

УДК 624.131.22

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ  
ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ  
И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ИХ НАБУХАНИЯ**



**PRACTICAL SIGNIFICANCE OF CLAYEY SOILS  
FOR ENGINEERING-GEOLOGICAL ASSESSMENT  
AND ANALYSIS OF THEIR SWELLING PROCESSES**

**Стефанов Р.Е.**

АО «Газпром газораспределение Тамбов»  
r.stefanov@internet.ru

**Аннотация.** Развитие современной геологической науки в основном обуславливается потребностями человечества в различных полезных ископаемых в качестве энергетических ресурсов и сырья для промышленности, а также необходимостью обеспечить геологической службой различные виды строительства трубопроводного транспорта и другие инженерные мероприятия и подразумевает активное воздействие на земную кору. Важнейшее место в ряду антропогенных факторов занимает деятельность человека, охватывающая наиболее поверхностную часть земной коры – грунт. Существует большое количество трактовок понятия грунт. Грунты с наиболее общей точки зрения – это любые горные породы и почвы, которые изучаются как многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени, с целью познания их как объекта инженерной деятельности человека. При проведении инженерно-геологических изысканий и последующем проектировании и строительстве разнообразных объектов необходимо учитывать ряд свойств грунта, среди которых существенное значение имеют явления набухания и пластичности.

**Ключевые слова:** набухание глинистых грунтов; пластичность глинистых грунтов; методика проведения исследований; определение набухания глинистых грунтов; определение верхнего предела пластичности; определение нижнего предела пластичности; анализ полученных результатов.

**Stefanov R.E.**

JSC «Gazprom Gas Distribution Tambov»  
r.stefanov@internet.ru

**Annotation.** The development of modern geological science is mainly determined by humanity's needs for various minerals as energy resources and raw materials for industry, as well as the need to provide the geological service with various types of pipeline construction and other engineering activities and implies an active impact on the Earth's crust. The most important place among anthropogenic factors is occupied by human activity, covering the most superficial part of the Earth's crust – the soil. There are a large number of interpretations of the concept of soil. Soils from the most general point of view are any rocks and soils that are studied as multi-component systems that change over time, with the aim of understanding them as an object of human engineering activity. When conducting geotechnical surveys and subsequent design and construction of various objects, it is necessary to take into account a number of soil properties, among which the phenomena of swelling and plasticity are of significant importance.

**Keywords:** swelling of clay soils; plasticity of clay soils; research methodology; determination of swelling of clayey soils; determination of the upper limit of plasticity; determination of the lower limit of plasticity; analysis of the results obtained.

## **Н** абухание глинистых грунтов

Под *набухаемостью* понимается способность дисперсных грунтов увеличивать объём в процессе взаимодействия с водой или растворами. Это свойство связано с гидрофильным характером тонкодисперсной части связных грунтов и большой их удельной поверхностью. Оно обусловлено в основном образованием в грунте слабосвязанной воды.

Набухание глинистых грунтов происходит в результате расклинивающего действия сольватных оболочек связанной воды, образующейся при гидратации глинистых минералов и тонкодисперсных органогенных и органоминеральных частиц. Расклинивающему действию противостоят *силы притяжения*, обуславливающие структурные сцепления. Если последнее превышает или равно расклинивающему действию оболочек связанной воды, то набухание не происходит. Если же структурное сцепление меньше величины расклинивающего давления, то грунтовая система стремится перейти в *равновесное состояние* путём увеличения расстояния между частицами. В этом случае происходит *набухание грунта*. При этом в грунтовой системе развивается

определённое давление, которое называется *давлением набухания*. Оно может быть обнаружено и измерено с помощью внешней нагрузки. Это давление будет равно той нагрузке, при которой увеличение объёма грунта при гидратации наблюдаться не будет.

В основе набухания лежит действие адсорбционных, осмотических и капиллярных сил, определяющих напряжение, с которым вода удерживается в структурированной системе. Роль осмотической составляющей подчёркивается многими исследователями. Причиной осмотических явлений, вызывающих набухание, является разница в концентрации солей в поровом растворе и в воде, окружающей грунт. Если концентрация внешнего раствора меньше концентрации порового, то происходит набухание грунта. Роль этого явления проявляется по-разному в зависимости от минерального состава глинистых грунтов и наиболее ярко проявляется в монтмориллонитовых глинах.

Способность грунтов к набуханию характеризуют рядом показателей:

1) *деформацией набухания*  $R_n$ , определяемой по относительному изменению объёма или высоты при невозможности бокового расширения образца грунта после набухания и выражаемой в процентах или долях единицы; она определяется при свободном набухании грунта или набухании под нагрузкой;

2) *влажностью набухания*  $W_n$ , выраженной в процентах, соответствующей такому состоянию грунта, при котором прекращается процесс поглощения жидкости;

3) *давлением набухания*  $P_n$ , выраженным в МПа, которое развивается при невозможности объёмных деформаций в процессе набухания грунта. По величине деформации свободного набухания и давлению набухания грунты подразделяются на виды (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация набухающих грунтов

Виды грунтов	Величина деформации свободного набухания, %	Величина давления набухания, МПа
ненабухающие	менее 4	менее 0,025
слабонабухающие	4–10	0,025–0,10
средненабухающие	10–15	0,10–0,25
сильнонабухающие	более 15	более 0,25

При изучении процесса набухания следует иметь в виду, что в результате взаимодействия воды с грунтовыми частицами хотя и наблюдается увеличение объёма грунта, но образовавшийся объём меньше простой суммы объёмов грунта и воды, вступивших во взаимодействие. Это явление уменьшения суммарного объёма в процессе взаимодействия грунта и воды называется *контракцией объёма*. Она определяется как уменьшение объёма в кубических сантиметрах, которое проявляется, когда 1 г сухого набухающего вещества вбирает  $n$  граммов воды. Контракция объёма – вполне ощутимая величина. В частности, для почв она колеблется от 0,16 см<sup>3</sup> (подзолистые почвы) до 1,60 см<sup>3</sup> (чернозём) на 100 г. Для коллоидов, выделенных из аллювиального суглинка, контракция составляет 2,10, а для коллоидов, выделенных из обыкновенного чернозёма – 7,35 см<sup>3</sup> на 100 г.

Явление контракции объёма «грунт + вода» можно объяснить образованием связанной воды. При переходе свободной воды в связанном состоянии плотность её увеличивается, а объём уменьшается. В результате общий объём системы «грунт + вода» тоже уменьшается. Чем больше образуется в грунте связанной воды, тем больше величина контракции объёма.

Основными факторами, определяющими характер набухания грунтов, являются:

1) состав и строение грунта (минеральный и гранулометрический состав, состав обменных катионов, структурно-текстурные особенности, влажность и др.);

2) химический состав и концентрация водного раствора, взаимодействующего с грунтом;

3) величина внешнего давления, под которым находится грунт.

Набухание характерно для связных грунтов. Супеси или совсем не проявляют набухания, или набухают очень слабо. Набухание суглинков и глин возрастает в соответствии с увеличением содержания в них глинистых и особенно коллоидных частиц.

Величина набухания воздушно-сухих образцов, сформированных из хвалынских глин, имеющих одинаковую начальную плотность, возрастала от 0 до 37 % в соответствии с увеличением содержания глинистых частиц от 1,5 до 88 %. С ростом дисперсности грунтов, помимо величины набухания, увеличивается также время, необходимое для достижения максимальной величины набухания.

Огромное влияние на набухание грунтов оказывает их минеральный состав и главным образом состав глинистых минералов. Минералы, имеющие подвижную кристаллическую решётку (например, группы монтмориллонита), обладают несравненно большей величиной набухания по сравнению с минералами, обладающими жёсткой кристаллической решёткой.

Набухание грунтов сильно изменяется в зависимости от состава обменных катионов, причём их влияние возрастает по мере увеличения ёмкости обмена. Грунты, у которых поглощающий комплекс насыщен преимущественно двух- и трёхвалентными катионами, имеют ограниченное набухание. Наибольшее набухание отмечается у тяжёлых глин, содержащих в обменном комплексе в значительном количестве одновалентные катионы. Частицы диаметром меньше 0,25 мк, насыщенные  $\text{Li}^+$  и  $\text{Na}^+$ , набухали до состояния желатинообразной массы, содержащей до 1000 % воды к весу сухой навески.

Влияние обменных катионов на величину набухания обусловлено в первую очередь тем, что с изменением их состава происходит соответствующее изменение степени дисперсности грунта благодаря различному количеству связанной воды, образующейся в диффузном слое мицеллы. В процессе набухания происходит *диспергация грунта*, что в свою очередь способствует дальнейшему развитию набухания.

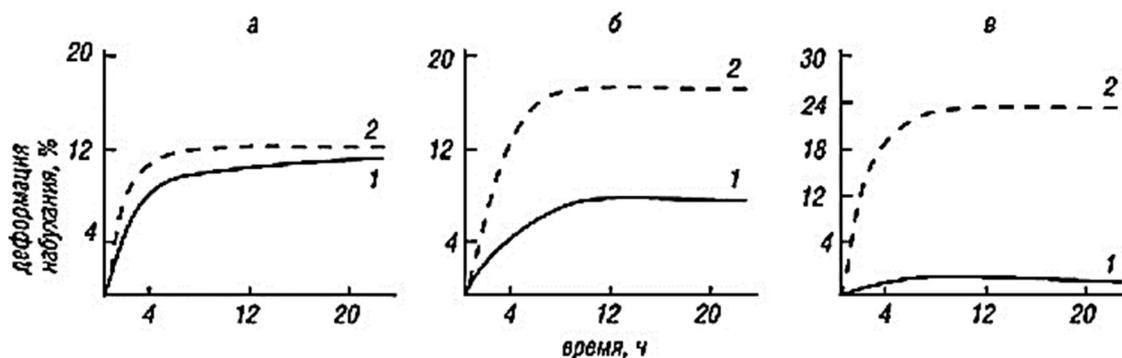
Величина набухания тесно связана с количеством поглощённой воды. Её количество уменьшается с возрастанием начальной (естественной) влажности грунта. В связи с этим по мере увеличения значения этого показателя набухание уменьшается. Так, образцы глины апшеронского яруса, отобранные в районе Мингечаурского водохранилища, при начальной влажности 6,2 % имели величину объёмного набухания 17,4 % и влажность набухания 23,8 %, а образцы с начальной влажностью в 13 % – величину набухания 5 % и влажность набухания 19,8 %.

Периодическое изменение влажности оказывает большое влияние на набухание грунтов. При циклическом замачивании и высушивании глинистых образцов в каждом последующем цикле подсушивания – замачивания вследствие ослабления структурных связей увеличивается как степень набухания, так и давление набухания. Так, при естественной влажности степень образцов хвалынских глин изменялась от 1 до 8 %, а после многократного подсушивания – увлажнения при тех же значениях начальной влажности она возросла до 7,5–16 %. Давление набухания в исследованных хвалынских глинах при естественной влажности не превышало 0,5 МПа. В тех же грунтах после их циклического подсушивания – увлажнения оно возросло до 1,0 МПа и более.

Величина набухания зависит от характера структурных связей: наибольшее набухание характерно для грунтов с коагуляционным типом контактов (рис. 1). Нарушение естественной структуры грунтов способствует увеличению набухания. Наиболее резко оно возрастает у грунтов со смешанным и фазовым типами контактов.

Величина набухания глинистых грунтов зависит от характера их сложения. С увеличением плотности образцов слаболигифицированных глинистых грунтов деформация и давление набухания возрастали, причём эта зависимость часто имеет линейный характер. Это позволяет путём экстраполяции определить «*начальную плотность набухания*», при которой набухание грунта исключается. Её величина неодинакова для глин разного состава, влажности и сложения. Так, для сарматских глин нарушенной структуры она равна 0,95 г/см<sup>3</sup>, с ненарушенной структурой – 1,05 г/см<sup>3</sup>; для хвалынских глин эти величины соответственно равны 0,85 и 1,00 г/см<sup>3</sup>.

Слоистые глинистые породы часто проявляют анизотропию в процессе набухания. Набухание, как правило, больше по направлению, перпендикулярному слоистости и основной трещиноватости.



**Рисунок 1** – Влияние структурных связей на набухание глинистых грунтов в природном (1) и нарушенном (2) сложении:  
 а – с коагуляционными контактами; б – с переходными; в – с фазовыми контактами

Набухание глинистых грунтов также зависит от присутствия солей в растворах, циркулирующих в грунтах, концентрации и величины pH растворов. Химический состав воды в значительной степени определяет состав обменных катионов, а следовательно, и величину набухания грунтов. Кроме того, при наличии одних и тех же солей в природной воде величина набухания грунта будет изменяться в зависимости от их концентрации. Чем больше содержание электролитов в воде, тем менее гидратированы ионы диффузного слоя грунтовых мицелл, тем меньше в грунте образуется связанной воды и, следовательно, тем меньше будет его набухание. Наиболее резко с ростом концентрации внешнего раствора уменьшается набухание Na-монтмориллонитовой глины. Набухания её в 1 н. растворе NaCl в 10 раз меньше, чем в дистиллированной воде. Максимум набухания этой глины отмечался при концентрации раствора NaCl 0,01 н.

Деформация набухания грунтов зависит от величины внешней пригрузки, действующей на грунт. Её величина снижается по мере роста пригрузки и особенно сильно – в зоне малых напряжений. Если величина внешней пригрузки равна или больше давления набухания, то деформация набухания не проявляется.

Набухание грунтов является их важным свойством, которое необходимо учитывать при проведении строительных работ (в том числе и строительство трубопроводов) и эксплуатации инженерных сооружений. Строителям приходится иметь дело с явлением набухания грунта при вскрытии их выемками, котлованами и т.п. Грунты, слагающие дно и откосы котлованов и выемок, под действием вод (чаще всего атмосферных) могут не только набухать, но и размокать, в результате чего полностью нарушается их естественная структура. В США стоимость повреждений дорог, фундаментов, каналов и водохранилищ только за счёт набухания глинистых грунтов достигает ежегодно 2,3 млрд долларов, что значительно превосходит ущерб, наносимый наводнениями, ураганами и землетрясениями.

#### **Пластичность глинистых грунтов**

Под пластичностью грунта понимается его способность под воздействием внешних сил изменять форму (деформироваться) без разрыва сплошности и сохранять приданную ему форму после прекращения этого воздействия. Это свойство грунта характеризует возможность проявления в нём остаточных деформаций.

Пластичностью при определённой влажности и небольших давлениях обладают только глинистые и лёссовые грунты, мергели и мел, торф, почвы и некоторые искусственные грунты. В обычных условиях при небольших внешних нагрузках у других типов грунтов она отсутствует.

Пластичность связных грунтов при инженерно-геологических исследованиях характеризуют двумя влажностными показателями:

1) *верхним пределом пластичности* (или *нижним пределом текучести*)  $W_L$ , представляющим собой граничную влажность, при превышении которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее;

2) *нижним пределом пластичности*  $W_p$ , также представляющим собой граничную влажность между полутвёрдым и пластичным состоянием грунта; он характеризует минимальную влажность, при которой частицы способны перемещаться относительно друг друга без нарушения сплошности грунта.

Разность в величине влажности грунта при верхнем и нижнем пределах пластичности называется *числом пластичности* ( $M_p$  или  $I_p$  по ГОСТ 25100-95). Число пластичности показывает диапазон колебаний влажности, в котором грунт обладает пластическими свойствами. Чем больше число пластичности, тем более пластичен грунт.

Нетрудно заметить, что все эти пределы характеризуют не механические свойства грунтов при пластичном их состоянии, а свойства слагающих их минералов при некоторых значениях влажности. Следовательно, применяемые пределы пластичности, представляющие собой пределы влажности, являются *условными косвенными показателями пластичности грунтов*. Пластичность связных грунтов определяется составом и свойствами как твёрдых частиц грунта, так и взаимодействующей с ними жидкости.

К числу факторов первой группы относятся гранулометрический и минеральный составы, форма частиц, состав обменных катионов. Свойства жидкой компоненты и влияние на пластичность определяются её химическим составом и концентрацией растворённых веществ.

Гранулометрический состав является одним из важнейших факторов, влияющих на пластичность грунтов. Эта зависимость изучена очень хорошо. Можно считать установленным, что пластичные свойства начинают проявляться у частиц диаметром меньше 5 мкм. У фракции 3-2 мкм пластичность выражена слабо. Частицы размером 2-1 мкм имеют небольшую пластичность. У частиц менее 1 мкм величина пластичности уже значительная. Она очень сильно зависит от дисперсности глинистой фракции и возрастает пропорционально увеличению содержания в ней коллоидов. Особенно сильно она увеличивается в присутствии органических коллоидов.

Из всех показателей, характеризующих пластичность грунта, верхний предел пластичности наиболее тесно связан с его гранулометрическим составом. Зависимость величины верхнего предела пластичности от содержания в грунте глинистых частиц в пределах до 35 % показана на рисунке 2. Столь тесной связи между гранулометрическим составом и нижним пределом пластичности (границей раскатывания в шнур) не наблюдается.

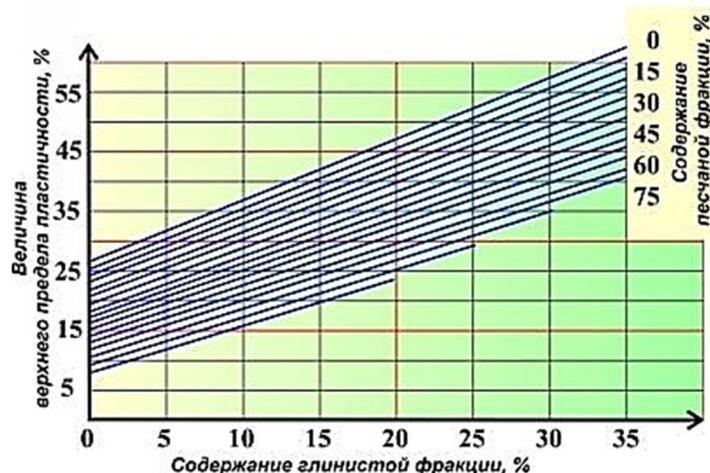


Рисунок 2 – Зависимость верхнего предела пластичности от содержания в грунте глинистых частиц

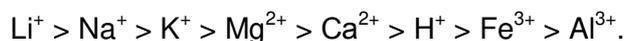
Минеральный состав грунтов также в значительной степени определяет их пластичность, так как различные минералы неодинаково взаимодействуют с водой (табл. 2). Кроме того, от строения кристаллических решёток минералов зависит форма частиц, которая в свою очередь оказывает влияние на величину пластичности. Наибольшей пластичностью обладают минералы, у которых частицы имеют пластинчатую, чешуйчатую форму. Это дало основание ряду исследователей считать, что пластинчатая форма частиц является основным фактором, определяющим пластичность грунтов. Конечно, форма частиц может влиять на их перемещение под нагрузкой, затрудняя или облегчая его, но она всё-таки не является важнейшим фактором, определяющим величину пластичности.

**Таблица 2** – Пластичность частиц различного минерального состава

Название минерала	Размер частиц, мм	Предел пластичности		Число пластичности
		верхний	нижний	
Биотит	< 0,002	87	44	43
Хлорит	< 0,002	72	47	25
Каолинит	< 0,002	63	43	20
Лимонит	< 0,002	36	27	9
Кварц	< 0,002	35	35	0

Минеральный состав грунтов влияет на величину пластичности совокупностью целого ряда факторов. Исследования, проведённые на смесях различного минерального состава, показывают, что величина пластичности грунтов больше в том случае, когда в их глинистой фракции содержатся минералы группы монтмориллонита, и меньше при содержании каолинита. Увеличение пластичности в случае присутствия в грунте минералов группы монтмориллонита связано со значительным возрастанием дисперсности и гидрофильности грунта.

Существенное влияние на пластичность связных грунтов оказывает состав обменных катионов. По своей способности увеличивать пластичные свойства грунтов наиболее часто встречаемые катионы располагаются в следующей последовательности:



Эта закономерность соответствует изменению содержания слабосвязанной воды и дисперсности грунтов, которая наблюдается при замещении одних катионов на другие. Влияние на пластичность обменных катионов в пределах одной валентности определяется их гидратационной способностью. Чем больше степень гидратации катионов, тем в большей мере проявляется пластичность грунтов. Пластичность повышается также при увеличении ёмкости поглощения грунта.

Существенное влияние на пластичность связных грунтов оказывают состав и концентрация водного раствора, с которым взаимодействует грунт. Это обусловлено тем, что состав растворённых в воде соединений влияет на состав обменных катионов в грунтах, которые, как показано выше, влияют на пластичность грунтов, а концентрация раствора во многом определяет толщину диффузионного слоя. Данные таблицы 3 показывают, что присутствие значительного количества солей понижает пределы пластичности грунтов, причём особенно сильно у высокодисперсного грунта (монтмориллонит). Число пластичности каолиновой и монтмориллонитовой (асканглина) глин значительно ниже при использовании в качестве дисперсионной среды трёхнормального раствора NaCl, чем при определении с помощью дистиллированной воды. Это наблюдалось во всех случаях независимо от состава обменных катионов. Уменьшение пластичности грунтов при большой концентрации солей связано с процессом дегидратации и агрегации грунтовых частиц, сопровождаемых уменьшением диффузного слоя грунтовых мицелл и, естественно, уменьшением содержания слабосвязанной воды в грунтах.

**Таблица 3** – Изменение пределов пластичности глин в зависимости от концентрации NaCl

Характер подготовки образцов	Концентрация NaCl, н.	Предел пластичности				Число пластичности	
		верхний		нижний		каолино-вая	монтмориллонитовая
		каолино-вая	монтмориллонитовая	каолино-вая	монтмориллонитовая		
природный образец	дистиллированная вода	55	110	33	55	22	55
насыщен $\text{Na}^+$	3	54	77	33	47	21	30
	0,5	58	117	33	49	25	68
	0,01	62	314	38	50	24	264
насыщен $\text{Ca}^{2+}$	3	53	83	38	45	15	38
	0,5	56	95	37	55	19	40
	0,01	61	98	37	55	24	44

Для определения пределов пластичности применяют различные методы, которые можно подразделить на прямые и косвенные. Первые основаны на непосредственном измерении величины пластических деформаций грунта, вторые – на определении диапазона влажности, в котором проявляются его пластические свойства.

Величина числа пластичности выражена в процентах. В ГОСТ 25100-95 она приводится в долях единицы.

Широко применяются косвенные методы. Применительно к этим методам разработаны классификации связных грунтов по пластичности (табл. 4) и консистенции (табл. 5).

**Таблица 4** – Классификация глинистых грунтов по числу пластичности (ГОСТ 25100-95)

Наименование видов глинистых грунтов	Число пластичности
Супесь	$1 < I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

**Таблица 5** – Наименование связных грунтов по величине показателя консистенции (по ГОСТУ 25100-95)

Наименование грунтов	Величина показателя консистенции	
Супеси	твёрдые	$I_L < 0$
	пластичные	$0 < I_L < 1$
	текучие	$I_L > 1$
Суглинки и глины	твёрдые	$I_L < 0$
	полутвёрдые	$0 < I_L < 0,25$
	тугопластичные	$0,25 < I_L < 0,50$
	мягкопластичные	$0,50 < I_L < 0,75$
	текучепластичные	$0,75 < I_L < 0,1$
	текучие	$I_L > 1$

Следует иметь в виду, что подобное подразделение грунтов на гранулометрические виды по числу пластичности является весьма условным, так как пластичность связных грунтов зависит, как показано выше, не только от дисперсности, но и от минерального состава, состава обменных катионов и других факторов. Поэтому составлять единую для всех грунтов классификацию, подобную классификации ГОСТ 25100-95, в принципе неверно. К этому вопросу необходимо подходить строго дифференцированно с учётом региональных особенностей химико-минерального состава связных грунтов.

Сопоставление пределов пластичности и естественной влажности грунтов позволяет ориентировочно судить, в каком состоянии они находятся в естественном залегании. Если их влажность не превышает нижний предел пластичности, то грунты находятся в *твёрдой консистенции*. При изменении естественной влажности в диапазоне нижний/верхний пределы пластичности грунты имеют *пластичную консистенцию*. Если влажность грунта превышает величину верхнего предела пластичности, то он находится в *текучей консистенции*. Очевидно, что при таком сравнении не учитывается уменьшение прочности грунтов, вызываемое разрушением естественных структурных связей в процессе перемятия образца глинистой породы при определении пределов пластичности.

Это приводит к недоиспользованию прочности грунтов в естественном состоянии. Майкопская, юрская и многие другие глины при практически полном заполнении их пор водой (влажность 25–35 %) в природном, ненарушенном состоянии производят впечатление твёрдых благодаря наличию сцепления упрочнения. При изучении тех же глин с нарушенным (при бурении) строением они описываются уже как пластичные. Приведённый пример хорошо показывает, что грунты, отнесённые на основании сравнения их естественной влажности с пределами пластичности к пластичным или даже текучим, в условиях естественного залегания могут оказаться «твёрдыми». Однако при

нарушении их естественной структуры они перейдут в пластичное или даже текучее состояние без изменения влажности. В этих случаях целесообразно говорить о скрытопластичной и скрытотекучей консистенции связных грунтов.

В инженерно-геологической практике для приближённой оценки консистенции связных грунтов широко применяют показатель консистенции (ГОСТ 25100-95), который рассчитывается по формуле:

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}, \quad (1)$$

В зависимости от величины этого показателя связные грунты подразделяются в соответствии с классификацией ГОСТ 25100-95 на ряд групп (табл. 5).

Число пластичности используется также для расчёта *показателя пластичности глинистой фракции* (или *коллоидной активности*):

$$K_p = \frac{I_p}{M_c}, \quad (2)$$

где  $M_c$  – процентное содержание глинистых частиц ( $d < 0,005$  мм).

### Определение набухания глинистых грунтов (прибор ПНГ)

Прибор ПНГ (рис. 3) состоит из металлического кольца с насадкой, заточенной с одного конца. Кольцо с исследуемым грунтом плотно надевается на перфорированный донце-диск, к которому прикреплена скоба, удерживающая кольцо в строго фиксированном положении и являющаяся опорой для индикатора деформаций. Ножка индикатора опускается до упора в верхний подвижной перфорированный поршень-штамп. Прибор помещается в ванночку, в которую заливается вода или исследуемый раствор.

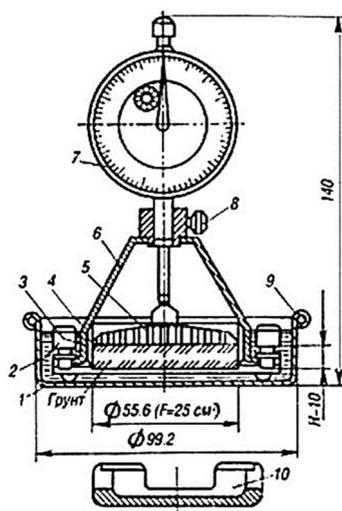


Рисунок 3 – Прибор для определения набухания почв и грунтов

Необходимое оборудование: прибор ПНГ; шаблон для вырезания образца; стеклянный бюкс; технические весы; сушильный шкаф; часы; бумажные фильтры (2 шт.), соответствующие диаметру образца; монолитный нож.

Последовательность определения.

1. С помощью монолитного ножа образец грунта вырезается режущим кольцом в соответствии с требованиями ГОСТ 25100-95, при этом зазоры между грунтом и стенкой рабочего кольца не допускаются. Для испытываемого грунта должны быть определены плотность, плотность минеральной части, исходная влажность, границы текучести и раскатывания, а также гранулометрический состав. Все исходные параметры заносятся в журнал испытаний.

2. С помощью шаблона часть образца выдавливается из насадки и срезается ножом так, что высота образца (исходная) оказывается равной 10 мм. С двух сторон

образец покрывается фильтровальной бумагой и устанавливается на донце прибора. Сверху в насадку устанавливается штамп и укрепляется скоба.

3. С помощью винта устанавливают индикатор в нулевое положение. Собранный прибор аккуратно опускают в ванночку, и прибор устанавливают на жёсткое основание.

4. В ванночку заливают воду (или исследуемый раствор) и фиксируют время начала опыта. Воду наливают до уровня затопления донца и следят за постоянством уровня, периодически доливая воду. После замачивания образца регистрируются деформации через 5, 10, 30, 60 мин. и далее через 2 часа в течение рабочего дня, а затем в начале и конце рабочего дня до достижения условной стабилизации деформаций. В случае отсутствия набухания замачивание производят в течение 3 суток. За начало набухания принимается относительная деформация, превышающая 0,001. За критерий условной стабилизации деформаций свободного набухания принимается абсолютная деформация не более 0,01 мм за 16 часов. Все данные измерений заносятся в журнал.

5. По окончании опыта прибор разбирают, воду сливают, кольцо с влажным грунтом (без фильтров) взвешивают и производят контрольное измерение высоты образца грунта в кольце. Берут пробу на влажность, которую высушивают в термостате при температуре  $105 \pm 2^\circ$ .

Обработка результатов. По результатам проведённых измерений рассчитывается абсолютная деформация набухания  $\Delta h$  (мм) и относительная деформация образца  $\delta = \frac{\Delta h}{h_0}$  (в долях ед. с погрешностью 0,001 для каждого момента времени). По конеч-

ному значению  $\delta$  определяется величина свободного набухания  $\delta_0$ . Строится график зависимости относительной деформации от времени набухания образца. Значение влажности грунта после набухания заносится в журнал.

#### **Определение верхнего предела пластичности методом балансирующего конуса**

*Влажностью верхнего предела пластичности  $W_L$  (или границей текучести глинистого грунта)* называется влажность, выраженная в процентах, при которой грунт переходит из пластичного в текучее состояние. Величина  $W_L$  глинистых грунтов обычно близка к влажности их свободного набухания  $W_n$ , но несколько ниже этого показателя. Как и влажность нижнего предела пластичности  $W_p$ , граница текучести  $W_L$  является характерической влажностью данного грунта, отражающей наличие в нём определённых категорий влаги и проявление пластических свойств в интервале от  $W_p$  до  $W_L$ .

Величина влажности верхнего предела пластичности  $W_L$  используется для оценки числа пластичности  $I_p = W_L - W_p$ , степени текучести (показателя консистенции)

$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$ , оценки расчётных сопротивлений грунтов и устойчивости грунтов в кот-

лованах, выемках и т.п., а также для косвенной характеристики минерального состава, дисперсности и ряда физико-химических свойств, используемых в инженерно-геологических исследованиях.

Влажность верхнего предела пластичности  $W_L$  определяется ударным способом в чашке по Аттербергу, на специальном кулачковом приборе Казагранде, а также по методу А.М. Васильева с помощью балансирующего конуса (по ГОСТ 25100-95), описание которого даётся ниже. Последний метод применим для определения  $W_L$  любых несцементированных грунтов, за исключением тех, которые содержат значительное количество растительных остатков (торфа, перегноя и т.п.).

Необходимое оборудование. Для проведения испытаний применяется стандартный балансирующий конус общей массой 76 г с углом при вершине  $30^\circ$ , габариты которого показаны. Для того чтобы конус, поставленный за ручку на поверхность грунта, не падал в сторону и погружался бы в грунт строго вертикально, он имеет специальное балансирующее приспособление. Кроме того, необходимо иметь: технические весы с разновесами, сушильный шкаф, эксикатор, фарфоровую чашку, стаканчик для пробы грунта диаметром не менее 4 см и высотой не менее 2 см, шпатель, бюксы, сито с отверстиями 0,5 мм.

Последовательность определения  $W_L$ .

1. Образец грунта объёмом около  $5 \text{ см}^3$  при естественной влажности размять шпателем или размельчить пестиком в фарфоровой чашке и затем протереть или просеять (в зависимости от влажности) сквозь сито с отверстиями 0,5 мм.

2. Подготовленный грунт перенести в чашку и увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста при одновременном перемешивании шпателем. Затем чашку с грунтом закрыть плотно крышкой или поместить в эксикатор, на дно которого налита вода, и оставить в таком состоянии на 24 часа для равномерного увлажнения всех частиц грунта.

3. Грунтовую массу ещё раз тщательно перемешать шпателем и заполнить ею стаканчик. Поверхность грунта в стаканчике заровнять шпателем вровень с краями, при этом необходимо следить, чтобы при заполнении стаканчика в грунтовой массе не образовывалось пустот.

4. Поднести к выровненной поверхности грунта острие балансирующего конуса и, опустив конус (без броска), дать ему в течение 5 секунд свободно погружаться в грунтовое тесто под влиянием собственной массы.

5. Если за 5 секунд конус погрузился в грунт на глубину ровно 10 мм (т.е. до риски на конусе), то верхний предел пластичности (граница текучести)  $W_L$  считается достигнутым. Если же конус за 5 секунд погрузился на глубину менее 10 мм, то это показывает, что грунт имеет меньшую, чем требуется влажность. В этом случае грунт из стаканчика вновь перекалывается в фарфоровую чашку, в него вновь добавляется немного воды (по каплям), грунтовое тесто тщательно перемешивается, и затем повторяются операции, указанные в п. 3 и 4.

6. В случае погружения конуса за 5 секунд на глубину, превышающую 10 мм, влажность образца превышает  $W_L$ . В этом случае грунт вынимают из стаканчика снова в чашку и подсушивают на воздухе, перемешивая шпателем. Затем снова повторяют операции, указанные в п. 3 и 4.

7. Когда искомая влажность верхнего предела пластичности достигнута, из стаканчика берут пробу (массой не менее 10 г) и определяют обычным способом её весовую влажность, которая и является  $W_L$ . Взвешивание бюксов ведут на технических весах с точностью до 0,01 г, а вычисления  $W_L$  – с точностью до 1 %. При  $W_L < 30$  % влажность вычисляется с точностью до 0,1 %. Для каждого образца грунта проводится не менее двух параллельных определений, по результатам которых рассчитывается среднее арифметическое значение. Расхождение в результатах параллельных определений допускается не более 2 %. При  $W_L \geq 80$  % расхождение допускается до 4 %. Все данные опыта заносятся в журнал.

#### **Определение нижнего предела пластичности методом раскатывания в шнур**

*Влажностью нижнего предела пластичности  $W_p$  (или границей раскатывания)* называется влажность, выраженная в процентах, при которой глинистый грунт переходит из твёрдого в пластичное состояние. Величина  $W_p$  обычно несколько превышает влажность максимальной молекулярной влагоёмкости  $W_{ММВ}$ . Этот показатель, так же, как и влажность верхнего предела пластичности (граница текучести)  $W_L$ , является характеристической влажностью или пределом, отражающим наличие в глинистом грунте определённых категорий влаги и проявление пластических свойств, которые характерны для глинистых грунтов (глин, суглинков и супесей). Нижний предел пластичности  $W_p$  используется для расчёта числа пластичности  $I_p = W_L - W_p$ , показателя

консистенции (или степени текучести)  $I_L = \frac{W - W_p}{M_p}$ , при классификации глинистых грун-

тов, определении расчётных сопротивлений грунтов, а также для косвенной оценки их минерального состава, дисперсности и ряда физико-химических свойств, что наряду с физико-химическими свойствами, что с простотой его определения обуславливает широкое применение этого показателя инженерно-геологических исследованиях. Необходимо при этом отметить, что величина  $W_p$  отражает проявление пластических свойств грунта в состоянии нарушенной структуры.

Простотой его определения обуславливает широкое применение этого показателя в инженерно-геологических исследованиях. Необходимо при этом отметить, что величина  $W_p$  отражает проявление пластических свойств грунта в состоянии нарушенной структуры.

Для определения  $W_p$  предложено много различных методов, среди которых наибольшее распространение получил метод раскатывания в шнур. В соответствии с ГОСТ 25100-95 данный метод определения  $W_p$  применяется для всех связных грунтов, за исключением тех, которые содержат много растительных остатков (торфа, перегноя, корней растений и т.д.).

Необходимое оборудование. Для определения  $W_p$  необходимо иметь: сито с отверстиями 1 мм, фарфоровую чашку, шпатель, деревянную пластинку с гладкой поверхностью, бюкс, технические весы с разновесами, сушильный шкаф.

Последовательность определения  $W_p$ .

1. Образец грунта объёмом около 50 см<sup>3</sup> при естественной влажности размять шпателем или резиновым пестиком, после чего протереть или просеять (в зависимости от влажности) через сито с отверстиями 1 мм.

2. Перенести грунт в фарфоровую чашку и увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста, одновременно перемешивая грунт. Затем чашку с грунтом закрыть плотно крышкой или поместить в эксикатор, на дно которого налита вода, и оставить в таком положении не менее чем на 2 часа для равномерного увлажнения всех частиц грунта.

3. Образец в чашке ещё раз перемешать, взять из него небольшой кусочек, перемять и раскатать на гладкой деревянной дощечке (или на ладони) до образования жгута диаметром около 3 мм. Если при такой толщине жгут не крошится и не покрывается трещинами, то смять его, перемешать и вновь раскатать до требуемой толщины. Раскатывание проводить, слегка нажимая на жгут.

4. Искомый нижний предел пластичности считается найденным, когда жгут толщиной около 3 мм, начнёт покрываться по всей длине поперечными трещинками и крошиться. Если при любом увлажнении из анализируемого грунта невозможно раскатать жгут толщиной около 3 мм, то считается, что данный грунт не обладает нижним пределом пластичности.

5. Подобранные таким образом кусочки жгута собирают в заранее взвешенный бюкс в количестве не менее 10 г и затем определяют их весовую влажность. Взвешивание производят с точностью до 0,01 г, влажность рассчитывается с точностью до 1 %, а при влажности менее 30 % – с точностью до 0,1 %.

6. Для каждого образца необходимо провести не менее двух параллельных определений. За влажность нижнего предела пластичности (границы раскатывания) образца  $W_p$  принимают среднее арифметическое значение по результатам параллельных определений, расхождение в которых не должно превышать 2 %. При  $W_p > 40$  % допускается разница между результатами параллельных определений 4 %. Результаты определения заносятся в журнал.

### Литература

1. Алексеев А.Ф. Грунтоведение : учебно-метод. пособие / А.Ф. Алексеев, О.М. Гуман. – Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2010. – 98 с.
2. Ананьев В.П. Грунтоведение: учеб. пособие. – Ростов-н/Д. : Ростовский государственный строительный университет, 2008. – 86 с.
3. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология (инженерная петрология). – Л. : Недра, 2010. – 380 с.
4. Полшкова И.Н. Грунтоведение. Механика грунтов : учеб. пособие. – М. : Издательство МГОУ, 2009. – 146 с.
5. Сергеев Е.М. Грунтоведение : учебник. – М. : Издательство МГУ, 2008. – 398 с.
6. Трофимов В.Т. Грунтоведение : учебник. – М. : Издательство МГУ, 2011. – 715 с.
7. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. – М. : Недра, 1975. – 370 с.

### References

1. Alekseev A.F. Soil science: educational and methodological manual / A.F. Alekseev, O.M. Human. – Ekaterinburg : Ural State Mining University, 2010. – 98 p.
2. Ananyev V.P. Soil science : textbook. – Rostov-n/D. : Rostov State University of Civil Engineering, 2008. – 86 p.
3. Lomtadze V.D. Engineering geology (engineering petrology). – L. : Nedra, 2010. – 380 p.
4. Polshkova I.N. Soil science. Soil mechanics : textbook. – M. : Publishing house MGOU, 2009. – 146 p.
5. Sergeev E.M. Soil science : textbook. – M. : Moscow State University Publishing House, 2008. – 398 p.
6. Trofimov V.T. Soil science : textbook. – M. : Moscow State University Publishing House, 2011. – 715 p.
7. Chapovsky E.G. Laboratory work on soil science and soil mechanics. – M. : Nedra, 1975. – 370 p.