УДК 624.131.22

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕСЧАНОГО И ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

CLASSIFICATION OF SANDY AND CLAYEY SOIL

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

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

Аннотация. В статье описывается классификация песчаного и глинистого грунта, выполнено построение геологической колонки и определены прочностные и деформационные характеристики суглинка тугопластичного.

Ключевые слова: классификация песчаного и глинистого грунта; степень влажности грунта; коэффициент пористости грунта; классификация песчаного грунта по водонасыщению; плотность сложения грунта; условное расчётное сопротивление грунтов; построение геологической колонки.

Annotation. The article describes the classification of sandy and clayey soil, constructed a geological column and determined the strength and deformation characteristics of refractory loam.

Keywords: classification of sandy and clayey soil; degree of soil moisture; soil porosity coefficient; classification of sandy soil by water saturation; soil density; conditional design resistance of soils; construction of a geological column.

Для оценки строительных свойств грунтов производиться их классификация согласно СТБ 943-2007, включающая следующие таксономические единицы, выделяемые по группам признаков:

1) класс – по характеру структурных связей;
2) группа – по происхождению;
3) подгруппа – по условию образования;
4) тип – по петрографическому и гранулометрическому составу, числу пластичности;
5) вид – по структуре, текстуре, составу цемента и примесей, содержанию заполнителя и включений, гранулометрическому составу и степени его неоднородности, пористости, относительному содержанию органического вещества, степени зольности, по способу преобразования, степени уплотнения от собственного веса, давности намыва;
6) разновидность – по физическим, механическим, химическим свойствам и состоянию.

Песчаные – несвязанные грунты, сложенные угловатыми и окатанными обломками минералов размером от 2 до 0,05 мм. Основная масса состоит из кварца и полевых шпатов. Песчаные грунты подразделяются:

1) по гранулометрическому составу (гравелистый, крупный, средний, мелкий, пылеватый);
2) по показателю максимальной неоднородности Umax (однородный ($U_{max} \le 4$), среднеоднородный ($4 < U_{max} \le 20$), неоднородный ($20 < U_{max} \le 40$), повышенной неоднородности ($U_{max} > 40$));
3) степени влажности (маловлажные ($0 < Sr \le 0,5$); влажные ($0,5 < Sr \le 0,8$); водонасыщенные ($0,8 < Sr \le 1$));
4) прочности (сопротивлению грунта при зондировании) (прочный, средней прочности, малопрочный).

Для определения классификации песчаного грунта рассчитаем степень влажности Sr по формуле:

$$S_r = \frac{w \cdot \rho_{гр}}{m \cdot \rho_{воды}}, \quad (1)$$

где w – природная влажность, доли ед. (w = 0,17); $\rho_{гр}$ – плотность частиц грунта; m – коэффициент пористости; ρводы – плотность воды ($\rho_{воды}$ = 1 г/см^3).

Определим коэффициент пористости m по формуле:

$$m = \frac{\rho_{гр}}{\rho} \cdot (1+w) - 1 = \frac{2,67}{2,14} \cdot (1+0,17) - 1 = 0,46, \quad (2)$$

где $\rho_{гр}$ – плотность частиц грунта, г/см^3 ($\rho_{гр}$ = 2,67 г/см^3); ρ – плотность грунта, г/см^3 (ρ = 2,14 г/см^3); w – влажность.

Тогда:

$$S_r = \frac{w \cdot \rho_{гр}}{m \cdot \rho_{воды}} = \frac{0{,}17 \cdot 2{,}67}{0{,}46 \cdot 1} = 0{,}98 .$$

Рассчитав степень влажности песчаного грунта, определим классификацию песчаного грунта по водонасыщению при помощи таблицы 1.

Таблица 1 – Классификация песчаного грунта по водонасыщению

Наименование по степени влажности	Значение степени влажности
маловлажные	0 < Sr ≤ 0,5
влажные	0,5 < Sr ≤ 0,8
водонасыщенные	0,8 < Sr ≤ 1,0

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что данный песок относится к классу водонасыщенные.

Определим плотность сложения песка при помощи коэффициента пористости по таблице 2.

Таблица 2 – Подразделение песчаных грунтов по коэффициенту пористости

Вид песков	Плотность сложения песка		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Гравелистые, крупные и средние	m < 0,55	0,55 ≤ m ≤ 0,70	m > 0,70
Мелкие	m < 0,60	0,60 ≤ m ≤ 0,75	m > 0,75
Пылеватые	m < 0,60	0,60 ≤ m ≤ 0,80	m > 0,80

Так как коэффициент пористости равен 0,46 и песок мелкий, то данный песок является плотным. Исходя из всех расчётов, определим условное расчётное сопротивление R_0 песчаных грунтов при помощи таблицы 3.

Таблица 3 – Условное расчётное сопротивление R_0 песчаных грунтов

Пески	Значение R_0, кПа, в зависимости от прочности песков	
	Прочные при коэффициенте пористости *m* от 0,45 до 0,54	средней прочности при коэффициенте пористости m от 0,55 до 0,75
Крупные	600	500
Средние	500	400
Мелкие:		
маловлажные и влажные	400	300
водонасыщенные	300	250
Пылеватые:		
маловлажные	300	250
влажные	250	150
водонасыщенные	200	100

Так как песок мелкий и водонасыщенный, а коэффициент пористости m равен 0,46, то расчётное сопротивление будет равно 300 кПа.

Построение геологической колонки

Средне-, крупномасштабные и детальные геологические карты обычно сопровождаются геологическими разрезами и стратиграфической колонкой.

Осадочные, вулканические и метаморфические горные породы обычно залегают слоями, или пластами. Слоем называется более или менее однородный, первично обособленный осадок (или горная порода), ограниченный поверхностью наслоения. Помимо термина «слой», в практике часто употребляется термин «пласт», который обычно применяется по отношению к полезным ископаемым, например к углю, известняку и т.д. Пласт может заключать в себе несколько слоёв. Однородность слоёв может быть выражена в составе, окраске, текстурных признаках, присутствии одинаковых включений или окаменелостей. Когда говорят о слоистых толщах, подразумевают чередование слоев. Переход от одного слоя к другому может быть резким или постепенным. Поверхности, разграничивающие слои или пласты, обычно бывают неровными. Они носят название поверхностей наслоения. Верхняя из них называется кровлей слоя, нижняя – подошвой. Расстояние между кровлей и подошвой слоя (или пласта) характеризует его мощность.

Различают 3 вида мощности: истинную, видимую и неполную.

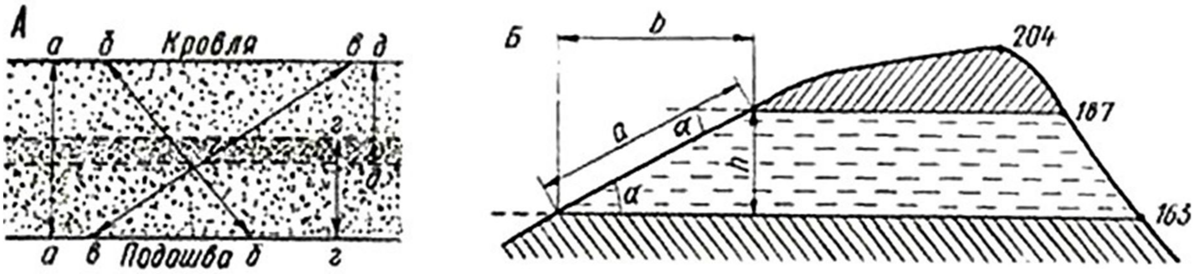

Рисунок 1 – Схема определения мощности пласта:
А – различные виды мощности слоя (пласта):
аа – истинная, бб, вв – видимая, гг, дд – неполная;
Б – определение мощности горизонтально залегающего слоя:
h – истинная мощность; а – видимая мощность; б – ширина выхода слоя;
α – угол наклона поверхности; цифры – абсолютные отметки кровли и подошвы слоя

Пример: истинная мощность h = 187–163 = 14 м или h = sin α.

Истинной мощностью называется кратчайшее расстояние между кровлей и подошвой. Любое другое расстояние между кровлей и подошвой представляет собой видимую мощность. Если измеряют расстояние от кровли или от подошвы слоя (или пласта) до любой поверхности, находящейся внутри слоя (или пласта), говорят о неполной его мощности. При горизонтальном залегании и выровненном рельефе земной поверхности для определения мощности пород проводятся выработки или бурятся скважины. Если рельеф неровный, то истинную мощность горизонтального слоя можно получить путем вычисления: установив тем или иным способом абсолютные высотные отметки кровли и подошвы пласта, вычисляют разность между ними, которая и будет составлять истинную мощность (187–163 = 14 м). Можно определить также истинную мощность, измерив предварительно видимую мощность (расстояние по склону между кровлей и подошвой) и угол наклона склона. Истинная мощность будет равна видимой мощности, умноженной на синус угла наклона склона (h = а × sin α). Кратчайшее расстояние между кровлей и подошвой слоя на геологической карте называется шириной выхода слоя.

До начала проектирования любого сооружения необходимо:

- изучить местный опыт строительства;
- по отчёту инженерно-геологических изысканий ознакомиться с напластованием грунтов и положением уровня подземных (грунтовых) вод на строительной площадке и ожидаемым во время строительства и эксплуатации сооружения;
- установить нормативные и расчётные характеристики грунтов каждого слоя для расчёта по предельным состояниям;
- с учётом напластования грунтов наметить наиболее рациональное размещение (если оно не задано) сооружения на участке строительства.

По данным изысканий оцениваются инженерно-геологические условия, приводимые в отчёте или заключении. Напластование грунтов оценивается по разрезам и колонкам скважин.

Характерными напластованиями грунтов являются:

- однородный слой грунта в пределах большой глубины;
- слоистое напластование, когда слои грунта относительно горизонтальны и каждый подстилающий слой менее сжимаем, чем несущий;
- сложное, когда слои грунта выклиниваются, залегают линзообразно или имеются сильно сжимаемые грунты.

Особое внимание должно уделяться оценке уровня грунтовых вод, его сезонным колебаниям, возможным изменениям вследствие возведения сооружения, их агрессивности по отношению к материалу фундаментов. Масштаб геологической колонки принимаем 1:100. Абсолютная отметка устья скважины (точка пересечения ствола скважины с поверхностью земли) равна + 135,6 м. Мощность первого слоя равна глубине залегания его подошвы. Абсолютные отметки подошвы слоёв определяют как разность абсолютной отметки устья скважины и глубины залегания подошвы соответствующего слоя. В середине графы двумя линиями обозначают ствол скважины и с обеих сторон от ствола показывают условными обозначениями литологический состав пород каждого слоя. Ствол скважин в интервалах развития водоносных слоев затемняют. Исходные данные (табл. 4–5).

Таблица 4 – Физические характеристики песчаного грунта (слой № 1)

Стратиграфический индекс	Мощность слоя, м	Наименование песчаного грунта	Плотность грунта $\rho_{гр}$, г/см^3	Плотность частиц грунта ρ, г/см^3	Влажность w, %
aQ4	2,2	мелкий	2,14	2,67	17

Таблица 5 – Физические характеристики глинистого грунта (слой № 2)

Стратиграфический индекс	Мощность слоя, м	Предел пластичности		Плотность грунта ρгр, г/см^3	Плотность частиц грунта ρ, г/^{см3}	Влажность w, %
		ωl, %	ωp, %			
edQ3	5,1	35	18	1,95	2,71	23

Классификация глинистого грунта

Пылевато-глинистые грунты – группа осадочных пород с преобладанием тонких фракций (< 0,01 мм). Состоят из глинистых минералов, а также минералов обломочного (слюда, кварц, полевые шпаты) и химического (карбонаты, сульфаты) происхождения. Занимают около 60 % объёма осадочных пород. Происхождение – обломочно-химическое.

Пылевато-глинистые грунты подразделяются:

- по числу пластичности I_p:
- – супесь – $1 \le I_p \le 7$;
- – суглинок – $7 < I_p \le 17$;
- – глина – $I_p > 17$;
- по показателю текучести I_l:
- – супеси бывают:
- – твёрдые $I_l < 0$;
- – пластичные $0 \le I_l \le 1$;
- – текучие $I_l \ge 1$;
- – суглинки и глины бывают:
- – твёрдые $I_l < 0$;
- – полутвёрдые $0 < I_l \le 0,25$;
- – тугопластичные $0,25 < I_l \le 0,5$;
- – мягкопластичные $0,5 < I_l \le 0,75$;
- – текучепластичные $0,75 < I_l \le 0,1$;
- – текучие $I_l \ge 1$;
- по прочности:
- – очень прочные;
- – прочные;
- – средней прочности;
- – слабые.

Для определения характеристик глинистого грунта определим число пластичности и показатель текучести.

Определим число пластичности по формуле:

$$I_p = w_l - w_p ,$$

где w_l – влажность на границе текучести, %; w_p – влажность на границе раскатывания, %.

Подставим значения в формулу (при w_l = 35 % и w_p = 18 %) и получим:

$$I_p = 35 - 18 = 17 .$$

Зная процентное число пластичности можно определить, к какой классификации грунтов относится рассматриваемый глинистый грунт. Т.к. I_p = 17, то грунт состоит из суглинка.

Определим показатель текучести по формуле:

$$I_l = \frac{w - w_p}{w_l - w_p} ,$$

где w_l – влажность на границе текучести, %; w_p – влажность на границе раскатывания, %; w – природная влажность, %.

Подставим значения в формулу (при w_l = 35 %, w_p = 18 % и w = 23 %) и получим:

$$I_l = \frac{23-18}{35-18} = 0{,}29.$$

Зная показатель текучести, определим классификацию глинистого грунта по консистенции, т.к. I_l = 0,29, то суглинок относится к тугопластичным.

Для определения расчётного сопротивления R_0 необходимо знать также коэффициент пористости m:

$$m = \frac{\rho_{гр}}{\rho}\cdot(1+w)-1 = \frac{2{,}71}{1{,}95}\cdot(1+0{,}23)-1 = 0{,}71,$$

где $\rho_{гр}$ – плотность частиц грунта, г/см^3 (2,71 г/см^3); ρ – плотность грунта, г/см^3 (1,95 г/см^3); w – влажность, % (w = 23 %).

Расчётное сопротивление R_0 находится для значения m = 0,71 путём интерполяции сначала по коэффициенту пористости m между m = 0,7 и m = 1 при I_l = 2,5, затем интерполяция по показателю текучести I_l между I_l = 0 и I_l = 1 для значения I_l = 0,29. Данные для определения расчётного давления глинистого грунта приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Условные расчётные сопротивления глинистых грунтов (только для суглинка)

Вид глинистого грунта	Коэффициент пористости грунта	R0, МПа × 10^{-3} (кгс/см^2), при консистенции грунта	
		Il = 0	Il = 1
Суглинок	0,5	(0,30) 3,0	(0,25) 2,5
	0,7	(0,25) 2,5	(0,18) 1,8
	1,0	(0,20) 2,0	(0,10) 1,0

Интерполяция по m при I_l = 0:

- изменение Δm = 1 – 0,7 = 0,3 соответствует изменению ΔR_0 = 25 – 20 = 5;
- изменение Δm = 0,71 – 0,7 = 0,01 соответствует изменению $\Delta R_0 = \frac{0{,}01\cdot 5}{0{,}3} = 0{,}17$, тогда:

R_0 = 25 – 0,17 = 24,83 МПа.

Интерполяция по m при I_l = 1:

- изменение Δm = 1 – 0,7 = 0,3 соответствует изменению ΔR_0 = 18 – 10 = 8;
- изменение Δm = 0,71 – 0,7 = 0,01 соответствует изменению $\Delta R_0 = \frac{0{,}01\cdot 8}{0{,}3} 0{,}27$, тогда

R_0 = 18 – 0,27 = 17,73 МПа.

Интерполяция по I_l = 1 при m = 0,71 ΔI_l = 1–0 соответствует 24,83 – 17,73 = 7,1.

$\Delta R_0 = \frac{0{,}29\cdot 7{,}1}{1} = 2{,}06$, тогда R_0 = 24,83 – 2,06 = 22,77 МПа.

Полученные результаты внесём в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты интерполяции R_0

Коэффициент пористости грунта	I_l = 0	0,29	Il = 1
0,7	R_0 = 25		R_0 = 18
0,71	R_0 = 24,83	22,77	R_0 = 17,73
1,0	R_0 = 20		R_0 = 10

Определим прочностные и деформационные характеристики суглинка тугопластичного. По исходным данным I_l = 2,9 и m = 0,71 из таблицы 8 находим нормативное значение угла внутреннего трения φ_n = 21 град, удельное сцепление грунта C_n = 23 кПа и нормативное значение модуля деформации E_n = 14 МПа.

Таблица 8 – Нормативные значения удельных сцеплений, углов внутреннего трения, значений модулей деформации (только для суглинка)

Вид глинистого грунта и пределы нормативных значений их консистенции		Обозначения характеристик грунта	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости, равном						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
суглинки	$0{,}25 \le I_l \le 0{,}5$	C_n	39	34	28	23	18	15	–
		φ_n	24	23	22	21	19	17	–
		E_n	32	25	19	14	11	8	–

Список литературы:

1. Денисенко В.В. Исследование природы сжимаемости глинистых грунтов / В.В. Денисенко, П.А. Ляшенко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2013. – № 3. – С. 65–68.
2. Работинская Т.И. Расчётное моделирование сезонного изменения температурных полей в мёрзлом грунте, окружающем теплоизолированный газопровод / Т.И. Работинская, И.В. Шишкин, А.С. Кузьбожев // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 139–142.
3. Стефанов Р.Е. Анализ состояния магистрального газопровода и моделирование системы «газопровод – массив грунта» / Р.Е. Стефанов // Технические и технологические системы: материалы XIII Международной научной конференции «ТТС-22» (22–24 ноября 2023 года, Краснодар). – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2023. – С. 315–323.
4. Стефанов Р.Е. Практическое значение глинистых грунтов для инженерно-геологической оценки и анализ процессов их набухания / Р.Е. Стефанов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 195–205.
5. Цымбалов А.А. Выявление слабых волновых полей в возбудимых грунтовых средах / А.А. Цымбалов // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 2. – С. 213–217.

List of references:

1. Denisenko V.V. Investigate the nature of the compressibility of clay soils / V.V. Denisenko, P.A. Ljashenko // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2013. – № 3. – P. 65–68.
2. Rabotinskaya T.I. Numerical modeling of seasonal changes in temperature fields in frozen soil surrounding a thermally insulated gas pipeline / T.I. Rabotinskaya, I.V. Shishkin, A.S. Kuzbozhev // Readings of A.I. Bulatov. – 2020. – Vol. 4. – P. 139–142.
3. Stefanov R.E. Analysis of the state of the main gas pipeline and modeling of the «gas pipeline – soil mass» system / R.E. Stefanov // Technical and technological systems: materials of the XIII International Scientific Conference «TTS-22» (November 22–24, 2023, Krasnodar). – Krasnodar : LLC «Publishing House – South», 2023. – P. 315–323.
4. Stefanov R.E. Practical significance of clayey soils for engineering-geological assessment and analysis of their swelling processes / R.E. Stefanov // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 4. – P. 195–205.
5. Tsymbalov A.A. Identification of weak wave fields in excitable groundwater environments / A.A. Tsymbalov // Readings of A.I. Bulatov. – 2019. – Vol. 2. – P. 213–217.