

УДК 624.151:550.834.015.2

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ

Моради С.Б.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Излагается сущность наиболее распространенных международных классификаций грунтов: международная классификация грунтов Министерства сельского хозяйства США (USDA), система классификации грунтов Американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO), единая система классификации грунтов (USCS, ASTM D 2487). Приводятся сравнения наименований грунтов по размеру частиц между СТБ 943-93 и ASTM D 2487.

Describes the essence of the most common international soil classification: an international classification of soils U.S. Department of Agriculture (USDA), Soil Classification System of the American Association of State Highway and Transportation (AASHTO), unified soil classification system (USCS, ASTM D 2487) and showed a comparison names of soil particle size between STB 943-93 and ASTM D 2487.

Введение. Классификация грунтов – это систематизация их разных видов по ряду признаков с присвоением каждому из них соответствующего обозначения и представляет собой общий язык для передачи информации.

Объектом классификации грунтов является обеспечение наименования и присвоение им соответствующих символов, например,

G – гравий, основываясь на результатах отбора образцов грунтов и выполненных ключевых испытаний, таких как:

- распределение частиц по размерам (P.S.D.) или анализ состава грунта ситовым методом;
- определение пластических свойств: предела текучести (WL), предела пластичности (WP).

Система классификации грунтов и их наименования в странах СНГ, в том числе и в Беларуси, существенно отличается от имеющихся классификаций стран Западной Европы, таких как Британия, а также северной Америки.

Поэтому при использовании иностранной литературы для правильной интерпретации результатов испытаний, полученных с помощью современных зарубежных установок (статическое зондирование), а также для полноценного общения с учеными разных стран существует необходимость объяснения основных особенностей западных систем классификаций грунтов.

Весьма важным является адаптирование зарубежных классификаций к отечественной, что во многом облегчит интерпретацию показаний различных исследований, а также позволит успешно понимать и использовать зарубежные источники информации в области механики грунтов [1-5]. Сущность и методики международных и отечественной классификации излагаются ниже.

Классификации грунтов по СТБ 943-93 или ГОСТ 25100

В СТБ 943-93 (ГОСТ 25100) проводится расчет содержания фракций по граничным размерам частиц 800, 400, 200, 100, 60, 40, 20, 10, 4, 0.5, 0.25, 0.1 и 0.05 мм.

В этой системе исходя из соотношения в грунте частиц того или иного размера они разделяются на три группы: крупнообломочные, песчаные и пылевато-глинистые грунты.

Физические характеристики, внешний вид и классификация крупнообломочных грунтов зависят от распределения частиц по размерам.

Физические характеристики и внешний вид мелкозернистых грунтов зависят от сцепления и параметров пластичности, которые в свою очередь связаны с минералогическим составом и содержанием воды в грунте.

Мелкозернистые (пылевато-глинистые) грунты классифицируются в соответствии с их пластичностью.

Для удобства классификации частицы, близкие по крупности, объединяются в определенные группы, которым присваиваются соответствующие наименования, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Классификация частиц грунта по размерам

Наименование франкций	Размеры частиц, мм
Крупнообломочные:	
Валуны (окатанные) и глыбы (угловатые)	Более 200
Галька (окатанная) и щебень (угловатый)	200–10
Гравий (окатанный) и дресва (угловатая)	10–2
Песчаные:	
Крупные	2–0,5
Средней крупности	0,5–0,25
Мелкие	0,2–0,05
Пылеватые	0,05–0,005
Глинистые	Менее 0,005

Природные грунты разнородны по своему составу и, соответственно, имеют различные свойства для применения в строительстве. Основное влияние на свойства грунтов оказывает процентное содержание в них глинистых частиц, по которому их разделяют на глины, суглинки, супеси и пески (табл. 2).

Таблица 2

Классификация по количеству глинистых частиц

Наименование грунтов	Содержание глинистых частиц, %
Глина	Более 30
Суглинок	30–10
Супесь	10–3
Песок	Менее 3

Существуют различные классификации размеров частиц грунтов, но наиболее часто используемыми и распространенными являются следующие (рис. 1, табл. 3):

1) Международная классификация грунтов Министерства сельского хозяйства США, предложенная на I Международном конгрессе почвоведов в Вашингтоне в 1927 году (USDA).

2) Система классификации грунтов Американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO).

3) Единая система классификации грунтов (USCS).

4) Классификация грунтов Массачусетского технологического института, предложенная профессором Гилбой (Gilboy) (MIT).

5) Классификация грунтов, используемая в Беларуси СТБ 943-93 (ГОСТ 25100-82).

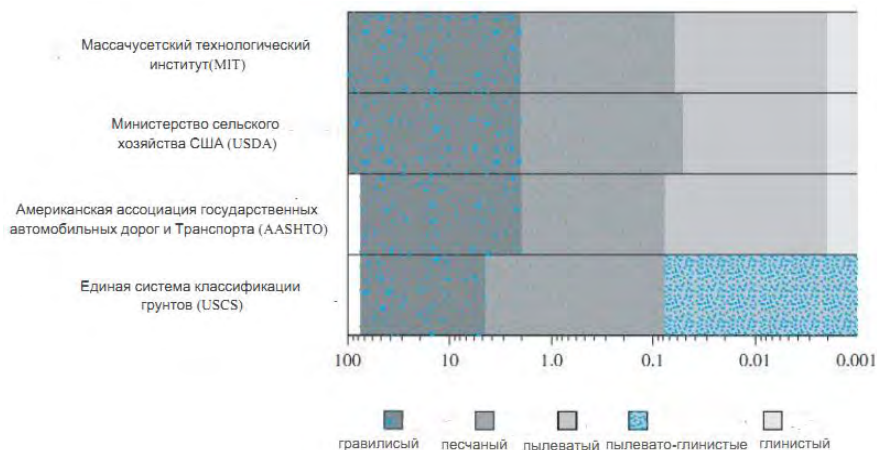


Рис. 1. Пределы размеров частиц грунтов в разных системах зарубежных классификаций

Классификации неоднородных грунтов основаны на распределении частиц по размеру, известные также как текстурные классификации. Наиболее известна из них треугольная международная классификация грунтов Министерства сельского хозяйства США (USDA), показанная на рис. 2. Она основана на процентном соотношении частиц песка, пыли и глины в составе грунта.

Классификация частиц грунтов по размерам

Название классификаций	Размер частиц (мм)			
	Крупнообломочные	Песчаные	Пылеватые	Глинистые
Классификация Массачусетского технологического института (MIT)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	< 0,002
Международная классификация грунтов Министерства сельского хозяйства США (USDA)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	< 0,002
Система классификации грунтов Американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	< 0,002
Единая система классификации грунтов (USCS);(Американская военная корпорация инженеров и Американского общества по испытаниям и материалам)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	мелкозернистые грунты (т.е. пылеватые и глинистые) < 0,075	

Данная классификация разработана для сельскохозяйственных целей и необходимо понимать, что эта система отличается от тех, которые используются в геотехнике. Также необходимо обратить внимание, что приведенные в данной классификации подразделения не соответствуют тем, которые определены в других системах, и поэтому глины и пыли в данной классификации отличаются размером частиц, не соответствуя пределам Аттерберга.

Для применения данной классификации необходимо найти общий вес песка, пыли и глины и определить удельный вес каждой составляющей в процентах от общего веса. Затем, используя треугольник (рис. 2), осуществить классификацию грунтов.

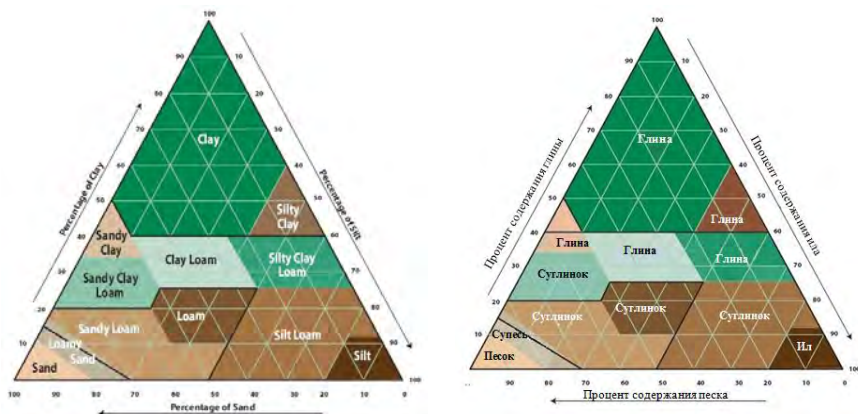


Рис. 2. Классификация грунтов Министерства сельского хозяйства США (USDA)

Система классификации USDA предполагает, что грунт не содержит частиц размером более 2,0 мм. Однако, если грунт все же содержит частицы более 2,0 мм, то требуется определенная коррекция, чтобы подвести процент песка, пыли и глины до 100%. Например, если исследуемый грунт содержит 20% частиц размером более 2 мм, фактическая сумма процентов песка, пыли и глины составит 80. Если же образец грунта содержит 16% песка, 24% пыли и 40% глины, то исправленные проценты получаются умножением каждого показателя на коэффициент $100/80$. В результате получим 20, 30 и 50%. Далее этот грунт классифицируют на основе скорректированных процентов.

Система классификации грунтов Американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO)

Одна из первых систем классификации грунтов была создана Карлом Терцаги (Terzaghi) и Авардом Хогентоглером (Hogentogler) в 1928 году и была предназначена специально для дорожного строительства. В настоящее время она известна как система классифи-

кации грунтов Американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO).

Данная система использует гранулометрический состав и классифицирует грунты по пределу Аттерберга, чтобы назначить классификационную группу и группу индексов для грунта. Такие группы варьируют от А-1 ("хорошие грунты") до А-8 ("плохие грунты"). Группы со значением индекса около 0 указывают на "хороший грунт", в то время как значения 20 и более свидетельствуют об очень слабых грунтах. Тем не менее, грунт может быть "хорошим" для использования в дорожном строительстве, но при этом быть "очень слабым" для других целей, и наоборот.

Сама система рассматривает только ту часть грунтов, которые прошли через 3-дюймовое сито. Если какие-либо частицы не проходят через это сито, то их процентное содержание должно быть записано и отмечено в соответствии с классификацией.

При работе с данной системой необходимо использовать табл. 4 для определения классификационной группы. Начинать необходимо с левой стороны от А-1-а и проверять каждый из приведенных критериев. Если все действия выполнены, то определяется классификационная группа. Когда какой-либо критерий не удовлетворяется, то необходимо сделать шаг вправо и повторять процесс до тех пор, пока все критерии не будут удовлетворены. Не следует начинать расчет с середины таблицы или графика.

Далее необходимо вычислить индекс классификационной группы с помощью уравнения:

$$(F-35) [0.2+0.005(wL - 40)] + 0.01(F-15)(IP - 10) \quad \phi \quad (1)$$

где F – содержание мелких частиц (выраженное в процентах); W_L – предел текучести; I_p – число пластичности.

При оценке индекса группы для грунтов А-2-6 или А-2-7 используется только второе слагаемое в уравнении (1). Для всех грунтов необходимо выражать индекс группы в виде целого числа. Полу-ченный индекс группы меньше нуля указывают как ноль.

Таблица 4

Система классификация грунтов AASHTO

Система классификации грунтов Американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO M 145 или ASTM D3282)												
Общая классификация	Крупные частицы (35% или меньше прошедшие 0,075 мм через сито)							Пылевато-глинистые частицы (>35% прошедшие 0,075 мм через сито)				Высоко органические
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		A-8
Группа классификации	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Гранулометрические испытания, % прошедших через сито												
2.00 mm (№ 10)	50 max	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0.425 (№ 40)	30 max	50 max	51 max	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0.075 (№ 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min	
Характеристики фракции прошедшие 0,425 мм (№ 40)												
Границы текучести	...	...	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min		
Число пластичности	6 max	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min		
Обычные типы со значительным составляющим грунтом	Каменные фрагменты, гравий и песок	Мелкие пески	Пылеватый или глинистый гравий и песок				Пылеватые грунты		Глинистые грунты		Торф	

В конце, выражают классификацию грунтов по AASHTO как группу классификации (A-1 по A-8), а затем приводится индекс группы в скобках. Например, грунт с группой классификации A-4 и индексом группы 20 будет представлен как A-4 (20).

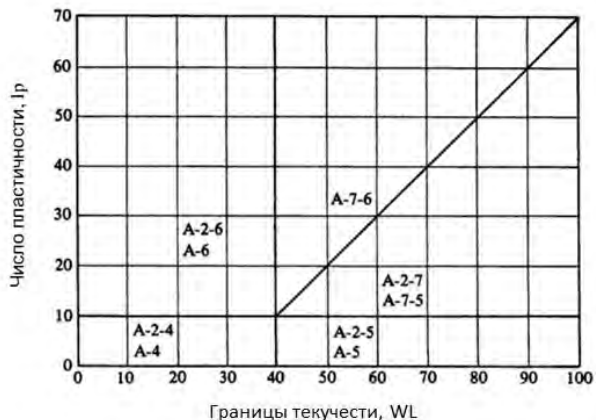


Рис. 3. Диапазон пределов текучести и пластичности для грунтов в группах А-2, А-4, А-5, А-6 и А-7 в АASHTO М 145 (или ASTM D 3282)

Первое слагаемое в уравнении (1) представляет собой частный индекс группы, определенный по пределу текучести. Второе слагаемое представляет частный индекс группы, определяемый по показателю пластичности.

Ниже приведены некоторые правила для определения индекса группы:

- Если уравнение (1) дает отрицательное значение для GI , то он принимается равным нулю.
- Индекс группы, рассчитанный по формуле (1), округляется до ближайшего целого числа, например, $GI = 3,4$ округляется до 3; $GI = 3,5$ округляется до 4.
- Не существует верхнего предела для индекса групп.
- Индекс группы грунтов, относящихся к группам А-1-а, А-1-б, А-2-4, А-2-5 и А-3, всегда будет равен нулю.
- Если для грунтов, относящихся к группам А-2-6 и А-2-7, вычисляется частный индекс группы PI , то необходимо использовать формулу

$$GI = 0,01 (F-15) (PI-10) (2)$$

Единая система классификации грунтов (USCS или ASTM D-2487)

Артур Касагранде разработал новую систему классификацию грунтов для армии США во время Второй мировой войны (Касагранде, 1948). С тех пор она была обновлена и сейчас закреплена в стандарте ASTM D 2487 как единая система классификации грунтов (USCS). В отличие от системы AASHTO, USCS не ограничивается каким-либо конкретным видом проекта, Эта система применима для разных целей, благодаря чему стала наиболее распространенной среди геотехнических инженеров. Для классификации крупнообломочных и песчаных грунтов по стандартам ASTM D 2487 определяют содержания фракций по граничным размерам частиц: 300, 76.2, 19, 4.75, 0.425 и 0.075 мм.

В своем первоначальном виде классификация состояла только из двух или четырех групп буквенных символов. Затем система была улучшена путем добавления нескольких названий для каждой группы символа. Например, типичная классификация USCS будет:

SM – пылеватый песок с гравием, где "SM" является символом группы, а "пылеватый песок с гравием" является названием группы.

Положение типа грунтов в названии группы указывает, что это относительное значение, а именно:

Существительное – первичный компонент

Прилагательное – вторичный компонент (или дополнительное объяснение основного компонента)

"с" – третичный компонент.

Например, в глинистых песках с гравием имеется песок как наиболее важный компонент, глина как вторичный, и гравий, как третий по значимости. Если присутствует незначительное количество какого-то типа грунта, то он не включается в название группы. Например, глинистый песок похож на описанный грунт, за исключением того, что содержит меньше 15% гравия.

В единой системе используются следующие символы для идентификации:

Обозначение	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Описание	гравий	песок	пыль	глина	органические пыли и глина	торф	высокая пластичность	низкая пластичность	однородный	неоднородный

Для использования единой системы классификации грунтов следует соблюдать такую последовательность действий:

1. Определить, относится ли грунт к сильно органическому или нет. Если да, то этот грунт имеет следующие характеристики:

- состоит в основном из органического материала;
- имеет темно-коричневый, темно-серый или черный цвет;
- имеет органический запах, особенно во влажном состоянии;
- имеет мягкую консистенцию.

Кроме того, волокнистый материал (остатки дерева, листьев, корней и т.д.) часто бывают очевидны в грунте.

Если грунт не имеет таких характеристик, то необходимо перейти к шагу 2.

Однако, если вышеперечисленные характеристики имеются, то грунт необходимо классифицировать следующим образом:

- Обозначение группы: Pt;
- Название группы: Торф.

2. Провести испытание с помощью сита для определения распределения частиц в грунте. Для неофициальной классификации распределение размеров частиц может осуществляться на основе визуального осмотра.

3. На основании распределения частиц по размерам необходимо определить процент совокупности пропускания через сито частиц диаметром 3 дюйма, сита №4 и №200, а затем рассчитать проценты по весу гравия, песка и мелких частиц, используя определения в табл. 1.

4. Если 100% грунта проходит через сито диаметром 3-дюйма, то необходимо перейти к шагу 5, а если нет, то основываться на классификации той части грунта, которая проходит через это сито.

5. Если 5% или более грунта проходит через сито №200, необходимо провести испытания по Аттербергу, чтобы определить пределы текучести и пластичности.

6. Если грунт мелкозернистый (т.е. > 50% проходит через сито № 200), необходимо следовать в направлении для мелкозернистых грунтов. Если грунт крупнозернистый (т.е. <50% проходит через сито № 200), необходимо следовать указаниям для классификации крупнозернистых грунтов (рис. 4 и 5).

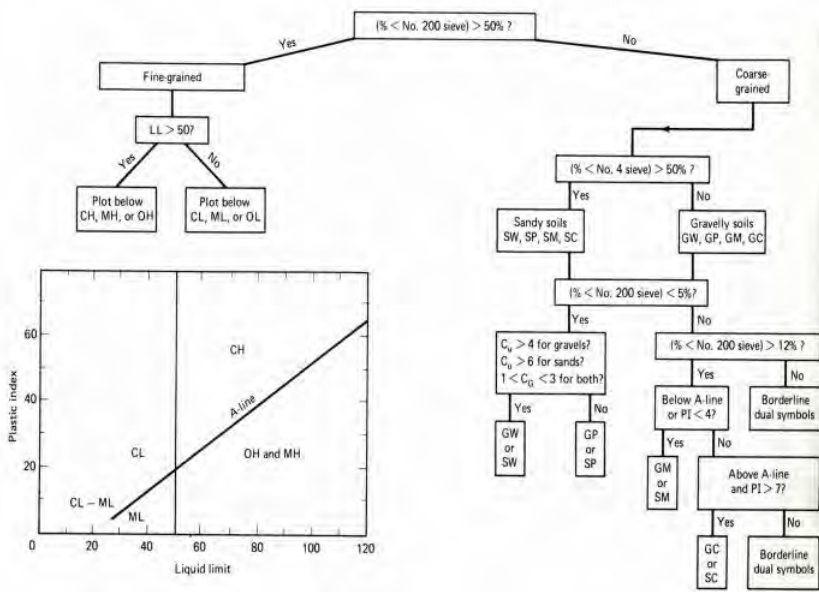


Рис. 4. Алгоритм классификации грунтов по единой системе классификации грунтов (USCS)

Отнесение грунтов к органическим или неорганическим производится по содержанию в них органического вещества, определяемого при сжигании. При содержании органического вещества $< 5\%$ грунт относится к минеральным (inorganic soil) и классифицируется как CH, CL, MH или ML. При содержании органического вещества $\geq 5\%$, грунт относится к органо-минеральным (organic soil) и классифицируется как OH или OL.

При содержании органического вещества $> 50\%$ проводится дополнительный ситовой анализ (сито 2 мм) и определяется количество неразложившейся органики (не прошедшей через сито). При содержании неразложившейся органики $> 50\%$ грунт относится к торфам (Pt), а при содержании неразложившейся органики $\leq 50\%$ – к заторфованным грунтам.

Сравнивая самую распространенную систему классификации грунтов (USCS) (ASTM D 2487) с предусмотренной СТБ 943-93 (ГОСТ 25100), можно сопоставить размеры гранулометрических фракций (табл. 5).

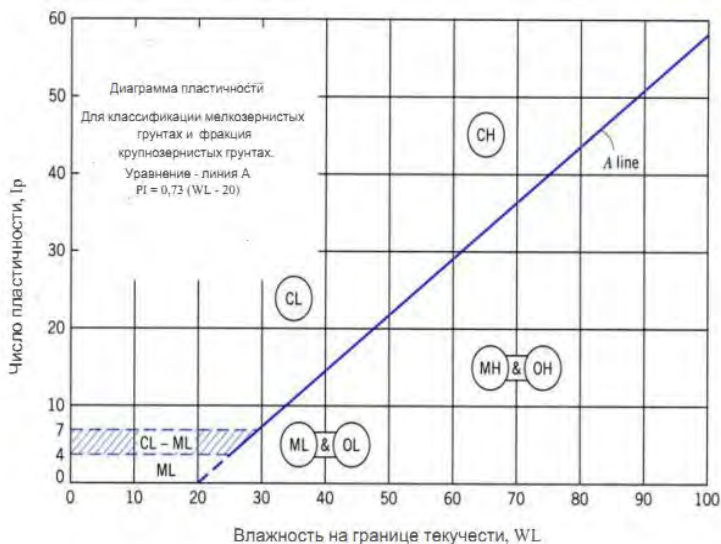


Рис. 5. График пластичности грунтов (Plasticity Chart) по ASTM D2487: Условные обозначения: CH – fat clay, CL – lean clay, ML – silt, MH – elastic silt, CL-ML – silty clay, OH – organic clay with high plasticity, OL – organic clay with low plasticity. Линия А отделяет пыль от глины

Сравнение наименования грунтов по размеру частиц по двум системам приведены в табл. 6. В табл. 7 приведено сравнение наименований грунтов по содержанию глинистых частиц.

В настоящее время нет не только общепринятой научным сообществом классификации грунтов, но и отсутствуют единые номенклатурные построения и методические подходы. Это приводит к тому, что даже при экспериментальном подходе к систематике грунтов исследователи применяют различные методы и критерии для группировки грунтов. При этом в классификациях, отличающихся между собой по принципиальным вопросам, часто используются одни и те же названия, что создает дополнительные трудности.

Таблица 5

Сопоставление размеров гранулометрических фракций, определяемых по стандартам ГОСТ 25100 и ASTM D 2487

КРУПНОБЛОМОЧНЫЕ ГРУНТЫ																	
Размер частиц, мм	800	630	400	300	200	100	76,2	63	60	40	20	19	10	6,3	4,75	4	2
ГОСТ	Валуны, глыбы				Галька, щебень						Гравий, дресва						
	крупные	средние	мелкие		крупные	средние	мелкие		крупные	крупные	средние	мелкие					
ASTM	Boulders				Cobbles			Gravel									
								coarse			fine						

ПЕСКИ																	
Размер частиц, мм	4,75	2	0,63	0,5	0,425	0,25	0,2	0,1	0,075	0,063	0,05	0,02	0,063	0,005	0,002		
ГОСТ	Песок												Пыль		Глина		
	гравелистый	крупный			средней крупности			мелкий			пылеватый						
ASTM	Sand												Silt		Clay		
	Coarse		Medium			Fine											

Таблица 6

Наименование грунтов по размеру частиц

ASTM D 2487		СТБ 943-93 (ГОСТ 25100)	
Наименование грунта	Размер частиц, мм	Наименование грунта	Наименование грунта
Coarse Gravel	> 6	10 – 2	Гравий
Fine Gravel	6 – 2		
Coarse Sand	2 – 0,2	2 – 0,5	Песок крупный
		0,5 – 0,25	Песок средний
Fine Sand	0,2 – 0,02	0,25 – 0,1	Песок мелкий
		0,1 – 0,05	Песок тонкий
Silt	0,02 – 0,002	0,05 – 0,005	Пылеватые
Clay	< 0,002	< 0,005	Глинистые

Таблица 7

Сравнение наименования грунта по содержанию глинистых частиц

ASTM D 2487		СТБ 943-93		
Наименование грунта		Содержание глинистых частиц, %		Наимен. грунта
Sands	sand	< 10 and commonly < 5	< 3%	Песок
	Loamy sand	5-10	3-10	Супесь
	Clayey sand	5-10	3-10	
Sandy Loams	Sandy loam	10-15	10-30	Суглинок
	Fine sandy loam	10-20		
	Light sandy clay loam	15-20		
Loams	Loam	about 25		
	Loam, fine sandy	about 25		
	Silt loam	about 25 with > 25% silt		
	Sandy clay loam	20-30		
Clay loams	Clay loam	30-35	> 30	Глина
	Silty clay loam	30-35, with > 25% silt		
	Fine sandy clay loam	30-35		
Light Clay	Sandy clay	35-40		
	Silty clay	35-40, with > 25% silt		
	Light clay	35-40		
	Light medium clay	40-45		
Medium – heavy clays	Medium clay	45-55		
	Heavy clay	> 50		

Поэтому в международном сотрудничестве возникает необходимость предусмотреть определение гранулометрического состава грунтов двумя методами – белорусским и международным, – с соответствующими пояснениями.

Литература

1. ГОСТ 25100 – 2011. Грунты . Классификация. .
2. СТБ 943-93. Грунты, Классификация. Стандарт Республики Беларусь – 1993.
3. Ухов, С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов. – М., 1994.
4. Das, V. M. Principles of geotechnical engineering. – 5th edition. – 2006
5. ASTM D 2487. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes. – 2001.