

*Кремнев Александр Павлович, канд. техн. наук, доц. Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк, Беларусь,  
Вишняков Николай Николаевич, ассистент Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк, Беларусь*

***Анизотропия прочностных свойств песчаных грунтов***

***Anisotropy of strengthening characteristics of sandy soils***

В статье изучается прочностная анизотропия песчаных грунтов. Приводятся данные испытания песков на сдвиг по фиксированной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В результате исследований подтверждаются предположения об изменчивости прочностных характеристик песчаного грунта в зависимости от направления плоскости сдвига по отношению к плоскости слоистости.

In this article strength anisotropy of sandy grounds are learnt. Test ratings of sand on shear on the fixed plain in two mutually perpendicular directions are resulted. As a result of studies assumptions of variability strength characteristics of sandy soil depending on a shear plane direction in relation to a stratification plain are affirmed.

Большие объемы строительства сельскохозяйственных зданий ставят перед проектировщиками и строителями задачи минимизации затрат на строительство, в том числе на устройство фундаментов. Одним из способов уменьшения затрат является более точный расчет фундаментов с учетом всех особенностей грунтового основания. Как показывает анализ проектных решений и сопоставление их с экспериментальными данными, при расчете оснований закладываются необоснованные запасы по несущей способности грунтов. В первую очередь это связано с тем, что при расчете грунтовых сред не учитываются такие важнейшие свойства, как анизотропия и дилатансия в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Плоскость анизотропии будет соответствовать слоистой текстуре песчаных грунтов.

Нами была поставлена задача исследовать анизотропию прочностных свойств песчаных грунтов и оценить ее влияние на несущую способность грунтов основания распорных сооружений, как наиболее массовых типов сельскохозяйственных зданий (к примеру, одноэтажные однопролетные здания из сборных железобетонных полурам).

В ходе исследования проводились определения прочностных характеристик песчаного грунта при сдвиге в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В качестве объекта исследования были выбраны пески мелкие карьера «Виторжье» г. Новополоцка и пески пылеватые, залегающие в основании строящейся фермы в н.п. Нурово.

На рис. 1 показаны срезы исследуемых песков. Как видно из рисунков, эти пески имеют ярко выраженную слоистую текстуру, характерную для песков озерно-ледникового происхождения. Данный тип отложений широко распространен в Беларуси, особенно в Витебской области.



Рис. 1. Слоистая текстура песка:  
а – карьер «Виторжье»; б – н.п. Нурово

Очевидно, что при такой слоистой текстуре залегания песков сопротивление сдвигу в плоскости слоев и перпендикулярно им будет различно. Таким образом, следует ожидать анизотропию прочностных свойств.

Образцы песка отбирались в кольца диаметром 70 мм и высотой 35 мм согласно [3] в двух взаимно перпендикулярных направлениях: параллельно плоскости анизотропии и перпендикулярно ей.

Характеристики физического состояния исследуемых песков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики физического состояния песков

	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность грунта, %
Карьер «Виторжье» (песок мелкий)	1,55 1,75	8,47
Н.п. Нурово (песок пылеватый)	1,83	22

Образцы грунта были испытаны на сдвиг по фиксированной плоскости в приборе конструкции Полоцкого государственного университета, оснащенного электронными датчиками перемещений и автоматической системой загрузки [4] (рис. 2).

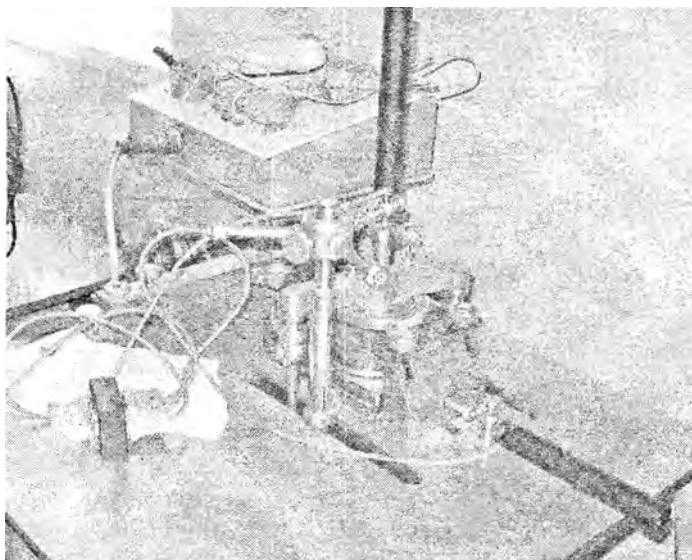


Рис. 2. Автоматизированная экспериментальная установка

Установка оснащена электронными датчиками с точностью порядка одного микрона, подключённых через АЦП к ЭВМ и фиксирующих в реальном времени вертикальные и горизонтальные перемещения в процессе сдвиговых испытаний.

Испытания проводились по консолидированно-дренированной схеме согласно [3]. Образцы, отобранные в двух взаимно перпендикулярных направлениях подвергались сдвигу по фиксированной плоскости при вертикальной нагрузке 0,1; 0,2 и 0,3 МПа.

В процессе испытаний песков мелких из карьера «Виторжье» было установлено, что в рыхлых песках в процессе сдвига наблюдается контракция (уплотнение), величина которой в зависимости от уплотняющего давления и положения плоскости анизотропии изменяется от 0,18 до 0,33 мм, что составляет в относительных деформациях ( $\epsilon_d$ ) от 0,005 до 0,01 (рис. 3).

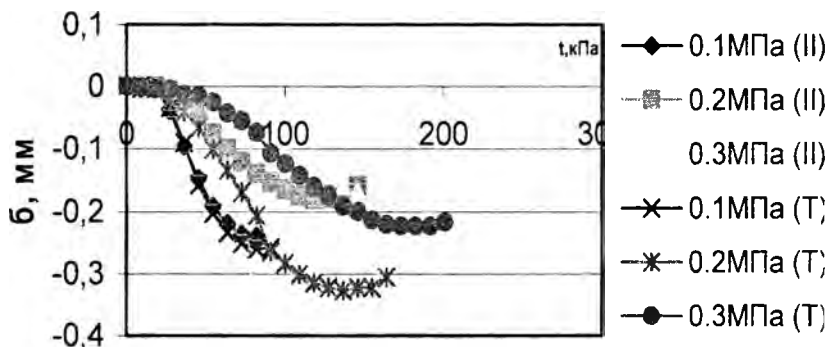


Рис. 3. Вертикальные перемещения от нагрузки для рыхлых песков:  
 || — срез параллельно плоскости анизотропии;  
 Т — срез перпендикулярно плоскости анизотропии

В рыхлых песках четко прослеживается явное отличие деформаций контракции для образцов, срезаемых перпендикулярно и параллельно плоскости анизотропии. При срезе параллельно плоскости анизотропии деформации контракции меньше, чем при срезе перпендикулярно плоскости. В среднем деформации отличаются на 10–40 %.

При сдвигающей нагрузке, близкой к предельной, во всех случаях наблюдается развитие дилатантных деформаций и зависимость вертикальных перемещений от нагрузки переходит из нисходящей в восходящую (рис. 3). Для рыхлых песков дилатантные деформации составляют примерно 10 % от деформаций контракции.

В плотных песках в процессе сдвига наблюдается преимущественно дилатансия, величина которой в зависимости от уплотняющего давления и положения плоскости анизотропии изменяется от 0,04 до 0,13 мм, что составляет в относительных деформациях ( $\epsilon_d$ ) от 0,001 до 0,04 (рис. 4).

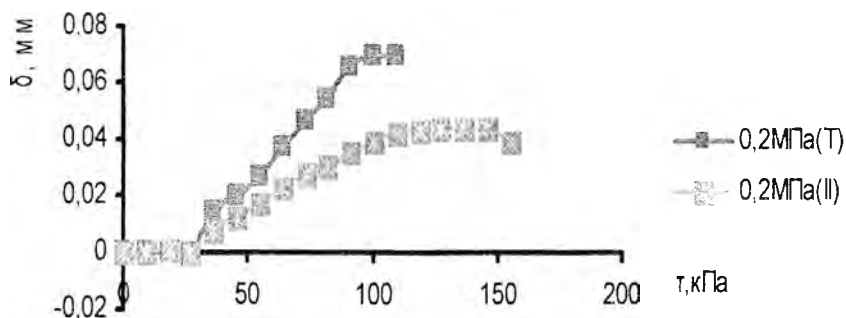


Рис. 4. Вертикальные перемещения от нагрузки для плотных песков:  
 II — срез параллельно плоскости анизотропии;  
 Т — срез перпендикулярно плоскости анизотропии

В плотных песках также прослеживается явное отличие деформаций дилатансии для образцов, срезаемых перпендикулярно и параллельно плоскости анизотропии. Дилатантные деформации песчаных грунтов при срезе перпендикулярно плоскости анизотропии выше, чем при срезе параллельно ей (в среднем на 20–40 %). На рис. 4 приведены результаты испытаний образцов плотных песков карьера «Виторжье» при вертикальном давлении 0,2 МПа.

Затем по результатам испытаний методами статистической обработки результатов определены прочностные характеристики для плотных и рыхлых песков в двух взаимно перпендикулярных направлениях (табл. 2, 3).

Таблица 2

## Прочностные характеристики рыхлых песков

	с, кПа	$\varphi, ^\circ$
Параллельно плоскости анизотропии	21,37	28,7
Перпендикулярно плоскости анизотропии	30,2	26,7

Таблица 3

## Прочностные характеристики плотных песков

	с, кПа	$\varphi, ^\circ$
Параллельно плоскости анизотропии	13,45	34,21
Перпендикулярно плоскости анизотропии	37,41	28,71

Аналогичные результаты были получены при исследовании пылеватых песков н.п. Нурово. При срезе параллельно плоскости анизотропии деформации контракции меньше, чем при срезе перпендикулярно плоскости. В среднем деформации отличаются на 20–50 % (рис. 5).

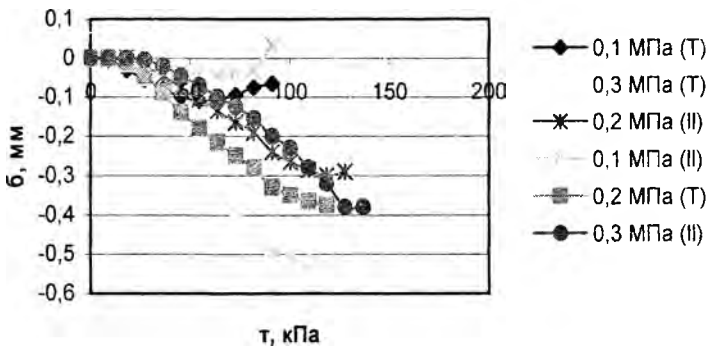


Рис. 5. Вертикальные перемещения от нагрузки для песков пылеватых

Прочностные характеристики пылеватых песков с учетом ориентации плоскости сдвига относительно плоскости анизотропии приведены в табл. 4.

Таблица 4

Прочностные характеристики песков пылеватых

	с, кПа	$\varphi$ , °
Параллельно плоскости анизотропии	3,8	31,2
Перпендикулярно плоскости анизотропии	14,33	29

Исходя из результатов испытаний, полученных как для песков мелких из карьера «Виторжье», так и для песков пылеватых (н.п. Нурово), можно сделать следующие выводы:

– пески мелкие и пылеватые озерно-ледникового происхождения фактически имеют слоистую текстуру. Слоистость видна невооруженным глазом по срезу грунта ненарушенной структуры. Слоистая текстура обуславливает анизотропность прочностных свойств грунтов;

– зависимости от плоскости среза по отношению к плоскости анизотропии прочностные свойства грунта различны. Для рыхлых мелких песков удельное сцепление (с) при срезе параллельно плоскости анизотропии примерно на 30 % меньше, чем при срезе перпендикулярно плоскости анизотропии. В то же время угол внутреннего трения практически не зависит от направления плоскости сдвига (отличие составляет примерно 7 %);

– для плотных мелких песков («Виторжье») удельное сцепление при срезе параллельно плоскости анизотропии примерно на 60 % меньше, чем при срезе перпендикулярно плоскости анизотропии, а угол внутреннего трения при срезе параллельно плоскости анизотропии примерно на 16 % больше, чем при срезе перпендикулярно плоскости анизотропии;

– для пылеватых песков удельное сцепление при срезе параллельно плоскости анизотропии примерно на 70 % меньше, чем при срезе перпендикулярно плоскости анизотропии, а угол внутреннего трения

при срезе параллельно плоскости анизотропии примерно на 7 % больше, чем при срезе перпендикулярно плоскости анизотропии;

– разность дилатантных деформаций при срезе параллельно плоскости анизотропии и при срезе перпендикулярно плоскости анизотропии для рыхлых песков составляет примерно 25 %, для плотных – до 50 %, для пылеватых – также до 50 %.

Полученные результаты свидетельствуют о существенной анизотропии прочностных свойств песков озерно-ледникового происхождения, что необходимо учитывать при определении несущей способности оснований. Выполненные расчеты фундаментов распорных сооружений свидетельствуют, что при учете анизотропии прочностных свойств грунтов несущая способность оснований фундаментов увеличивается на 10–30 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П.Л. Иванов. – М.: Высшая школа, 1991. – 447с.

2. Соболевский, Д.Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта / Д.Ю. Соболевский. – Минск: Навука і тэхніка, 1994. – 232 с.

3. Грунты. Методы лабораторного определения прочности и деформируемости. ГОСТ 12248-96.

4. Кремнев, А.П. Дилатантные деформации глинистых грунтов при сдвиге по фиксированной плоскости / А.П. Кремнев, Д.В. Скорик // Вестник ПГУ. – 2006.

5. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. ГОСТ 20522-96.