

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВ**

БУДАНОВА Т.Е.

Зав. отделом исследований физических свойств грунтов ООО «Мостдоргеотрест», Москва  
*budan2000@mail.ru*

ОЗМИДОВ О.Р.

Президент ООО «Мостдоргеотрест», к.г.-м.н., д.ф.-м.н., академик РАЕН, Москва  
*ozmidov@mail.ru*

ОЗМИДОВ И.О.

Начальник отдела инновационных технологий и систем управления ООО «Мостдоргеотрест», Москва  
*ozmidov.i@mail.ru*

### **Аннотация**

Статья представляет собой обзор современных методов гранулометрического анализа грунтов, наиболее часто применяемых при рутинных испытаниях. Рассматривается влияние способов подготовки проб на результаты анализа. В качестве альтернативы привычным технологиям исследований рассматривается метод лазерной дифрактометрии. Проводится сравнительный анализ результатов, полученных разными методами

### **Ключевые слова**

Гранулометрический состав грунта; лазерная дифрактометрия; эквивалентная сфера; рефракция; абсорбция; распределение частиц по массе

### **Введение**

Гранулометрический состав является одним из важнейших классификационных признаков грунтов, напрямую зависящим от их генезиса, возраста и условий формирования породы. С другой стороны, он во многом обусловливает физические, физико-химические и физико-механические свойства осадочных пород, которые чаще всего являются основаниями сооружений и объектами изучения в процессе проведения инженерно-геологических изысканий.

Определение гранулометрического состава грунтов является важной составляющей лабораторных исследований при проведении инженерно-геологических изысканий. Оценка грансостава имеет большое значение для изучения многих особенностей грунтов. Вопросы его определения неоднократно обсуждались в учебно-методической литературе по грунтоведению.

Практика рутинных исследований использует только часть методов, позволяющих определить гранулометрический состав грунта, и каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. При рутинных исследованиях важна точность испытаний, однако немаловажными факторами являются также простота пробоподготовки и скорость проведения испытаний, сходимость и воспроизводимость результатов, внутрилабораторная и межлабораторная повторяемость.

Обзору применяемых на практике методов определения грансостава грунта и посвящена данная статья.

## Гранулометрический состав как классификационный признак

Существует множество различных классификаций грунтов, каждая из которых имеет свои цели и задачи. В основе каждой из них лежит некоторый признак, который является ключом ранжирования.

Для инженерных целей в Российской Федерации принятая классификация, регламентированная общегосударственным стандартом ГОСТ 25100-2011 [1]. В ней имеется два различных подхода к ранжированию дисперсных отложений для инженерных целей - для связных и несвязных грунтов.

Связные грунты принято подразделять по числу пластичности и показателю текучести. Обусловлено это тем фактом, что существует тесная связь между многими свойствами таких отложений (особенно прочностными) и числом пластичности в совокупности с консистенцией. Гранулометрический состав связных грунтов в инженерной практике часто не приводится и определяется только в специально оговариваемых случаях, например, если в процессе инженерных изысканий попадаются нерасчлененные толщи грунтов или если данные о гранулометрическом составе необходимы для принятия решений, связанных с технологией проведения работ.

Несвязные грунты ранжируются по гранулометрическому составу. Наименования мелкодисперсным отложениям присваивают в зависимости от того, какая фракция является преобладающей. Крупнообломочные грунты классифицируют по гранулометрическому составу и по степени окатанности [1].

В странах Европейского Союза и в США, а также в ряде стран, работающих по европейским и американским стандартам, гранулометрический состав является основным классификационным признаком, который позволяет давать наименования грунтам. Данный подход позволяет использовать один универсальный принцип классификации для всех дисперсных грунтов - и связных, и несвязных. Один и тот же грунт будет иметь различные наименования по стандартам международных организаций ASTM и ISO, однако с методологической точки зрения эти различия несущественны, так как использованный классификационный признак будет один и тот же - гранулометрический состав. Возможно, это и является предпосылкой того, что исследователи многих стран стараются найти более быстрые и удобные автоматизированные методы его определения.

## Методы отбора и подготовки проб

В отборе пробы для анализа существенным является ее объем для обеспечения представительности образца.

Степень разделения существенно зависит от выбранного метода диспергирования - это может быть растирание, размачивание, кипячение и даже использование ультразвука разной мощности. И во всех случаях при дальнейшем проведении эксперимента даже одним и тем же методом мы получим, вообще говоря, разные результаты.

Наиболее эффективным методом диспергирования является подготовка проб при помощи ультразвука, но степень разделения при этом в существенной мере зависит от мощности ультразвука и длительности обработки пробы. Чем дольше мы воздействуем им на пробу, тем в большей степени разделяются частицы - сначала на агрегаты, затем на микроагрегаты, а потом отдельные частицы даже дробятся, что для определения гранулометрического состава является неприемлемым.

Стандартная пробоподготовка для выделения фракций с размером частиц менее 0,1 мм производится путем размачивания, кипячения в воде с добавлением аммиака и растирания исходного образца, а для грунта, суспензия которого коагулирует при опробовании на коагуляцию, - путем его растирания и добавления пирофосфорнокислого натрия (так называемой стандартной диспергации).

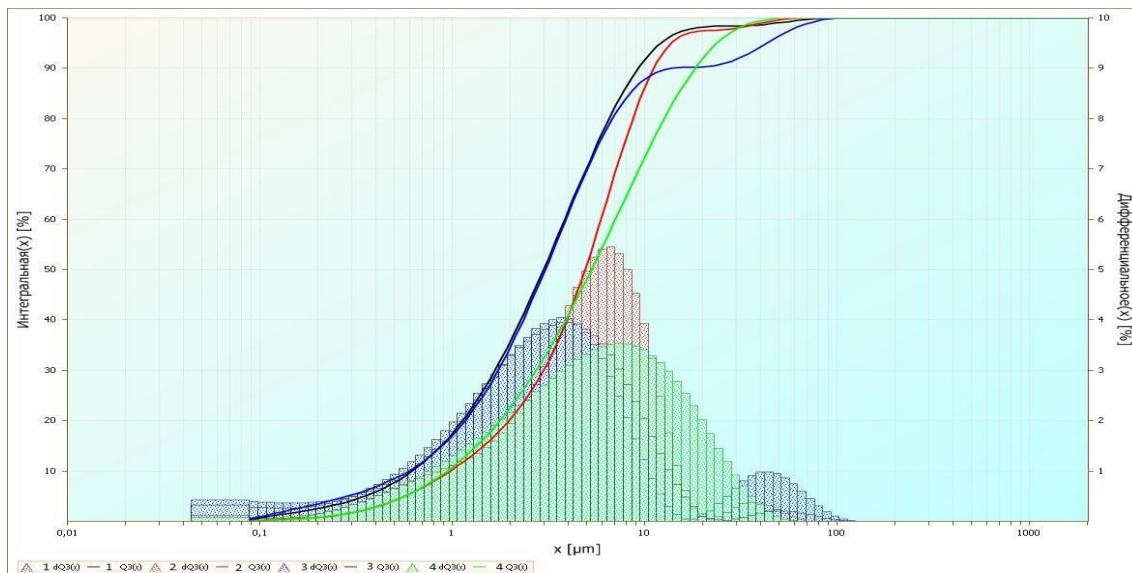
Для определения гранулометрического состава глинистого грунта в производственных лабораториях принято подготавливать пробы кипячением в воде с добавлением пирофосфорнокислого натрия.

Нельзя однозначно утверждать, что именно после такой пробоподготовки не остается ни одного агрегата частиц (естественного или образованного в процессе пробоподготовки из склеившихся частиц). Скорее, можно утверждать, что четкое следование стандартам в производстве обеспечивает внутрилабораторную и межлабораторную сходимость и воспроизводимость результатов экспериментов.

Для того чтобы определить, как влияет способ пробоподготовки на результаты определения гранулометрического состава, авторами был проведен следующий эксперимент. Образцы для исследований были отобраны из одного монолита глины  $C_3dr$  и подготовлены к эксперименту различными способами, регламентированными разными стандартами. Пробоподготовка проводилась следующим образом:

- образец № 1 был взят при естественной влажности ( $I_c=0,56$ ) (стандартная подготовка, рекомендованная ГОСТ 12536-79);
- образец № 2 с естественной структурой был высушен при  $105^\circ$ ;
- из образца № 3 предварительно была приготовлена паста, потом он также был высушен;
- образец № 4 с естественной структурой был высушен до воздушно-сухого состояния, потом растерт пестиком с резиновым наконечником (стандартная подготовка, рекомендованная ASTM D 421).

Затем все образцы были подготовлены путем растирания грунта с добавлением пирофосфорнокислого натрия и исследованы в одинаковых условиях одним и тем же способом - с использованием метода лазерной дифрактометрии на анализаторе Analysette-22 в лаборатории ООО «Мостдоргеотрест». На рисунке показаны результаты определений гранулометрического состава в виде интегральных кривых и дифференциальных распределений. Представленные на рисунке графики показывают, что результат определения гранулометрического состава существенно зависит от метода пробоподготовки.



**Рис.** Интегральные кривые распределения частиц и гистограммы дифференциального распределения фракций грунта по размерам в образцах, подготовленных в соответствии с требованиями различных методик

В таблице 1 показаны те же результаты в том виде, в каком они обычно отражаются в инженерно-геологических отчетах. Хотелось бы обратить внимание на различие в результатах для образцов 1 и 4, возникшее вследствие того, что их пробоподготовка была выполнена по рекомендациям двух разных стандартов - ГОСТ 12536-79 и ASTM D 421.

Из данных, представленных в табл. 1, можно сделать вывод о том, что не всегда простой пересчет в интервалы размеров частиц, регламентированные разными стандартами, можно считать корректным. Это может иметь значение, если заказчику работ важно получить результат испытаний, проведенных регламентированным методом, подразумевающим в том числе определенную пробоподготовку.

**Табл. 1**

Сравнение гранулометрического состава образцов глины, подготовленных разными способами

Размер частиц, мм	№ образца			
	1	2	3	4
Менее 0,005	70,3 1	51,0 1	69,7 8	48,1 1
0,005-0,01	21,3 6	35,2 2	18,0 2	24,1 9
0,01-0,05	7,41 2	13,4 2	8,64 1	27,6
0,05-0,1	0,90	0,35	3,47	0,09
0,1-0,25	0,02	0,00	0,08	0,00
Более 0,25	0,00	0,00	0,00	0,00

### Методы определения гранулометрического состава

Выбор метода определения гранулометрического состава существенно зависит от вида пробы, целей определения, необходимой точности результатов. Эти методы можно разделить на ситовые, седиментационные, полуэмпирические, оптические (счетной микроскопии), лазерной дифрактометрии.

*Ситовой* метод характеризуется следующими особенностями:

- 1) данный метод подходит только для проб, не обладающих связностью;
- 2) наименьший размер частиц, анализируемых с помощью этого метода, составляет 0,10-0,05 мм (это связано с тем, что технологически сделать сито с меньшим диаметром ячеек очень сложно и дорого; к тому же пропустить частицы через сито диаметром менее 0,05 мм практически невозможно);
- 3) размер и форма ячеек сита зависит от размера структурных элементов пробы, а также от требований к результатам;
- 4) размер и форма самих сит, а также время проведения испытаний существенно зависят от вида пробы и способа пробоподготовки.

К *седиментационным (классическим)* относятся такие методы, как ареометрический пипеточный, отмучивания и др., в основе которых лежит закон Стокса о разности скорости осаждения частиц в жидкости в зависимости от их размеров.

Седиментационные методы применимы для частиц диаметром менее 0,05 мм. Какой из методов применяется в лаборатории, зависит от требуемой точности результатов и сложившейся практики. Применение закона Стокса для разделения грунта на фракции подразумевает ряд следующих допущений:

- 1) плотность всех частиц в опыте одинакова;
- 2) частицы сферические, твердые и гладкие;
- 3) частицы не взаимодействуют друг с другом в процессе опыта;
- 4) стенки цилиндра не влияют на движение частиц;
- 5) наличие частиц в жидкости не изменяет ее вязкость.

Каждое из этих допущений вносит свою погрешность в результаты метода определения гранулометрического состава грунта. Точность измерений также вносит дополнительную погрешность. В конечном итоге мы получаем результат, который не всегда отражает реальное положение вещей, не говоря уже о том, что сходимость и воспроизводимость результатов лабораторных испытаний в данном случае достаточно низка.

Интересные данные приводятся в статье [5]. Ее авторами пипеточным методом были отобраны частицы требуемой величины, а потом с помощью микроскопа был определен их реальный размер. В результате оказалось, что эти частицы имеют вовсе не ту величину, которая ожидалась, причем эта разница является довольно существенной.

К **полуэмпирическим** методам относится полевой метод Рутковского и подобные ему, которые дают приближенное представление о гранулометрическом составе грунта. В основу метода Рутковского положены различная скорость осаждения частиц в воде в зависимости от их размера и способность глинистых частиц набухать в воде. С помощью этого способа выделяют три основные фракции - глинистую, песчаную и пылеватую. Песчаная фракция отмучивается. Содержание глинистой фракции оценивается с помощью эмпирических таблиц, выраждающих зависимость увеличения объема осадка в цилиндре от содержания глинистых частиц.

Данный способ имеет низкую точность ввиду того, что, во-первых, набухание обуславливается не только количеством глинистых частиц, но и прежде всего их минералогическим составом, а во-вторых, в самом этом методе заложено два разных принципа разделения частиц разного размера.

**Оптическая (световая) микроскопия** является прямым счетным методом получения результатов гранулометрического анализа. При помощи микроскопа определяются форма и размер частиц грунта и подсчитывается их количество. Этот метод давно и широко используется в различных отраслях производства - в медицине, микробиологии, металлургических, горно-обогатительных, пищевых и других производствах.

При соответствующих исследованиях метод оптической микроскопии может быть применен и для определения гранулометрического состава почв и грунтов [2]. Также он давно и успешно используется в литологических исследованиях пород. К достоинствам световой микроскопии можно отнести возможность анализа с ее помощью не только размеров частиц, но и их формы. Однако и этот метод не лишен недостатков: оборудование стоит достаточно дорого, пробоподготовка является длительной, для правильной интерпретации результатов персоналу требуется значительный опыт.

В основе метода **лазерной дифрактометрии** лежит принцип отклонения лазерного луча на разные углы при отражении от частиц разного размера. Затем на основе обработки и анализа интерференционной картины делаются выводы о гранулометрическом составе. Теоретические основы этого метода, а также допущения,

принимаемые при его использовании, будут рассмотрены в следующем разделе, а здесь кратко отметим его достоинства и недостатки.

К достоинствам лазерной дифрактометрии можно отнести высокую скорость получения результатов, их хорошие сходимость и воспроизводимость. На данный момент этот метод достаточно хорошо автоматизирован. На рынке представлена широкая линейка приборов, позволяющих проводить определение гранулометрического состава грунтов данным способом, и эти приборы работают надежно, стабильно и с успехом применяются в различных отраслях промышленности - в фармацевтике, пищевой промышленности, производстве строительных материалов.

К особенностям этого метода можно отнести следующее.

1. Лазерная дифрактометрия чувствительна к форме частиц. И, поскольку форма некоторых частиц в природных грунтах далека от сферы, их несферичность вносит существенный вклад в результаты измерений

2. Несмотря на заверения производителей оборудования о том, что диапазон измерений очень широк (5-6 порядков), нельзя не отметить, что измерения на лазерном дифрактометре наиболее чувствительны к частицам определенного размера. Масса пробы, анализируемой прибором, зависит от вида грунта и находится в пределах от 0,1 г для глин до 3-4 г для песков. Обеспечить представительность пробы при такой маленькой навеске для неоднородных по гранулометрическому составу грунтов достаточно сложно. Увеличение массы навески иногда приводит к пересыщенности анализируемого раствора, а это недопустимо. В природных грунтах соотношение частиц разных размеров может быть практически любым, и это создает определенные трудности при испытаниях методом лазерной дифрактометрии. Безусловно, всегда есть возможность разделить образец на несколько фракций и проанализировать их по отдельности, а после испытаний путем несложных расчетов получить общий результат. Однако это усложняет пробоподготовку и, что немаловажно в производстве, удлиняет время проведения испытаний.

Метод лазерной дифрактометрии для определения размеров частиц на данный момент является наиболее перспективным для установления гранулометрического состава грунтов.

### Теоретические основы метода лазерной дифрактометрии

Статическое рассеяние лазерного света также называется лазерной дифракцией, дифракцией Фраунгофера или рассеянием Ми, а измерения, использующие это явление, - лазерной дифрактометрией. В процессе взаимодействия лазерного света с частицей наблюдаются следующие процессы: дифракция, рефракция, отражение и поглощение света. Особенности этих процессов характеризуют величину частиц, и расчет влияния каждого из них на рассеяние света лежит в основе метода расчета размеров частиц грунта.

Если частица больше, чем длина волны падающего света (для частиц размером до нескольких микронов), то происходит преимущественно процесс дифракции. Угол дифракции увеличивается по мере уменьшения размеров частиц. Данный феномен описан теорией Фраунгофера и называется дифракцией Фраунгофера. В лазерных дифрактометрах для определения размеров частиц используется прежде всего эта теория. Прибор измеряет распределение интенсивности светового луча в прямом направлении для малых углов ( $<35^\circ$ ), и эта информация используется для расчета распределения размеров частиц.

Таким образом, если все частицы в пробе больше, чем длина световой волны, то при расчетах их размеров используется теория Фраунгофера, которая является частным случаем более общей теории Ми.

Если размер частиц равен или меньше длины волны падающего света, то гораздо больше света рассеивается по сторонам под углами, превышающими  $35^\circ$ , и отражается

назад. Это явление относительно оптических свойств частиц (рефракции и абсорбции) описывает теория Ми. Чем меньше частицы, тем выше роль рефракции и абсорбции в рассеянии света.

Для определения размеров частиц, которые меньше длины волн падающего света, рассеянный свет должен детектироваться под большими углами. Интерпретация результатов, полученных с помощью модели рассеяния света по теории Ми, распространяется на весь диапазон величины частиц, включая их размеры, при которых происходит дифракция Фраунгофера (как частный случай).

В соответствии с теорией Ми можно использовать единый метод расчетов для полного спектра размеров частиц, однако использование данного способа требует знания коэффициента абсорбции материала. Определение коэффициента абсорбции частиц, из которых состоят глинистые грунты, задача достаточно сложная - прежде всего потому, что эти частицы могут быть различными по минералогическому составу и величина абсорбции для них может быть очень разной [4].

### Принципы анализа размеров частиц

Немаловажным для понимания результатов гранулометрического анализа является то, что мы подразумеваем под словосочетанием «размер частицы» - ее объем, диаметр или массу. Этот вопрос становится особенно актуальным, когда мы пытаемся сравнить результаты, полученные разными методами, основанными на различных принципах определения размера частиц. Если частица не является идеальной сферой, то данный вопрос перестает быть тривиальным. Все зависит от того, какой параметр, характеризующий ее размер, мы измеряем и по какому параметру сравниваем две частицы разной формы.

Допустим, частица имеет форму цилиндра. В этом случае есть два линейных параметра, которые обуславливают ее размер, - диаметр и высота цилиндра. Обычно требуется узнать, сколько частиц размером менее какого-то значения присутствует в образце. Какое из этих значений (диаметр или высоту, если они различны) будет характеризовать линейный размер этой частицы? В этом случае используется понятие эквивалентной сферы, имеющей такой диаметр, при котором ее объем равен объему анализируемой частицы. Именно диаметр такой сферы считается в данном случае линейным размером частицы. Чем больше отношение высоты цилиндра к его диаметру, тем больше разница между диаметром эквивалентной сферы и любым из этих двух размеров цилиндра.

При использовании лазерной дифрактометрии в качестве диаметра частицы используется именно диаметр эквивалентной сферы.

### Представление данных о гранулометрическом составе

Данные о гранулометрическом составе образца в производственных ведомостях обычно представляются в виде таблицы, отражающей массовое распределение частиц разных размеров, условно разделенных на классы.

Программное обеспечение лазерного дифрактометра представляет данные в виде таблицы, графика дифференциального распределения частиц по размерам и интегральной кривой. Весь интервал размеров частиц от 0,08 до 2000 мкм разбит на большое количество отрезков, и дифференциальное распределение частиц по размерам дает практически уникальную картину для каждой отдельной литологической разности, которую можно сравнить с отпечатком пальца и использовать в качестве идентификационного признака.

## Сравнение результатов, полученных разными методами

Сравнению результатов определения гранулометрического состава грунтов, полученных седиментационными (классическими) методами и с использованием лазерной дифрактометрии, посвящено достаточное количество как отечественных, так и зарубежных работ [2, 4-6]. Более 300 проб грунтов было исследовано в этих целях и в геотехнической лаборатории «Мостдоргеотрест» (ООО «Мостдоргеотрест»), которую представляют авторы данной статьи.

Для сравнения результатов определения гранулометрического состава, полученных разными методами, авторами были выполнены серии опытов. Были отобраны образцы разного литологического состава, проанализированы принятыми в практике методами ( ситовым и ареометрическим) и с помощью лазерного дифрактометра - анализатора Analysette-22.

В таблице 2 приведены результаты анализа гранулометрического состава пылеватых песков, полученные ситовым методом и путем лазерной дифрактометрии. Нетрудно увидеть, что разница в полученных результатах достаточно существенна. Опыт показывает, что чем более мелкими фракциями представлен песок (чем больше в нем пылеватых и глинистых частиц), тем более значительна разница между результатами испытаний указанными методами.

**Табл. 2**

Сравнение гранулометрического состава пылеватого песка, определенного разными методами

№ образца	Фракция (размер частиц, мм)	Содержание фракции, %, определенное методом		Разница Δ, %
		лазерной дифракто- метрии	ситовоы м	
1	менее 0,005	21,7	29,4	21, 3
	0,005- 0,01	12,4		
	0,01-0,05	12,3		
	0,05-0,1	4,2		
	0,1-0,25	26,5	32,6	-6,2
	0,25-0,5	20,1	27,0	-6,9
	0,5-1,0	2,8	9,0	-6,2
	1,0-2,0	0,0	2,1	-2,1
2	менее 0,005	21,9	53,1	4,1
	0,005- 0,01	13,5		
	0,01-0,05	10,8		
	0,05-0,1	11,0		
	0,1-0,25	31,4	29,0	2,4
	0,25-0,5	11,1	14,8	-3,7
	0,5-1,0	0,4	2,3	-1,9
	1,0-2,0	0,0	0,8	-0,8

Вторая серия опытов была проведена на образцах глинистых грунтов. Пробоподготовка осуществлялась согласно предписаниям ГОСТ 12536-79, и после проведения ареометрического анализа суспензия из цилиндра заново перемешивалась. Из нее отбиралась средняя проба, которая также исследовалась с помощью анализатора Analysette-22. Таким образом обеспечивалась одинаковая пробоподготовка, чтобы иметь возможность проанализировать влияние на результаты испытаний метода исследования. Результаты этой серии опытов представлены в табл. 3. Их анализ не позволяет выявить какую-то одну закономерность, которая помогла бы сопоставить данные, полученные классическими методами и путем лазерной дифрактометрии. Факторов, обуславливающих разницу между ними, достаточно много, и каждый из них вносит свою долю в конечный результат.

**Табл. 3**

Сравнение гранулометрического состава глинистых грунтов, определенного разными методами

Грунт	Глубина залегания, м	Размер частиц, мм	Содержание частиц, %, определенное методом			Разница, $\Delta$ , %
			ареометрическим и ситовым	ареометрическим	лазерной дифрактометрии	
Суглинок пластичный	5,5	< 0,005	15,6	25,2	35,6	10,4
		0,005-0,010	7,5	12,1	25,9	13,8
		0,010-0,050	20,6	33,3	35,5	2,2
		0,050-0,100	18,1	29,3	3,0	-26,3
		0,10-0,25	27,5	-	-	-
		0,25-0,50	9,1	-	-	-
		0,5-1,0	1,6	-	-	-
		1,0-2,0	0,0	-	-	-
		< 0,1	61,8	-	-	-
Глина пластичная	2,7	< 0,005	42,8	42,8	53,4	10,6
		0,005-0,010	11,9	11,9	23,8	11,9
		0,010-0,050	34,8	34,8	22,8	-12,0
		0,050-0,100	9,4	9,4	0,0	-9,4
		0,10-0,25	1,1	-	-	0,0
		0,25-0,50	0,0	-	-	0,0
		0,5-1,0	0,0	-	-	0,0
		1,0-2,0	0,0	-	-	0,0
		< 0,1	100,0	-	-	0,0
Суглинок легкий	5,5	< 0,005	24,3	26,7	35,1	8,4
		0,005-0,010	9,7	10,7	25,5	14,8
		0,010-0,050	39,6	43,5	37,6	-5,9
		0,050-0,100	17,4	19,1	1,8	-17,3
		0,10-0,25	7,0	-	-	0,0
		0,25-0,50	1,8	-	-	0,0
		0,5-1,0	0,3	-	-	0,0
		1,0-2,0	0,0	-	-	0,0

		< 0,1	91,0	-	-	0,0
Суглинок тяжелый	2,7	< 0,005	33,8	40,4	41,7	1,3
		0,005-0,010	11,3	13,5	28,9	15,4
		0,010-0,050	19,2	23,0	29,1	6,2
		0,050-0,100	19,3	23,1	0,3	-22,8
		0,10-0,25	16,0	-	-	0,0
		0,25-0,50	0,4	-	-	0,0
		0,5-1,0	0,0	-	-	0,0
		1,0-2,0	-	-	-	0,0
		< 0,1	83,6	-	-	0,0
Суглинок тяжелый	1,5	< 0,005	21,8	27,4	18,7	-8,6
		0,005-0,010	10,9	13,7	28,1	14,5
		0,010-0,050	21,8	27,4	42,4	15,1
		0,050-0,100	25,2	31,6	10,7	-20,9
		0,10-0,25	17,5	-	-	0,0
		0,25-0,50	2,0	-	-	0,0
		0,5-1	0,5	-	-	0,0
		1,0-2,0	0,3	-	-	0,0
		< 0,1	79,7	-	-	0,0
Супесь песчанистая	1,0	< 0,005	14,0	43,6	40,3	-3,4
		0,005-0,010	6,4	19,9	24,2	4,2
		0,010-0,050	11,5	35,8	34,6	-1,2
		0,050-0,100	0,2	0,6	1,0	0,4
		0,10-0,25	61,6	-	-	0,0
		0,25-0,50	5,7	-	-	0,0
		0,5-1,0	0,6	-	-	0,0
		1,0-2,0	-	-	-	0,0
		< 0,1	32,1	-	-	0,0
Глина легкая	2,2	< 0,005	44,5	45,2	46,9	1,7
		0,005-0,010	22,8	23,2	27,3	4,1
		0,010-0,050	21,7	22,1	25,7	3,7
		0,050-0,100	9,4	9,6	0,1	-9,5
		0,10-0,25	1,1	-	-	0,0
		0,25-0,50	0,5	-	-	0,0
		0,5-1,0	0,0	-	-	0,0
		1,0-2,0	0,0	-	-	0,0
		< 0,1	98,4	-	-	0,0
Суглинок тяжелый	5,3	< 0,005	22,4	23,3	39,3	16,0
		0,005-0,010	8,0	8,3	24,9	16,5
		0,010-0,050	41,6	43,2	32,2	-11,0
		0,050-0,100	24,2	25,2	3,6	-21,5
		0,10-0,25	3,6	-	-	0,0
		0,25-0,50	0,2	-	-	0,0
		0,5-1,0	0,0	-	-	0,0
		1,0-2,0	0,0	-	-	0,0
		< 0,1	96,2	-	-	0

## Заключение

Различия в результатах определения гранулометрического состава проб грунта с использованием разных способов иногда бывают достаточно существенными. Они обусловлены прежде всего различиями в принципах, на которых базируются разные методы. И ни один из этих методов не дает результатов, которые без всяких допущений можно было бы признать полностью соответствующими истине.

Испытания, проводимые в производственных лабораториях, по возможности, не должны быть длительными и трудоемкими. И если результаты исследований, полученные с помощью лазерной дифрактометрии (в том числе, учитывая то, что она не занимает много времени), позволяют оценивать свойства и обусловленное ими поведение грунта, то применение этого метода в практике изысканий будет оправданным и целесообразным.

## Список литературы

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 2011.
2. Конончук П.Ю. Адаптация метода оптической счетной микроскопии для определения гранулометрического состава почв: автореф. дис. ... канд. сельско-хоз. наук. СПб.: Изд-во Агрофизического НИИ Россельхозакадемии, 2009.
3. Кулижский С.П., Коронатова Н.Г., Артымук С.Ю., Соколов Д.А., Новокрецентных Т.А. Сравнение методов седиментометрии и лазерной дифрактометрии при определении гранулометрического состава почв естественных и техногенных ландшафтов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. С. 21-31.
4. Статическое рассеяние лазерного света / Retsch Technology: официальный сайт компании Retsch Rus LLC. 2013. URL: <http://www.retsch-technology.ru/ru/rt/applications/technical-basics/static-laser-light-scattering/>.
5. Beuselinck L., Govers G., Poesen J., Degraer G., Froyen L. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method // Catena. 1998. V. 32. № 3. P. 193-208.
6. Konert M., Vandenberghe J. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction // Sedimentology. 1997. № 44. P. 523-535.
7. Taubner H., Roth B., Tippkötter R. Determination of soil texture: comparison of the sedimentation method and the laser-diffraction analysis // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2009. № 172. P. 161-171.

**Выходные данные:** Журнал «Инженерные изыскания», №8/2013, С. 66-73