

нии / С. В. Босаков, С. И. Зиневич, О. В. Козунова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 4 (279). – С. 2–5.

5. Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Силицын. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.

6. Ржаницын, А. Р. Строительная механика / А. Р. Ржаницын. – М. : Высшая школа, 1991. – 439 с.

УДК 624.2

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДООТДАЧИ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВ ПО ЕВРОПЕЙСКИМ И НАЦИОНАЛЬНЫМ ПОДХОДАМ**

*ИГНАТОВ С. В., КВЕЦЕНЬ С., КОВАЛСКА М.,*

ООО «НПЦ Строительство», г. Минск, Республика Беларусь;  
Сленская политехника, г. Гливице, Республика Польша

**Введение.** В связи с переработкой национальной строительной технической правовой базы и вводом строительных норм и правил возникает необходимость переработки сопутствующих документов в области проведения изысканий, лабораторных исследований по определению характеристик грунтов.

Так 13 мая 2021 года состоялось заседание Технического комитета по стандартизации ТКС 02 «Основания и фундаменты, инженерные изыскания» при РУП «Стройтехнорм», на котором была определена необходимость в переработке СТБ 943-2007 «Грунты. Классификация» [1].

Основное решение, принятое на заседании касалось необходимости гармонизации национальной классификации характеристик грунтов с классификациями Евразийского экономического сообщества и Европейского комитета стандартизации.

Эта задача в дальнейшем приводит к необходимости пересмотра существующих ГОСТов по проведению классификационных исследований грунтов, гармонизации их с новой классификацией и т. д.

**Подходы к классификации грунтов.** Исторически сложилось, что между классификациями, действующими на территориях

Евразийского экономического сообщества и Европейского комитета стандартизации имеются принципиальные отличия в подходе по определению наименования грунтов, и как следствие, в способах проведения лабораторных исследований.

Так первичная классификация европейских норм грунтового массива базируется на способе формирования грунта: натурального или антропогенного происхождения; белорусские нормы во главу угла ставят класс по характеру структурных связей. Подход по классификации грунтов в соответствии с европейскими нормами проходит по приведенной в ИСО блок схеме, показанной на рис. 1.

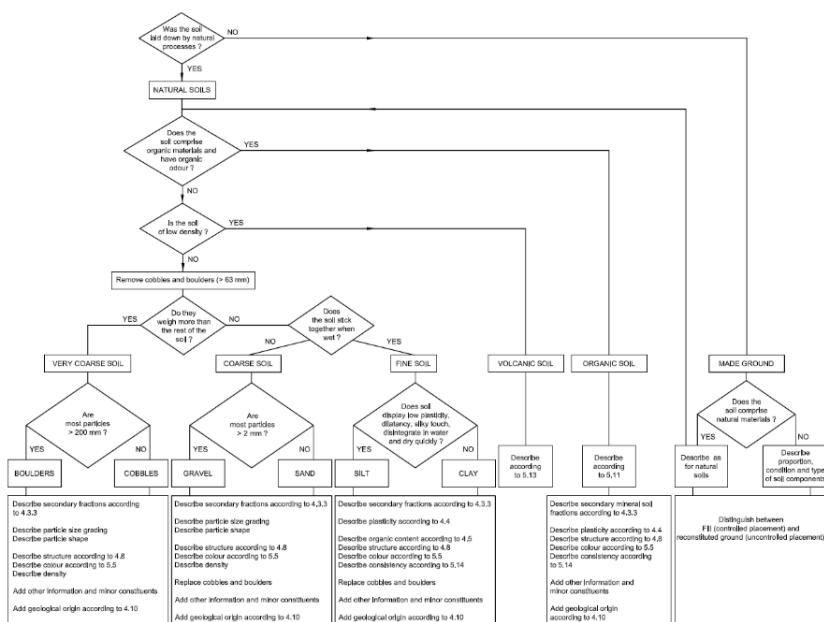


Рис. 1. Подход к классификации грунтов в соответствии европейскими стандартами [2]

Из рисунка видно, что разделение грунтов в соответствии с нормами европейского стандарта происходит по шагово:

- 1) определяется истории формирования грунта: грунт природного или же искусственного образования;
- 2) устанавливается наличие органической составляющей в грунте;

3) определяется не характеризуется ли грунт пониженной плотностью;

4) определяется его гранулометрический состав, после чего задается наименование грунта.

В целом, в европейском подходе к строительной классификации грунтов отсутствует учет истории формирования.

В Республике Беларусь классификация грунтов происходит исходя из класса структурных связей.

Из выше приведенного рисунка видно, что классификация грунтов для целей строительства включает следующие характеристические единицы, выделяемые по группам признаков:

- класс – по характеру структурных связей;
- группа – по происхождению (генетическое подразделение первого порядка);
- подгруппа – по условиям образования (генетическое подразделение второго порядка)

Далее происходит классификация каждой из подгрупп по своим особенностям:

- по типу – по петрографическому и гранулометрическому составу, числу пластичности; и также по совокупности признаков;

- по виду – по структуре, текстуре, составу цемента и примесей, содержанию заполнителя и включений, гранулометрическому составу и степени его неоднородности, пористости, относительному содержанию органического вещества, зольности торфа, по способу преобразования, степени уплотнения от собственного веса, возрасту намывного грунта;

- по разновидности – по физическим, механическим, химическим свойствам и состоянию.

Отличительной особенностью белорусской классификации является то, что в наименовании грунтов в Беларуси указывается их характеристика по прочности по результатам статического и динамического зондирования (песчаные бывают прочные, средней прочности и малопрочные; глинистые – очень прочные, прочные, средней прочности, слабые), по температуре и по коэффициенту пористости (песчаные грунты – плотный, средней плотности, рыхлый).

Грунты, с которыми сталкиваются строители, часто характеризуются различными характеристиками, включающие как физические, так и механические и деформационные показатели.

Описание основных методов исследований характеристик грунтов (без учета специфических характеристик, таких как химический состав, засоленность грунтов и т. д.) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Лабораторные исследования дисперсных грунтов

Наименование параметра	Национальный подход			Европейский подход		
	Крупнообломочные	Песчаные	Глинистые	Крупнообломочные	Песчаные	Глинистые
Гранулометрический состав	+	+	с	+	+	+
Петрографический состав	с	-	-	с	+	+
Минеральный состав	с	с	с	+	+	+
Определение общей площади частиц грунта	с	с	с	с	+	с
Показатель максимальной неоднородности	-	+	-	+	+	+
Состав и содержание заполнителя	+	-	-	+	-	-
Содержание включений	-	-	+	-	+	+
Плотность	+	+	+	+	+	+
Максимальная плотность	с	с	с	с	+	+
Плотность в предельно плотном и рыхлом состояниях	с	с	-	+	+	+
Плотность частиц грунта	+	+	+	+	+	+
Природная влажность		+	+	+	+	+
Степень влажности	+	+	-	С	с	с
Границы текучести и раскатывания	с	-	+	-	-	+
Число пластичности и показатель консистенции	-	-	+	-	-	+
Определение предела (влажности) усадки (w <sub>S</sub> )	-	-	-	-	-	+
Коэффициент фильтрации	с	с	с	+	+	с

*Примечание:* «+» — определение выполняется; «-» — определение не выполняется; «с» — определение выполняется по отдельному заданию»

**Исследование влажности.** Одним из важных показателей характеристик грунта является их влажность. При ее определении, также имеются отличия в подготовке образцов и проведении испытаний.

Отличия в подходах к определению влажности грунта, определяющие его физическое состояние, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Отличия в исследовании влажности

	Европейский подход	Национальный подход
Песчаные грунты		
Масса образца, гр	30–100	15–20
Температура, °С	105–110 °С.	105+/-2
Время, ч	До постоянной массы и не менее 4 часов.	3
Глинистые грунты		
Масса образца, гр	30	15–20
Температура, °С.	105–110 °С.	105+/-2
время, ч	До постоянной массы и не менее 16 часов	5

**Примечание:** постоянная масса – это изменение массы не более 0,1 % между двумя замерами за один час.

В целях анализа влияния факторов вид грунта и массы образца в соответствии с требованиями [3, 4] были проведены сопоставительные лабораторные исследования. Высушивались образцы глинистого и песчаного грунтов массами грунта во влажном состоянии 15, 30, 50, 75 и 100 грамм, различных влажностей: песков от 1 до 22 %, глинистых грунтов – от 5 до 35 %.

По результатам обработки методами математической статистики полученных результатов были выведены формулы для определения требуемого времени для сушки образцов массой от 15 до 100 грамм до достижения ими постоянной массы:

– песчаные грунты:

$$t = 1,7864 \ln M - 3,282, \text{ ч}; \quad (1)$$

– глинистые грунты:

$$t = 1,7864 \ln M - 1,532, \text{ ч}, \quad (2)$$

где  $t$  – требуемое время для высушивания образца до постоянной массы, ч;

$M$  – масса влажного образца, гр.

**Исследование гранулометрического состава.** В результате анализа действующих нормативных документов в области проведения лабораторных исследований гранулометрического состава [5, 6] было определено, что общие подходы по определению гранулометрического состава похожи друг на друга.

Таблица 3

Перечень исследований, выполняемых для определения гранулометрического состава

Национальный подход		Европейский подход	
Наименование метода	Границы применимости	Наименование метода	Границы применимости
Ситовой, без промывки водой	Пески с крупностью зерен от 10 до 0,5 мм	Ситовой (Sieving method)	Для частиц размерами 2-0.063
Ситовой, с промывкой водой	Пески с крупностью зерен от 10 до 0,1 мм	Арео-метрический (Hydrometer method)	<0,063
Арео-метрический	Глинистые грунты	Пипеточный (Pipette method)	<0,063
		С применением реагентов (Reagents)	<0,063

Большее внимание и распространение получил ситовый метод, по которому определяется однородность гранулометрического состава песчаного грунта.

Неоднородность в европейском подходе, и в Республике Польша в частности, описывается двумя показателями:

– показатель однородности  $C_u$  :

$$C_u = d_{60} / d_{10} ; \quad (3)$$

– показатель кривизны  $C_c$ :

$$C_c = \frac{(d_{s0})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} . \quad (4)$$

В Беларуси песчаные грунты классифицируются по показателю максимальной неоднородности  $U_{max}$ :

$$U_{\max} = d_{50} \frac{d_{95}}{d_s}, \quad (5)$$

на грунты:

- однородный  $U_{\max} < 4$
- среднеоднородный  $4 \leq U_{\max} \leq 20$
- неоднородный  $20 \leq U_{\max} \leq 40$
- повышенной неоднородности  $U_{\max} > 40$ .

В соответствии с требованиями ИСО для ситового метода используются сита диаметром 63, 20, 6,3, 2,0, 0,63, 0,20, 0,063 мм, масса пробы составляет для диаметров 10 мм – 500 гр., 6,3–5 мм – 300 гр., для диаметров менее 2 мм – 100 грамм.

В Республики Беларусь применяются сита 10, 5, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,1, 0,063 мм; масса пробы для диаметров 10-5 мм составляет 2,0 кг для диаметров менее 5 мм – 100 гр.

Видно, что национальный набор сит более расширен для диаметров 5–0,063мм, по сравнению с набором сит, применяемых по евростандартам.

По результатам проведенного опыта были определены остатки грунта на ситах и построены графики гранулометрических составов (рис. 2).

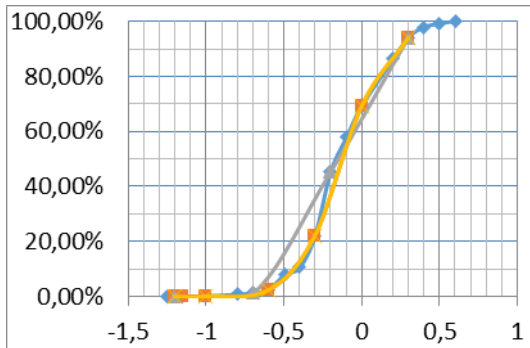


Рис. 2. Кривая гранулометрического состава, полученная для одного грунта по результатам сопоставительных испытаний по трем различным подходам

Таким образом, можно увидеть, что в соответствии с методикой ИСО кривая гранулометрического состава строится в интервале диаметров от 0,002 мм до 60мм.

В Польской практике кривая состоит их двух участков:

– 1-й участок – ситовый: от 0,05 до 40 мм. В этом интервале применяемые в Республике Польша и в Республике Беларусь сита одинаковы, что обусловлено некоторой исторической близостью между нашими странами, то и кривые гранулометрического состава у них дублируют друг друга.

– 2-й участок – ареометрический: от 0,001 мм до 1,0 мм;

Применяемые в Республике Польша и в Республике Беларусь сита одинаковы, количество, замеров весов составляло 7 штук, в европейской норме – количество контрольных точек, где проводятся замеры составляет 5 сит, это существенно влияет на кривую гранулометрического состава, и как следствие на конечные расчетные характеристики однородности песчаного грунта.

Таблица 4

Расчет показателей

Показатель	График		
	Европейский	Белорусский	Полный
D5	0,22	0,29	0,27
D10	0,28	0,36	0,40
D30	0,45	0,59	0,54
D50	0,71	0,75	0,66
D60	0,87	0,88	0,85
D95	2,0	2,0	2,00
Показатель однородности $C_u$	3,11	2,44	2,13
Показатель кривизны $C_c$	0,83	1,10	0,86
Максимальная неоднородность $U_{max}$	6,45	5,17	4,89
Отличия в характеристиках, %			
Показатель однородности $C_u$	46,21	15,03	0,00
Показатель кривизны $C_c$	3,07	28,12	0,00
Максимальная неоднородность $U_{max}$	32,02	5,80	0,00

Приняв за исходную кривую гранулометрического состава совмещенную кривую видно, что что отличия между результатами ситового просеивания составляют для показателя однородности  $C_u$  15,03 % для польской и Белорусской нормы и 46,21 % – для европейской.



Что касается показателя кривизны  $C_c$ , то эти изменения для исследуемого грунта составляют 28,12 % и 3,07 % соответственно.

По результатам расчетов видно, что существенное отличие имеется между европейской, в том числе и польской нормами, с белорусским подходом в частности определения неоднородности песчаного грунта: так для польской нормы применяются характеристические диаметры при 10 % и 60 % просеивании, а в Белорусской – 5 %, 50 %, 95 %, это является причиной того, что отличие в значении этой характеристике достигает 210 %.

**Выводы.** В соответствии с европейскими нормами грунты классифицируются по способу формирования грунта: натурального или антропогенного происхождения. В национальных нормах классификация грунтов происходит исходя из класса структурных связей и в наименование грунтов также приводится их состояние по плотности сложения, прочности, водонасыщенности.

Проведенные собственные лабораторные исследования и выявленная по ним зависимость позволяет определить необходимое время для сушки образцов грунта до постоянной массы. Полученные зависимости отличаются заложенных в нормативных документах и допускается использовать для глинистых и песчаных образцов исходной массой 15–100 гр.

При проведении ситового метода применяются различные сита, что в конечном итоге приводит к различной гранулометрической характеристике грунта, виду гранулометрической кривой и получаемым характеристикам по неоднородности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грунты. Классификация: СТБ 943-2007 – Введ. 01.01.2008. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008 – 20 с.
2. EN ISO 14688-1:2018 Rozpoznanie i badania geotechniczne – Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów.
3. Грунты. Метод лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536–79. – Введ. 12.10.1979. – Москва: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1979 – 24 с.
4. EN ISO 17892–1 Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 1: Determination of water content.

5. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: ГОСТ 5180–84. – Введ. 24.10.1984. – Москва: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985 – 26 с.

6. EN ISO 17892–4 Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 4: Determination of particle size distribution.

УДК 624.072

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОГО СЛОЯ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ НДС БЕСКОНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ЛЕНТ**

*КОЗУНОВА О. В., СИРОШ К. А.*

Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь

**Аннотация.** В данной работе авторы рассматривают влияние глубины сжимаемого слоя упругого основания на параметры НДС бесконечной системы перекрестных лент. В виде системы перекрестных лент на упругом основании чаще всего представляют расчетные схемы фундаментов под здания. Способом расчета предложен вариационно-разностный метод. Вариационно-разностный метод является одним из приближенных способов расчета строительных конструкций и основан на минимуме полной потенциальной энергии системы и приближен к реальным условиям. В качестве упругого основания принято однослойное основание. Численная апробация результатов расчета осуществлена с использованием программного пакета МАТНЕМАТІСА.

**Ключевые слова.** Бесконечная система перекрестных лент, упругое основание, сжимаемый слой, вариационно-разностный метод.

**Основная часть.** Задачи инженерной практики приводят к необходимости решения контактных задач. Ранее решения контактных задач для изгибаемых конструкций на упругом слое рассматривались в работах [1–5].

При расчете системы перекрестных лент на упругом основании принимается, что система перекрестных лент представляет совокупность жестко соединенных между собой стержней, находящихся