

**ЛАЗЕРНАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ-АЛЬТЕРНАТИВА СОВРЕМЕННЫМ МЕТОДАМ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ  
ГРУНТОВ**

**Е.В. Синегубова<sup>1</sup>**

Научные руководители доцент С.Н. Лавров<sup>1</sup>, доцент В.В. Крамаренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

С помощью анализа гранулометрического состава оценивается количественное соотношение структурных элементов твердой компоненты разного размера. По его результатам судят о дисперсности грунтов, а также проводят их классифицирование. Кроме того, гранулометрический состав дает структурную характеристику грунта, позволяет судить о происхождении породы, оценивать некоторые свойства грунта (фильтрационные, физико-химические и др.), оценивать грунт как строительный материал [6].

Различные методы гранулометрического анализа, широко используемые в практике исследований, имеют общие и собственные погрешности, такие как погрешность при взвешивании частиц, колебания плотности частиц грунта, изменение температуры, вязкости и плотности суспензии и т.д. Немаловажными факторами являются также простота подготовки и скорость проведения испытаний. Таким образом, проблемы, связанные с определением гранулометрического состава являются весьма актуальными.

В качестве альтернативы общепринятым методам исследований рассматривается метод лазерной дифрактометрии на примере дифракционного лазерного анализатора модели SALD-2300 производства SHIMADZU (Япония), представленного на рис. 1.



*Рис. 1. Лазерный анализатор модели SALD-2300 SHIMADZU (Япония)*

Целью данной работы является оценка существующих методик определения гранулометрического анализа грунтов и применяемого на практике оборудования.

Для этого необходимо решить ряд задач:

- обзор и систематизация методов;
- обзор оборудования.

Гранулометрический состав характеризует предельную дисперсность грунта и поэтому при проведении анализа данного грунта необходимо перевести его частицы в состояние первичной дисперсности, что достигается использованием различных методов подготовки [6].

Гранулометрическим (зерновым) составом называется весовое содержание частиц различной крупности, выраженное в процентах по отношению к массе сухой пробы, взятой для анализа [7].

В настоящее время для определения гранулометрического анализа состава грунтов используют три группы методов.

Первая группа основана на выделении образующих грунты фракций (ситовой, пипеточный, метод центрифугирования и т.д.) - это прямые методы, позволяющие непосредственно выделить необходимые фракции, взвешивать и определять их процентное содержание в грунте.

Методы, относящиеся ко второй группе, предусматривают прямой обмер и подсчет частиц под микроскопом с помощью автоматических устройств и т.д.

К третьей группе относятся косвенные методы, позволяющие оценить параметры гранулометрического состава без выделения исследуемых фракций, по оценке изменения физических свойств приготовленной суспензии (ареометрический, седиментологический, фотоседиментографический методы и т.п.).

В ГОСТ 12536-79 [7] установлены методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава при исследовании грунтов для строительства. Песчаные грунты изучаются ситовым методом с промывкой водой и без промывки. Для глинистых грунтов основной метод определения гранулометрического состава - ареометрический. Пипеточный метод рекомендуется применять лишь для специальных целей [2].

В настоящее время развивается, в большей степени за рубежом, и используется для определения размеров частиц метод лазерной дифрактометрии, в основе которого 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 грунта.

Сопоставлению и сравнению результатов определения гранулометрического состава грунтов, полученных классическими методами и лазерной дифрактометрией посвящено множество отечественных и зарубежных работ [3-5]. На сегодняшний день существует ряд приборов, работающих на основе метода

лазерной дифрактометрии, которые имеют различные постоенные узлов и часто отличаются по механизму пробоподготовки и способу регистрации дифракционной картины, но работают по единой схеме. Согласно статье [1], специалистами ООО «Мостдоргеотрест» проведены испытания для определения гранулометрического состава глин с различными способами пробоподготовки грунта на приборе Analysette-22. Авторы пришли к выводу, что различия в результатах определения гранулометрического состава проб грунта с использованием разных способов иногда бывают существенными за счет различных факторов.

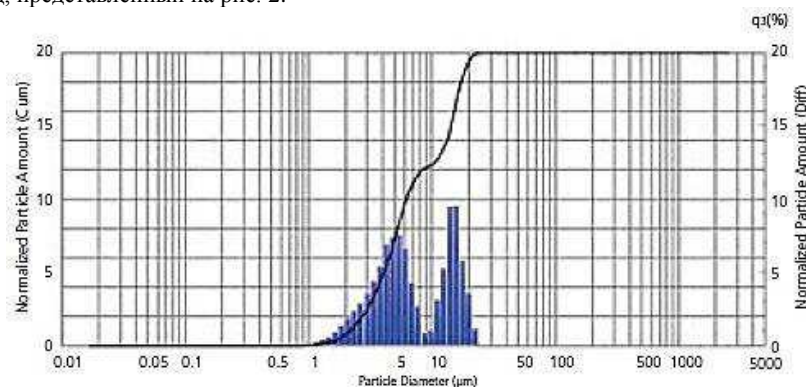
Конструкция прибора модели SALD-2300 позволяет проводить анализ проб грунтов в виде суспензий. Исследование заключалось в изучении размеров частиц, взятых из проб песчано-глинистых грунтов (песка, супеси и суглинка). Подситовой диапазон размера частиц (менее 2 мм, или менее 63 мкм) был взят на анализ.

В лабораторных условиях были проведены параллельные испытания для 33 проб песчано-глинистых грунтов ситовым, ареометрическим методом и лазерной дифрактометрией. Пробоподготовка велась следующим способом:

1. Образец песка был подготовлен к анализу в сухом виде (высушен при комнатной температуре) и в виде образца естественной влажности;
2. Образец супеси был взят при естественной влажности и подготовлен к анализу в виде пасты и в виде образца естественной влажности;
3. Образец суглинка был взят при естественной влажности и подготовлен к анализу в виде пасты и в виде образца естественной влажности.

Пробы грунта массой 2 грамма были помещены в сосуд для диспергирования, который включает в себя мешалку и ультразвуковой диспергатор. Насос подаёт диспергированную суспензию в проточную ячейку, далее 84-элементный детектор улавливает преломленный и рассеянный свет и позволяет быстро провести измерения и получить результат. Наличие подвижного основания проточной ячейки, насоса для подачи жидкости и опции авторазбавления значительно облегчает процесс анализа.

Программное обеспечение лазерного дифрактометра позволяет представлять данные в виде таблиц, графиков дифференциального распределения частиц по размерам и интегральных кривых. Кривая распределения частиц имеет вид, представленный на рис. 2.



**Рис.2. Кривая распределения частиц и гистограмма дифференциального распределения фракций грунта по размерам в образце**

Необходимо отметить, что при проведении анализа песчано-глинистых грунтов независимо от способа подготовки к анализу (по ГОСТ 12536-79, или иные способы подготовки) и метода определения (ситовым, ареометрическим методом и лазерным дифрактометром) суммарное содержание песчаных частиц позволяет точно проводить классификацию грунта, согласно ГОСТ 25100-2011 и давать номенклатуру грунта.

В данном исследовании независимо от способа пробоподготовки прибор позволяет быстро и качественно проводить гранулометрический анализ песчано-глинистых грунтов. Достоинствами лазерной дифрактометрии и прибора SALD-2300 являются: широкий диапазон измерения от 0,017 до 2500 мкм, высокая скорость получения результатов, маленькая масса пробы для анализа, удобный и понятный интерфейс программного обеспечения. Метод лазерной дифрактометрии на сегодняшний день является наиболее перспективным для установления гранулометрического состава грунтов.

Таким образом, возникает необходимость в создании комплексной методики определения гранулометрического состава грунтов методом лазерной дифрактометрии, более детально провести исследования и выявить зависимость результатов испытаний от пробоподготовки грунта.

#### Литература

1. Буданова Т.Е., Озмидов О.Р., Озмидов И.О. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов// Инженерные изыскания. – Москва, 2013. - № 8. – С. 66–71.
2. Дмитриев В.В., Ярғ Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов. – М.: КДУ, 2008. – 542 с.
3. Beuselink L., Govers G., Poesen J., Degraer G., Floyen L. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method // Catena, 1998. – V.32. – № 3. – P. 193–208.
4. Конончук П.Ю. Адаптация метода оптической счетной микроскопии для определения гранулометрического состава почв: Автореферат. Дис. ... канд. сельско-хоз. наук. – СПб, 2009г. – 21 с.

5. 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.
6. Трофимов В.Т. Грунтоведение. – М.: МГУ, 2005. – 1024 с.
7. ГОСТ 12536–79 Грунты. Методы определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Издательство стандартов, 1989.

## ПОСТОЯННО-ДЕЙСТВУЮЩАЯ МОДЕЛЬ ГРУНТОВЫХ ВОД ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ (Г.КИШИНЕВ, РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА)

А.Н. Тимошенкова

Научный руководитель заведующий лабораторией гидрогеологии и инженерной геологии  
К.Е. Морару

*Институт геологии и сейсмологии Академии наук Молдовы, г. Кишинев, Республика Молдова*

Впервые для территории г. Кишинева была составлена цифровая модель движения и режима уровней грунтовых вод. В качестве программного обеспечения была использована модель ModFlow, которая предполагает решение уравнения в частных производных поведения уровня воды в водоносном горизонте под влиянием природных и антропогенных факторов. Полученные данные могут быть представлены как постоянно действующая модель грунтовых вод территории города. Наше исследование является продолжением и дополнением проведенных ранее работ [1,2,3].

Концептуальная модель грунтовых вод г. Кишинева была представлена в виде типовых гидрогеологических разрезов. Модель имеет следующие гидрогеологическое описание и обобщения:

1. Грунтовый водоносный горизонт является однослойным;
2. Водоупором служат мощные толщи среднего и верхнего сармата, которые литологически сменяются с водораздельных пространств в сторону отрицательных форм рельефа. Глины, теоретически, приняты как водонепроницаемые;
3. Сверху водоносный горизонт повсеместно перекрыт водопроницаемой зоной аэрации;
4. Водообмен водоносного горизонта имеет место через зону аэрации и боковые границы. Снизу (через водоупор) водообмен незначителен и численно равен нулю.

Используемая нами компьютерная модель ModFlow основана на решении алгоритма уравнения в частных производных поведения уровня (или напора) воды в водоносном горизонте, под влиянием комплекса природных и геологических факторов. Такого типа алгоритмы используют метод конечных разностей решения дифференциальных уравнений для отдельных малых участков. Для этого необходимо дискретизировать исследуемую территорию на небольшие прямоугольные участки. Это достигается путем покрытия территории равномерной сетью (grid). Центр каждой ячейки используется для численного решения алгоритма модели ModFlow, и обобщение данных соответствует методу “скользящего окна”.

В зависимости от целей настоящего исследования и степени гидрогеологической изученности, территория города и сопредельных площадей были покрыты сетью 90 x 90 ячеек, с размером последних 200 x 200 м. Это соответствует условиям математической модели и топографического масштаба 1:10 000.

Граничные условия (или границы области фильтрации) для модели представлены следующими математическими условиями:

Граничные условия первого ряда (условия Дириклета) – известен напор (уровень) грунтовых вод

Граничные условия второго ряда (условия Ньютмана) – граница водопроницаема или на ней известен расход водного потока

Граничные условия третьего ряда (смешанные) – расход водного потока на заданной границе рассчитывается в зависимости от напора (уровня) воды и фильтрационных параметров.

В модели ModFlow граничные условия для грунтового водоносного горизонта были заданы при помощи процедур IBOUND и MODFLOW. Моделирование уровней грунтовых вод г. Кишинева было осуществлено в двух вариантах: в природных (steady state) и техногенных (transient condition) условиях. Для первого варианта моделирование природных условий (еще условно-природных), принимается концепция и допущение, что водоносный горизонт находится в равновесии. В таком случае, с точки зрения гидрогеодинамики статьи ПРИХОД и РАСХОД воды равны между собой, и для горизонта отсутствуют возмущающие факторы (эксплуатация, осушение и т.д.).

Для второго варианта, моделирование техногенных условий, уровни водоносного горизонта функционально зависимы от времени и изменяющихся начальных условий (дополнительная инфильтрация, откачка воды, испарение, транспирация и др.). В зависимости от наличия исходных данных и цели модели, существующие УГВ города, были сгруппированы в три временные выборки: 1948-1965 гг., 1966-1985 гг., 1986-2002 гг.

Процедура составления модели УГВ г. Кишинева в условно-природных, гидрогеологических условиях включала следующие этапы работ:

1. Проверка исходных данных и их ввод в электронные таблицы модели;
  2. Калибровка модели;
  3. Оценка результатов моделирования;
  4. Анализ чувствительности модели, по отношению к динамическим и статистическим параметрам
- Обобщенная характеристика данных и параметров модели приведена в таблице.