтов, включая и легкие супеси, независимо от их сложения и степени водонасыщенности. Испы-

Таблица 12

Результаты определения консистенции грунтов

№ обр.	Влажность естеств., эквив. w_e , %	w_{s_0} , %	Характеристика консистенции					в нарушенном состоянии								
			F_B	A_C	N_B	w_T	w_p	w_n	$h_s^{\text{м.м.}}$	C_B	B_C	Подформа консистенции	h_n , м	C_n	K_C	Подформа консистенции
1	28,5	18,4	24,3	15,0	9,3	24,8	18,8	6,0	8,8	0,35	0,36	Мягкопластичная	36,2	1,48	1,45	Текущая
2	24,7	19,1	33,2	19,7	13,5	33,2	20,6	12,6	3,6	-0,03	-0,04	Полутвердая	10,1	0,44	0,37	Мягкопластичная
3	19,5	17,8	28,8	17,5	11,3	29,1	20,7	8,4	4,4	0,03	0,03	Тугопластичная	6,2	0,16	0,17	Полутвердая
4	38,7	30,8	43,0	27,3	15,7	44,6	27,0	17,6	6,9	0,23	0,22	Тугопластичная	15,8	0,72	0,73	Очень мягкопластичная
5	39,4	31,4	37,8	22,7	15,1	37,1	22,3	14,8	12,4	0,57	0,58	Очень мягкопластичная	25,4	1,12	1,10	Текущая

тывать конусом можно и несвязные грунты, однако применять для оценки их устойчивости указанные показатели не следует, так как для грунтов, не обладающих свойством пластичности (пределы пластичности которых не могут быть определены), эти показатели лишены физического смысла; при испытании несвязных грунтов достаточно указывать только глубину погружения конуса.

IV. ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНОЙ СВЯЗНОСТИ ГРУНТОВ

Изменение прочности естественного грунта в связи с изменением его влажности и пористости, а также в случае нарушения его структуры легко оценить в результате испытания консистенции указанным выше способом. Ценные для практики выводы можно получить, сравнивая величины коэффициента S или C_v , соответствующего состоянию грунта при естественной структуре и данной его влажности, с коэффициентами консистенции, полученными при некоторых других условиях, которые могут быть свойственны грунту как при изменении влажности, так и при нарушении его структуры под воздействием природных факторов или в результате деятельности человека (например, при набухании, усадке, уплотнении, динамических воздействиях и т. п.).

Представляет также значительный интерес оценка роли структурного сцепления как самостоятельного фактора общей прочности грунта. Эта оценка при испытаниях грунтов конусом достигается путем сравнения консистенции грунта в ненарушенном и нарушенном состояниях или же сопоставлением величин влажности естественного и нарушенного грунта при условии, что механическая сопротивляемость нарушенного грунта равна сопротивляемости последнего в естественном состоянии. Автор считает второй способ получения классификационного показателя структурной связности грунтов более рациональным, так как при этом способе величина указанного показателя не зависит от вида деформирования, используемого для оценки прочности грунтов. При переменных значениях степени водонасыщения естественного и нарушенного грунта выявление роли структурной связности грунта представляет собой несколько неопределенную задачу, так как сравнение значений влажности или консистенции при этом дает суждение о различии в прочности грунта за счет разнообразных факторов. Поэтому характеристику структурной связности следует определять по результатам сопоставления испытаний грунтов естественной и нарушенной структуры в одинаковых условиях, которые имеют место при полном или близком к полному насыщению грунтов водой.

1. Определение коэффициента структурной связности

Для относительной характеристики структурной связности грунтов автором рекомендуется коэффициент следующего вида

$$S = \frac{w_n - w_s}{w_n} \cdot 100, \quad (27)$$

где w_n — влажность грунта ненарушенной структуры, соответствующая полному насыщению пор водой (полная влагоемкость);

w_s — влажность нарушенного грунта, консистенция которого равна консистенции грунта естественной структуры при влажности w_n («эквивалентная влажность»).

Коэффициент S характеризует структурную связность грунта, не уничтожающуюся при полном заполнении пор водой, и указывает, насколько необходимо снизить влажность грунта ненарушенной структуры, в % от ее полной величины, для того, чтобы получить нарушенный грунт одинаковой сопротивляемости с естественным (при практическом полном насыщении грунта водой в обоих случаях).

Эксперимент по определению коэффициента структурной связности S производится следующим образом. Для грунта естественной структуры, если поры последнего полностью заполнены водой, определяется глубина погружения конуса пенетрометра (h_s) точно таким же образом, как при определении коэффициента консистенции, и, кроме того, определяется естественная влажность (w_e) грунта (по двум параллельным пробам), которая для водонасыщенных грунтов является полной влагоемкостью (w_n).

В большинстве случаев грунты, залегающие ниже уровня грунтовых вод или в зоне капиллярного увлажнения, являются водонасыщенными. Грунты, относительная влажность которых меньше 0,95, необходимо предварительно насытить водой, не допуская их набухания, и затем определить глубину отпечатка конуса h'_s , которая будет отличаться от глубины h_s ($h'_s > h_s$), и влажность w_n . Насыщение водой перед определением величины h'_s совершенно необходимо, например, для лессов и лессовидных грунтов, у которых обычно только часть объема пор заполнена водой при их естественной влажности.

Насыщение можно производить по простой схеме, указанной на рис. 13. Нагрузка P является произвольной (может быть приложена посредством рычажного пресса), но она должна полностью исключать возможность разбухания грунта. Между грунтом и фильтрующими пластинками укладывается по одному листку фильтровальной бумаги. Для этой цели может быть также использован прибор, изображенный на рис. 14. Образец грунта в обойме (1)⁶ устанавливается между двумя перфорированными дисками (2 и 3), которые скрепляются между собой посредством трех шпилек (4), снабженных гайками с накаткой (5), прижимающими диски к обойме и не позволяющими грунту набухать. Насыщение производится в ванночке (6), уровень воды

⁶ Детали 1—4, изображенные на рис. 3.

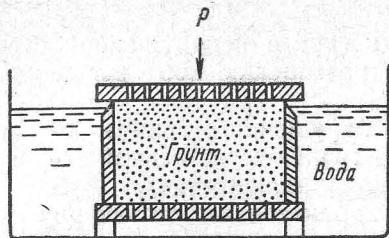


Рис. 13. Схема насыщения грунта водой.

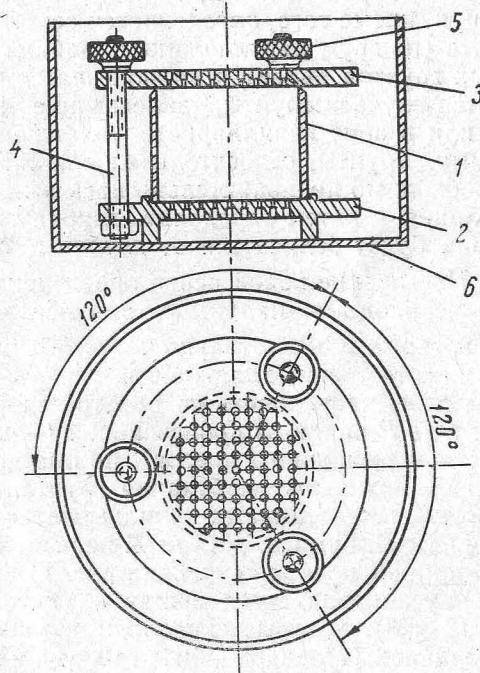


Рис. 14. Прибор для насыщения грунта водой без возможности его набухания.

в которой должен быть на несколько миллиметров ниже верхнего обреза обоймы для того, чтобы не происходило защемление пузырьков воздуха.

Для определения эквивалентной влажности (w_s) необходимо также произвести 3—4 испытания конусом с грунтом нарушенной структуры, в результате которых строится отрезок кривой зависимости глубины погружения конуса от влажности грунта (рис. 15). Экспериментальные точки должны быть получены при глубине погружения конуса несколько меньшей и большей величины h_s' (или h_s , если грунт водонасыщенный). Желательно также определять глубину погружения конуса при влажности, равной w_n или несколько большей, так как при этом представляется возможным оценивать структурную связность также иным способом, указываемым ниже. Подготовка грунта к опытам и методика эксперимента по определению глубины погружения конуса в грунт нарушенной структуры в деталях аналогична указанной при изложении способа определения пределов пластичности, т. е. устанавливается средняя глубина отпечатка конуса, после каждого опыта определяется влажность грунта и т. д.

По этой кривой, как указано на рис. 15, определяется влажность w_s , соответствующая глубине отпечатка конуса h_s или h_s' . По полученным данным рассчитывают коэффициент структурной связности S (формула 27).

Коэффициент структурной связности благодаря тому, что выражается через величины влажности, может быть установлен также и в результате испытания другим конусом (иной вес и угол конуса), а также и в случае совершило иного вида деформирования грунта. Для получения этой характеристики структурной связности, или так называемой «чувствительности», во всех случаях необходимо только определить влажность грунтов ненарушенной и нарушенной структуры при одинаковой их механической устойчивости. Отмеченное указывает, что коэффициент структурной связности является инвариантной величиной.

Определение коэффициента структурной связности грунтов с помощью конуса при глубинах отпечатков h_s или h_s' менее 2 мм является нерациональным.

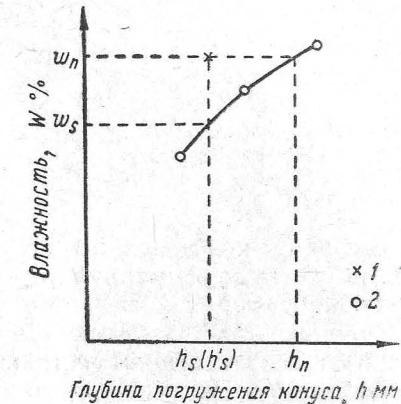


Рис. 15. Графический способ нахождения эквивалентной влажности w_s и глубины отпечатка конуса h_n .
1 — естественная структура; 2 — нарушенная структура.

В зависимости от величины коэффициента структурной связности S грунты могут быть разделены на следующие категории (табл. 13).

Таблица 13
Классификация грунтов по степени выраженности структурной связности

Категория грунта	Структурная связность выражена	Коэффициент структурной связности, S	Разность коэффициентов консистенции	
			$C_s = C - C_n$	$C'_s = C_{Bn} - C_B$
I	Слабо	<10	<0,20	<0,25
II	Средне	10—20	0,20—0,40	0,25—0,55
III	Значительно . . .	20—30	0,40—0,60	0,55—0,80
IV	Резко	>30	>0,60	>0,80

Величины коэффициента структурной связности S для образцов, результаты испытаний которых приведены в табл. 10 и 12, следующие: обр. 1 — 35,4, обр. 2 — 22,7, обр. 3 — 8,2, обр. 4 — 20,4, обр. 5 — 20,3. Заметим, что эти грунты являются водонасыщенными в естественном состоянии.

О степени выраженности структурной связности можно также получить суждение и другим путем — в результате сопоставления величин коэффициентов консистенции, получаемых для грунтов ненарушенной и нарушенной структуры, при одинаковой пористости, равной естественной, и одинаковой влажности, соответствующей полной влагоемкости грунта ненарушенной структуры (ω_n). Коэффициент консистенции C для грунта ненарушенной структуры определяется по величине отпечатка конуса h'_s (или h_s , если $\omega_e \approx \omega_n$). Для определения коэффициента консистенции грунта нарушенной структуры при влажности, равной ω_n , необходимо установить глубину погружения конуса h_n в грунт при этой влажности. Величина отпечатка h_n , как указано выше, может быть установлена непосредственно путем испытания перемянутого грунта при этой влажности или же графическим путем — по графику зависимости глубины погружения конуса от влажности (см. рис. 15). По величинам h_s (h'_s) и h_n определяются коэффициенты консистенции C и C_n (табл. 8). Разность величин коэффициентов консистенции $C_s = C - C_n$ дает наглядное представление о снижении прочности грунта при нарушении его естественной структуры.

О степени выраженности структурной связности можно также судить по разности $C_s = C - K_C$, так как C_n и K_C практически равны.

Если при исследованиях определение верхнего предела пластичности производится с учетом эталонной консистенции, регла-

ментированной ГОСТ, т. е. определяются ω_t или F_B , а характеристика консистенции осуществляется показателями B или B_C , то оценка степени выраженности структурной связности достигается путем сопоставления коэффициента консистенции грунта в естественном состоянии C_B и коэффициента C_{Bn} , характеризующего консистенцию грунта после нарушения его естественного сложения. Коэффициент C_B устанавливается по величине глубины погружения конуса h_s (или h'_s), коэффициент C_{Bn} — по величине h_n (табл. 9). Величина смещения консистенции грунта при нарушении его структуры выражается разностью $C'_s = C_{Bn} - C_B$. Вместо C_{Bn} могут быть использованы косвенные показатели консистенции грунта нарушенной структуры — B_C или B . Учитывая, что коэффициент B менее точно характеризует консистенцию грунта в нарушенном состоянии, чем B_C , предпочтительнее пользоваться в этом случае показателем B_C .

Показатели C_s и C'_s связаны функциональной зависимостью

$$C'_s = 1,33 C_s. \quad (28)$$

Величины C_s и C'_s , достаточно хорошо согласующиеся с показателем S , приведены в табл. 13. Несмотря на очевидную наглядность, C_s и C'_s являются менее совершенными характеристиками степени выраженности структурной связности грунтов, чем коэффициент S , так как зависят от таких условных величин, какими являются пределы plasticитности.

2. Исследование восстановления структурной связности

Многие грунты, структурная связность которых обусловлена в малой степени необратимыми связями, после нарушения их естественной структуры с течением времени в той или иной мере восстанавливают свою устойчивость, при неизменной влажности и пористости, главным образом в результате тиксотропного упрочнения. Изучение восстановления прочности грунтов с течением времени рационально производить с помощью penetрометра, путем исследования консистенции грунта нарушенной структуры через различные промежутки времени после приведения его в нарушенное состояние.

При изучении степени восстановления структурной прочности грунтов опыты производятся следующим образом.

Вначале необходимо получить данные для характеристики консистенции и влажности грунта в естественном состоянии. Для этой цели устанавливается средняя глубина погружения конуса в результате 3—4 penetраций; определение влажности грунта в месте испытания конусом производится по двум параллельным пробам. Если образец, предназначенный для исследований, не является достаточно однородным, целесообразно эти определе-

ния производить в 2—3 различных местах образца, а затем рассчитать средние значения глубины погружения конуса и влажности, характеризующие образец в целом.

Затем грунт тщательно переминают и перемешивают до получения однородной массы, и чашку с грунтом помещают в эксикатор с водой. Нарушение естественной структуры грунта и его перемешивание следует производить возможно быстрее с тем, чтобы не происходило значительного снижения влажности грунта вследствие его подсыхания.

Для характеристики консистенции и влажности грунта непосредственно после нарушения его естественной структуры отбирают в фарфоровую чашку из перемянутого грунта такое его количество, которое является достаточным для заполнения одной обоймы с некоторым избытком. Грунт дополнительно перемешивают, помещают в одну из обойм и сразу же определяют глубину погружения конуса и влажность, используя при этом такие же приемы, как и при опытах по определению пределов пластичности и характеристике структурной связности; влажность устанавливается в результате двух параллельных определений.

После выполнения указанных выше определений грунтом заполняют несколько обойм. С целью предохранения от высыхания на защищенные поверхности грунта с обеих сторон обоймы накладывают стеклянные пластинки, и обоймы помещают в эксикатор, на дне которого имеется вода. Для того чтобы свести к минимуму подсыхание образцов, предназначенных для испытаний после длительного их выдерживания (недели и месяцы), следует, кроме того, заливать парафином или замазывать густой смазкой места контактов обоймы со стеклянными пластинками.

В дальнейшем производятся определения глубины погружения конуса и влажности грунта через различные промежутки времени от момента загрузки обойм — 1, 2, 4, 8, 15 и 30 суток. Последующие опыты целесообразно проводить с интервалами в один или два месяца, в зависимости от интенсивности нарастания прочности.

Таблица 14

Форма записи экспериментальных данных

№ опыта	Дата и время		Время выдерживания образца	Глубина погружения конуса, h , мм		Влажность, w , %	Примечания
	Загрузки обоймы	Испытания		Параллельные определения	Среднее	Параллельные определения	

В зависимости от цели исследований, а также от степени выраженности тиксотропных явлений в исследуемых грунтах сроки опытов могут быть приняты и иными. В тех случаях, когда значительное упрочнение грунта наблюдается в течение первых суток, представляет интерес изучение динамики нарастания прочности в промежутки времени, измеряемые часами, например

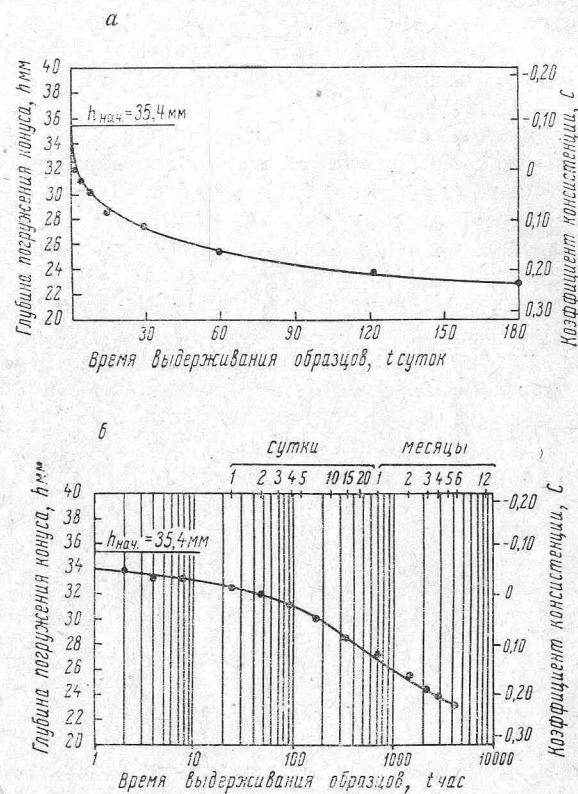


Рис. 16. Результаты исследования восстановления структурной связности грунта.
а — график в нормальном масштабе; б — график в полулогарифмическом масштабе.

через 1, 2, 4 и 8 часов после загружения грунта в обоймы. Поставленные испытания устанавливают также и их максимальные сроки.

Для записи экспериментальных данных может быть использована форма, представленная в табл. 14. Параллельные определения глубины погружения конуса, если последняя превышает 15 мм, не производятся.

Результаты опытов изображаются в виде графиков, представляющих собой зависимость глубины погружения конуса от времени выдерживания образцов (рис. 16). Параллельно с глубиной погружения конуса весьма целесообразно указывать и значения коэффициентов консистенции C или C_B . Если при исследованиях не производилось определение консистенции в короткие сроки (менее суток), масштаб для времени может быть принят нормальным (рис. 16, а). В случае широкого диапазона изменения времени испытаний (часы и месяцы) более рационально использовать для шкалы времени логарифмический масштаб (рис. 16, б).

Определения влажности при этих опытах производятся с целью получения суждения об однородности образцов и возможности некоторого корректирования данных по испытаниям консистенции. Полученные при различных опытах значения влажности испытанных образцов всегда несколько различаются, причем разница, как правило, тем больше, чем выше абсолютные значения последней. Причиной этого является то обстоятельство, что полная однородность грунта по влажности практически не может быть достигнута при его перемешивании и заполнении обойм. Эти различия в известной мере зависят также и от точности определения влажности. При наличии данных о влажности представляется возможность судить о том, имело ли место ее снижение при хранении образцов; оценивать влияние на испытания консистенции неоднородности образцов по влажности, а также исключать результаты отдельных опытов, дающих наиболее значительные отклонения от общей зависимости глубины погружения конуса от времени выдерживания образцов, если эти отклонения обусловлены тем, что влажность грунта заметно отличается от среднего ее значения.

ЛИТЕРАТУРА

Безрук В. М., А. Н. Зашепин и др. Справочное руководство по лабораторным испытаниям дорожностроительных материалов и грунтов. М., Автотрансиздат, 1960.

Богданов Г. Ф. Обоснование методики определения пластичности грунтов. Уч. зап. ЛГУ, № 102, серия геол. наук, вып. 1, 1950.

Бойченко П. О. О методах определения консистенции связных грунтов. Научный бюллетень ЛГУ, № 21, 1948.

Бойченко П. О. Определение пределов пластичности, консистенции и коэффициента структурности связных грунтов методом конуса. «Некоторые методы определения физико-механических свойств грунтов». Сб. под ред. проф. В. В. Охотина. Изд. ЛГУ, 1950.

Бойченко П. О. и В. С. Бурдин. Экспериментальные данные о структурной связности одной из разновидностей глин. Вестник ЛГУ, 1955, № 10.

Бойченко П. О. К вопросу определения пределов пластичности грунтов методом конуса. Уч. зап. ЛГУ, № 209, серия геол. наук, вып. 7, 1956.

Бойченко П. О. Об определении пределов пластичности, консистенции и структурной связности глинистых грунтов методом конуса. Сб. «Вопро-

сы инженерной геологии Ленинградского экономического района». М., Изд. Центр. бюро техн. информации, 1960.

Бойченко П. О. О классификации связных грунтов по числу пластичности. Сб. «Грунтоведение и инженерная геология». Изд. ЛГУ, 1964.

Васильев А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов, 2-е изд. М., Госстройиздат, 1953.

Гольдштейн М. Н. Об определении консистенции связных грунтов. Исследование работы грунта в железнодорожных сооружениях. Сб. Науч.-исслед. ин-та пути и строительства. М., Транскжелдориздат, 1940.

Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов. М., Госстройиздат, 1952.

ГОСТ 5179-49—5184-49. Грунты. Методы лабораторных определений. Стандартгиз, 1950.

Далматов Б. И. О расчетном сопротивлении оснований из глинистых грунтов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1959, № 2.

Егоров С. Н. О стандартах на методы определения пределов пластичности связных грунтов. «Гидротехническое строительство», 1956, № 2.

Еремина А. С. К характеристике диатомитов района побережья Финского залива и Ладожского озера. Сб. «Грунтоведение и инженерная геология». Изд. ЛГУ, 1964.

Иванова М. В., Г. Г. Саатчан, В. В. Моисеева и А. С. Солинцева. Ускоренные методы испытания грунтов. Всес. науч.-исслед. ин-т железнодор. строительства и проектирования. Сообщение № 63. М., 1955.

Инженерно-геологическое опробование горных пород с помощью микропенетрометра (временная инструкция). М., Изд. Ин-та ВСЕГИНГЕО, 1959.

Корженко Л. И. Особенности классификации аллювиальных грунтов. «Вопросы строительной механики и строительных конструкций». Сб. 44. Тр. Уральского политехнического ин-та. М.—Л., Госстройиздат, 1953.

Мазуров Г. П. Состав и свойства межстадиальных грунтов юго-восточного Прионежья. Уч. зап. ЛГУ, № 209, серия геол. наук, вып. 7, 1956.

Макеев З. А. Пластичность и естественная влажность глинистых грунтов как показатели устойчивости. «Разведка недр», 1939, № 6.

Материалы совещания по обмену опытом проектирования и исследований оснований из элювиальных грунтов Урала. Свердловск, 1962.

Охотин В. В. Грунтоведение. Изд. Военно-трансп. академии. Л., 1940.

Приклонский В. А. Грунтоведение, ч. 1, изд. 3-е. М., Госгеотехиздат, 1955.

Приклонский В. А. Комплексные показатели инженерно-геологических свойств глинистых горных пород. Труды лаборатории гидрогеологических проблем, т. XV. Изд. АН СССР, 1957.

Разоренов В. Ф. Определение консистенции, влажности и границ пластичности глинистых грунтов по результатам пенетрации. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1962, № 2.

Строительные нормы и правила, ч. II, раздел Б, гл. 1. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования (СН и П II-Б. 1-62). Госстройиздат, 1962.

Фурса В. М. Определение пределов пластичности и консистенции грунтов по методу П. О. Бойченко. Сб. ГРИИ «Опыт внедрения нового в изыскательском производстве». Лениздат, 1961.

Фурса В. М. К изучению физико-механических свойств позднеледниковых ленточных отложений. Сб. «Грунтоведение и инженерная геология». Изд. ЛГУ, 1964.

Цытович Н. А. Механика грунтов. М., Госстройиздат, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
I. Аппаратура	<u>5</u>
II. Определение пределов пластичности грунтов	8
1. Подготовка грунта к испытаниям	—
2. Определение нижнего предела пластичности	9
3. Определение верхнего предела пластичности	12
4. Ускоренный способ определения пределов пластичности	14
5. Особенности метода определения пределов пластичности с помощью конуса	17
6. Классификация связных грунтов по числу пластичности	19
III. Определение и характеристика консистенции грунтов	21
1. Характеристика консистенции косвенным методом	—
2. Характеристика консистенции прямым методом	<u>28</u>
IV. Характеристика структурной связности грунтов	38
1. Определение коэффициента структурной связности	—
2. Исследование восстановления структурной связности	43
Литература	46

66-154099

Павел Онуфриевич Бойченко

Определение пределов пластичности и консистенции глинистых грунтов
методом конуса

Методические указания

Редактор Н. П. Скорынина

Техн. редактор Е. Г. Учаева

Корректор А. М. Сурпина

Сдано в набор 6 IV 1964 г. М 27739. Подписано к печати 28 VII 1964 г.
Уч.-изд. л. 3,23. Печ. л. 3+0,25 вкл. Бум. л. 1,5+0,12 вкл. Формат бум. 60×90¹/₁₆.

Тираж 1100 экз. Заказ 357.

Тематический план 1964 г. № 42. Цена 10 к.

Типография ЛОЛГУ. Ленинград, Университетская наб., 7/9.

ОЭ	1964
Акт. №	9437