

Л. К. Морозова, И. А. Голубев

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОЙ ССР

Территория Белорусской ССР расположена в зоне распространения ледниковых образований, которые по своим структурным особенностям, геологическому строению и характеру поверхности весьма неоднородны.

Большое распространение среди них имеют песчаные грунты различных генетических типов (флювиогляционные, озерно-ледниковые, эоловые и т. д.), которые, залегая на значительную глубину, являются естественным основанием различных сооружений. Изучение их физико-механических свойств представляет значительный интерес и позволит более полно использовать строительные свойства при возведении различных инженерных сооружений. С этой целью во всех областях республики на глубине 1—4 м были взяты образцы ненарушенной структуры, а также использованы результаты исследования, полученные по аналогичной методике другими организациями Белоруссии.

Поскольку коэффициенты изменчивости показателей физико-механических свойств песков отдельных выборок по районам мало отличались друг от друга, обработка данных и установление зависимостей проводились для всей совокупности в целом. Всего исследовалось 247 образцов песков флювиогляционных отложений, наиболее распространенных на территории республики.

По гранулометрическому составу песчаные грунты подразделяются на четыре вида: крупные, средней крупности, мелкие и пылеватые, из которых средней крупности и мелкие по изучаемым образцам составляют примерно 70%. По плотности сложения они относятся к плотным, средней плотности и рыхлым, при этом средней плотности и рыхлых более 70%, по влажности — к маловлажным, влажным и насыщенным водой.

Гранулометрический состав образцов обрабатывали графически при помощи частотной кривой по способу квартилей. Были определены квартили, медиана, мода, подсчитаны статистические коэффициенты. Их значения приводятся в табл. 1—3.

Таблица 1

Наименование песчаных грунтов	Медиана d_{50}	$K = \frac{d_{80}}{d_{10}}$	$S_p = \frac{d_{90}}{d_{10}}$	Кoeffи- циент сор- тировки	$S_o = \frac{d_{75}}{d_{25}}$
Крупный	1,5—0,5	11—2	60—3		2,7—1,2
Средней крупности	0,6—0,2	7—2	20—3		2,5—1,2
Мелкий	0,3—0,1	7—1	14—3		2,2—1,1
Пылеватый	0,2—0,05	7—1	15—3		2,2—1,3

По коэффициенту неоднородности K и S_p пески можно отнести к неоднородным и неотсортированным; по коэффициенту сортировки S_o — к хорошо и среднеотсортированным (степень сортировки по Траску: хорошо отсортированные 1,0—2,5, среднеотсортированные 2,5—4,5).

У всех песчаных грунтов содержание песчаной фракции от 85 до 100%. Для большинства образцов она сконцентрирована в интервале 0,25—0,1 мм, у остальных образцов в интервалах 0,5—0,25; 0,25—0,1 мм.

Для характеристики физико-механических свойств песчаных грунтов вычислялись среднеарифметические совокупности \bar{X} .

Таблица 2

Виды песчаных грунтов	Состояние песков по плотности сложения	Физические характеристики	Статистические характеристики		
			\bar{X}	σ	$V, \%$
1	2	3	4	5	6
Крупный	плотный	удельный вес Δ , t/m^3	2,61	0,0375	1,44
		объемный вес γ , t/m^3	1,79	0,0594	3,31
		коэффициент пористости $\varepsilon > 0,55$	0,50	0,0292	0,584
Средней крупности	средней плотности	Δ	2,64	0,0290	1,10
		γ	1,69	0,0458	2,71
		$0,55 \leq \varepsilon \leq 0,70$	0,61	0,0339	5,55
Мелкий	рыхлый	Δ	2,66	0,0173	0,65
		γ	1,59	0,0286	1,80
		$\varepsilon > 0,70$	0,75	0,0271	3,61
Средней крупности	плотный	Δ	2,63	0,0352	1,34
		γ	1,83	0,1120	6,12
		$\varepsilon < 0,55$	0,48	0,0492	1,03
Мелкий	средней плотности	Δ	2,64	0,0306	1,16
		γ	1,67	0,0617	3,69
		$0,55 \leq \varepsilon \leq 0,70$	0,63	0,0411	6,52
Пылеватый	рыхлый	Δ	2,66	0,0284	1,07
		γ	1,59	0,0682	4,29
		$\varepsilon > 0,70$	0,76	0,0381	5,01
Крупный	плотный	Δ	2,65	0,0313	1,18
		γ	1,90	0,1540	8,10
		$\varepsilon < 0,60$	0,50	0,0669	13,40
Средней крупности	средней плотности	Δ	2,65	0,0327	1,23
		γ	1,63	0,0784	4,80
		$0,60 \leq \varepsilon \leq 0,75$	0,69	0,0431	6,25
Мелкий	рыхлый	Δ	2,65	0,0243	0,91
		γ	1,53	0,0422	2,76
		$\varepsilon > 0,75$	0,80	0,0100	1,25
Средней крупности	плотный	Δ	2,66	0,0106	0,40
		γ	1,95	0,1320	6,77
		$\varepsilon < 0,60$	0,51	0,0833	16,30
Пылеватый	средней плотности	Δ	2,64	0,0225	0,85
		γ	1,69	0,1420	8,44
		$0,60 \leq \varepsilon \leq 0,80$	0,70	0,0634	9,05
Крупный	рыхлый	Δ	2,66	0,0123	0,46
		γ	1,48	0,0150	1,01
		$\varepsilon > 0,80$	0,83	0,0150	0,81

Оценка изменчивости производилась по среднему квадратическому отклонению σ и коэффициенту изменчивости V . Все полученные значения даны в табл. 2 и 3.

Таблица 3

Виды песчаных грунтов	Пределы изменения коэффициента пористости	Статистические характеристики угла внутреннего трения		
		\bar{X}	σ	$V, \%$
Крупный	0,41—0,50	0,930	0,0355	3,82
	0,51—0,60	0,845	0,0311	3,68
	0,61—0,70	0,812	0,0271	3,34
	0,71—0,80	0,788	0,0352	4,52
Средней крупности	0,31—0,40	0,911	0,0110	1,21
	0,41—0,50	0,882	0,1096	12,30
	0,51—0,60	0,822	0,0611	7,44
	0,61—0,70	0,795	0,0570	7,17
	0,71—0,80	0,742	0,0262	3,53
	0,81—0,90	0,677	0,0025	0,38
Мелкий	0,41—0,50	0,852	0,0015	0,18
	0,51—0,60	0,785	0,0377	4,80
	0,61—0,70	0,728	0,0440	6,04
	0,71—0,80	0,737	0,0298	4,04
	0,81—0,90	0,687	0,0130	1,89

Между различными величинами была изучена двусторонняя связь, представленная как в виде прямолинейной, так и криволинейной зависимостей (табл. 4).

Таблица 4

Наименование видов песчаных грунтов	Математическое выражение связи	Коэффициент корреляции r или корреляционное отношение η
Крупный	$\operatorname{tg}\varphi=1,26-0,69\varepsilon$	$r=-0,73$
	$\gamma=2,12-0,705\varepsilon$	$r=-0,80$
	$\gamma=2,26-1,05\varepsilon+0,17\varepsilon^2$	$\eta=+0,80$
	$K=14,45-16,16\varepsilon$	$r=-0,55$
	$K=17,24-25,75\varepsilon+8,03\varepsilon^2$	$\eta=0,55$
Средней крупности	$\operatorname{tg}\varphi=1,47-1,07\varepsilon$	$r=-0,67$
	$\operatorname{tg}\varphi=2,20-3,20\varepsilon+1,58\varepsilon^2$	$\eta=0,74$
	$\varepsilon=1,90-0,76\gamma$	$r=-0,84$
	$\gamma=2,87-3,16\varepsilon+1,94\varepsilon^2$	$\eta=0,89$
	$K=36,75-53,45\varepsilon$ $K=22,73-52,59\varepsilon+35,26\varepsilon^2$	$r=-0,42$ $\eta=0,46$
Мелкий	$\operatorname{tg}\varphi=1,23-0,74\varepsilon$	$r=-0,62$
	$\operatorname{rg}\varphi=1,20-0,74\varepsilon+0,05\varepsilon^2$	$\eta=0,73$
	$\varepsilon=1,69-0,61\gamma$	$r=-0,90$
	$\gamma=2,86-1,94\varepsilon+0,29\varepsilon^2$	$\eta=0,92$
	$S_p=11,06-0,035E$ $S_p=10,41-0,024E-0,00004E^2$	$r=-0,47$ $\eta=0,47$

Для практических целей наиболее важной задачей является получение таких механических характеристик, как угол внутреннего трения

и модуль деформации по физическим характеристикам, которые значительно проще можно определить в лабораторных или полевых условиях. С этой целью связь между указанными величинами изучалась всесторонне.

По результатам проведенного анализа можно предложить простые зависимости между углом внутреннего трения, модулем деформации и коэффициентом пористости, наиболее точно отвечающие граничным условиям задачи (определение $\operatorname{tg} \varphi$ и E с приближением ε к единице):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\varepsilon + m}; \quad (1)$$

$$E = \frac{280}{\varepsilon} - 190, \quad (2)$$

где m — параметр формулы (1) для песков крупных, средней крупности и мелких; соответственно равен 0,60; 0,64 и 0,68.

Формула (2) получена для мелких песков. Формулы (1) и (2) могут быть использованы при коэффициенте пористости $\varepsilon = 0,31—0,90$.

Между показателями состава и физическим состоянием песков тесной корреляционной связи не обнаружено. Так, между коэффициентами (S_p и K) и модулем деформации (E) коэффициент корреляции и корреляционное отношение составляют 0,47. Связь между коэффициентом неоднородности и коэффициентом пористости уменьшается от песков крупных к средней крупности и не выражена совсем для мелких.

Выводы

1. По гранулометрическому составу песчаные грунты территории БССР были подразделены на четыре вида: крупные, средней крупности, мелкие и пылеватые. В изучаемой совокупности наибольшее распространение имеют пески средней крупности и мелкие ($\approx 70\%$).

Все виды песчаных грунтов по плотности сложения относятся к плотным, средней плотности и рыхлым. Среднее значение удельного веса составляет 2,63—2,65 $\text{т}/\text{м}^3$, объемного — 1,70—1,73 $\text{т}/\text{м}^3$.

2. Зависимости между углом внутреннего трения, модулем деформации и коэффициентом пористости, представленные формулами (1) и (2), могут быть использованы для практических расчетов. Использование этих формул сократит объем инженерно-геологических изысканий и снизит затраты на проектирование.

Рекомендуемые формулы позволяют определить значения φ и E для рыхлого состояния, табличные данные для которых в СНиП П—Б.1—62 отсутствуют.