

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА
БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)
АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

Электронный сборник статей
международной научной конференции,
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2018

Редакционная коллегия:

А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ
НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ФУНДАМЕНТОВ РАСПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Н.Н. Вишняков, А.П. Кремнев

Полоцкий государственный университет, Беларусь

email: n.vishniakov@psu.by

В статье приведены результаты определения прочностных характеристик глин озерно-ледникового происхождения в приборе трехосного сжатия в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Полученные данные были использованы при расчете устойчивости фундамента, на который действует как вертикальная, так и горизонтальная силы. Подтверждается влияние анизотропии прочностных свойств грунтов на несущую способность фундаментов распорных сооружений.

Ключевые слова: грунт, анизотропия грунта, фундамент, распорное сооружение, несущая способность, коэффициент устойчивости.

**INFLUENCE OF ANISOTROPY OF STRENGTH PROPERTIES OF SOILS
ON THE BEARING CAPACITY OF FOUNDATIONS OF SPACER STRUCTURES**

N. Vishniakov, A. Kremnev

Polotsk State University, Belarus

email: n.vishniakov@psu.by

The results of the determination of the strength properties of clays of glacial origin in a triaxial tests in two mutually perpendicular directions are presented in the article. The obtained data were used in calculating the stability of the foundation, on which both vertical and horizontal forces act. The effect of anisotropy of strength properties of soils on the bearing capacity of foundations of spacer structures is confirmed.

Keywords: soil, anisotropy of soil, foundation, spacer structure, bearing capacity, coefficient of stability.

Согласно действующим нормативным документам, для фундаментов, на которые действуют значительные горизонтальные нагрузки, обязательно выполняется расчет по первой группе предельных состояний (по несущей способности и устойчивости). Примером зданий, в которых на фундаменты передается распор, могут служить большепролетные сооружения (амфитеатры, спортивные стадионы и ледовые катки, ангары различного назначения) и сооружения животноводческого комплекса с применением железобетонных или стальных полурам, работающих по схеме трехшарнирных арок.

Определение несущей способности основания фундаментов рекомендуется производить графоаналитическими методами, в частности, методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения, особенно, если основание слагают неоднородные грунты [1].

Точность расчета в первую очередь зависит от исходных данных и принятой расчетной модели грунта. Основными исходными данными для расчета оснований фундаментов являются механические характеристики грунтов. В то же время при их определении не всегда учитывается такая важная особенность грунтов, как анизотропия механических свойств.

Для расчетной модели в классической механике грунтов принято считать, что грунт представляет собой сплошную изотропную среду, поэтому анизотропия не учитывается ни при определении физико-механических свойств грунтов, ни при расчете оснований и фундаментов. Это сказывается на результатах расчета, которые не всегда согласуются с фактическими данными испытаний. Поэтому совершенствование методов расчета задач механики грунтов невозможно представить без совершенствования методов определения основных механических характеристик грунтов.

Согласно многим исследованиям, большинство грунтов обладает анизотропией. Так, Н.А. Цытович предполагал, что грунты с ярко выраженной слоистостью обладают анизотропией. Сейчас можно сказать, что анизотропией обладают грунты не только с выраженной слоистостью, но и также без нее.

Можно выделить следующие виды анизотропии: деформационная, фильтрационная, анизотропия прочностных свойств, а также анизотропию некоторых специфических свойств: набухание, теплопроводность, скорость распространения волн и т.д.

В данной статье приводятся результаты исследования анизотропии прочностных свойств ленточных глин озерно-ледникового происхождения, широко распространенных на севере Беларуси, при испытании на одноплоскостной срез. Исследуемые грунты обладают ярко выраженной анизотропией, обусловленной условиями их формирования. Эти образования относятся к периоду поозерского ледника. Они формировались в приледниковых озерах, являющихся аккумуляторами тонкообломочного материала [2].

Анизотропия рассматриваемых отложений обуславливается, во-первых, слоистой текстурой грунтов, связанной с сезонным поступлением обломочного материала и, во-вторых, преобладающей ориентацией частиц грунта, которые, как показывают исследования [1], располагаются большей осью параллельно горизонту.

Таким образом, ленточные глины в большинстве своем имеют плоскость (направление) слоистости, обусловленную условиями формирования данных грунтов. То есть данные грунты можно рассматривать как трансверсально-изотропную среду, в которой прочностные характеристики грунтов будут различаться в зависимости от угла наклона плоскости слоистости к плоскости сдвига. Поэтому требуется определение прочностных характеристик грунтов как минимум в двух направлениях: вдоль и поперек слоистости.

Зная механические характеристики грунтов в двух взаимно перпендикулярных направлениях, возможно использование известных закономерностей изменения значений угла внутреннего трения и удельного сцепления в зависимости от ориентации поверхности сдвига по отношению к плоскости изотропии.

Одной из первых известных зависимостей для испытаний грунтов на прямой сдвиг, было уравнение Казагранде-Карилло:

$$S_{\alpha} = S_0 + (S_{90} - S_0)\sin^2 \alpha, \quad (1.1)$$

где α – угол наклона плоскости среза к плоскости слоистости;

S_0, S_{90} – прочность (сопротивление сдвигу) по плоскостям среза с углами $\alpha=0^{\circ}$ и $\alpha=90^{\circ}$, т.е. вдоль и поперек плоскости напластования.

Аналогичную зависимость для определения уже прочностных характеристик грунтов приводит П.Л. Иванов [3]:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_{\alpha} &= \operatorname{tg} \varphi_1 + (\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1) \sin^2 \alpha, \\ c_{\alpha} &= c_1 + (c_2 - c_1) \sin^2 \alpha, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где α – угол наклона площадки сдвига к плоскости слоистости; $\operatorname{tg} \varphi_1,$

c_1 – характеристики прочности при сдвиге по направлению слоистости (вдоль плоскости изотропии); $tg\varphi_2$,

c_2 – то же при сдвиге поперек слоистости (поперек плоскости изотропии).

По словам А.К. Бугрова [4], зависимость (1.1), следовательно, и (1.2) широко используются в практике расчетов, и во многих работах анализировалась достоверность данной зависимости.

Существуют и другие зависимости изменения прочности от направления сдвига. Например, для глин известна следующая зависимость:

$$\tau_\alpha = A\alpha^k + \tau_0, \tag{1.3}$$

где A и k – эмпирические коэффициенты.

При использовании любой из зависимостей необходимо определение прочностных характеристик в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для определения прочностных характеристик ленточной глины в двух взаимно перпендикулярных направлениях в лабораторных условиях мы использовали метод одноплоскостного среза. Для решения поставленной задачи использовался автоматизированный испытательный комплекс АСИС.

Комплекс представляет собой совокупность устройств силового нагружения и управления давлением, приспособлений для испытаний образцов при различных видах напряжённого состояния, измерительной системы АСИС, а также программного обеспечения на базе ПЭВМ.

Размер образцов составлял: 71 мм – диаметр, 35 мм – высота. Испытания проводились по консолидировано-дренированной схеме по ГОСТ 12248. Общий вид образцов после испытания представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. – Образцы ленточной глины после испытания на срез

В результате испытаний срез нескольких образцов при горизонтальном направлении слоистости произошёл по песчаной прослойке, вследствие чего сопротивление сдвигу оказалось значительно ниже, чем для образцов, в которых срез произошёл не по прослойке.

После обработки результатов испытаний, были получены прочностные характеристики образцов ленточной глины. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

По представленным данным можно сделать вывод, что полученные значения удельного сцепления и угла внутреннего трения при сдвиге при вертикальном расположении слоистости на 12 % и 28 % соответственно больше, чем при сдвиге при горизонтальном

расположении слоистости. При срезе образцов по песчаной прослойке характеристики грунта в 2 и более раза оказались меньше, чем при срезе не по прослойке.

Таблица 1. – Прочностные характеристики грунта

Прочностные характеристики грунта	Сдвиг при горизонтальном расположении слоистости	Сдвиг при вертикальном расположении слоистости	Сдвиг по песчаной прослойке
Удельное сцепление грунта, кПа	19,12	21,77	5
Угол внутреннего трения φ , %	7,91	10,98	5

Такое расхождение в определении механических характеристик грунта, несомненно, будет влиять на результаты расчета фундаментов. В частности, на определение несущей способности (устойчивости) фундаментов.

Для подтверждения данного предположения были проведены расчеты устойчивости фундамента распорного сооружения с учетом и без учета анизотропии прочностных свойств.

Расчёт производился в программе FSS-PSU, разработанной в Полоцком Государственном университете. Программа является объективно-ассоциативной системой, позволяющей организовать хранение и манипулирование сложноструктурированными данными. Позволяет выполнить расчёт устойчивости по методу круглоцилиндрических поверхностей при любых грунтовых основаниях. При этом поиск наиболее опасных поверхностей скольжения выполняется итерационным методом по специальному алгоритму [статья Глухова в Вестнике]. Важной особенностью программы является возможность учёта анизотропии прочностных свойств грунта. В данном случае, анизотропия учитывалась по зависимости (1.2).

Программа FSS-PSU позволяет производить расчёт устойчивости откосов и расчёт несущей способности фундамента.

При расчете устойчивости фундаментов в программе вначале задаются размеры фундамента, а затем в уровне обреза прикладываются силы: вертикальная, по центру тяжести фундамента, и горизонтальная. Фундамент рассматривается как твёрдое тело, через которое не могут проходить поверхности скольжения. Все поверхности скольжения проходят через левую точку опирания фундамента. На рисунке 2 для примера приведена одна из расчетных поверхностей скольжения.

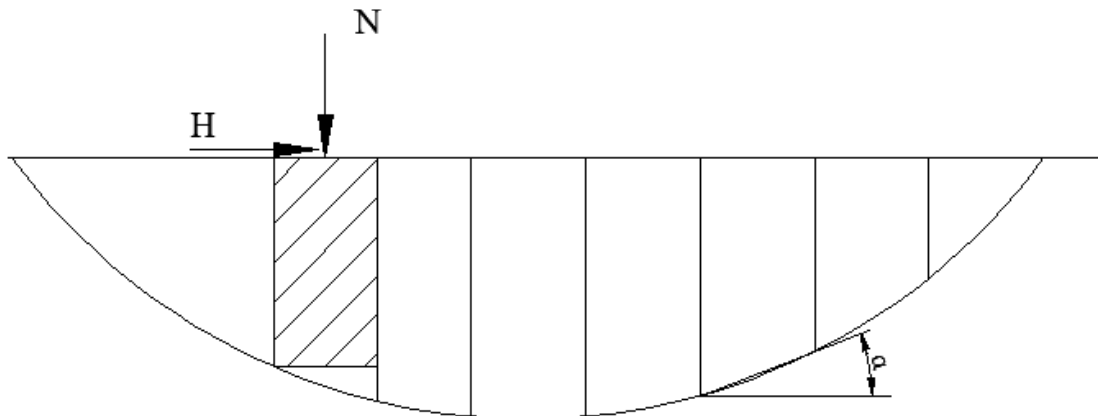


Рисунок 2. – Расчетная схема определения устойчивости фундамента:
 α – угол наклона площадки сдвига к плоскости слоистости;
 N – вертикальная сила, H – горизонтальная сила

Глубина заложения фундаментов для расчёта принимались 1.2, 1.6, 2.0 м и расчет проводился с учётом и без учёта анизотропии прочностных свойств. Нагрузки на фундамент принимались во всех случаях одинаковыми. Пример расчета фундамента в программе FSS-PSU приведен на рисунке 3.

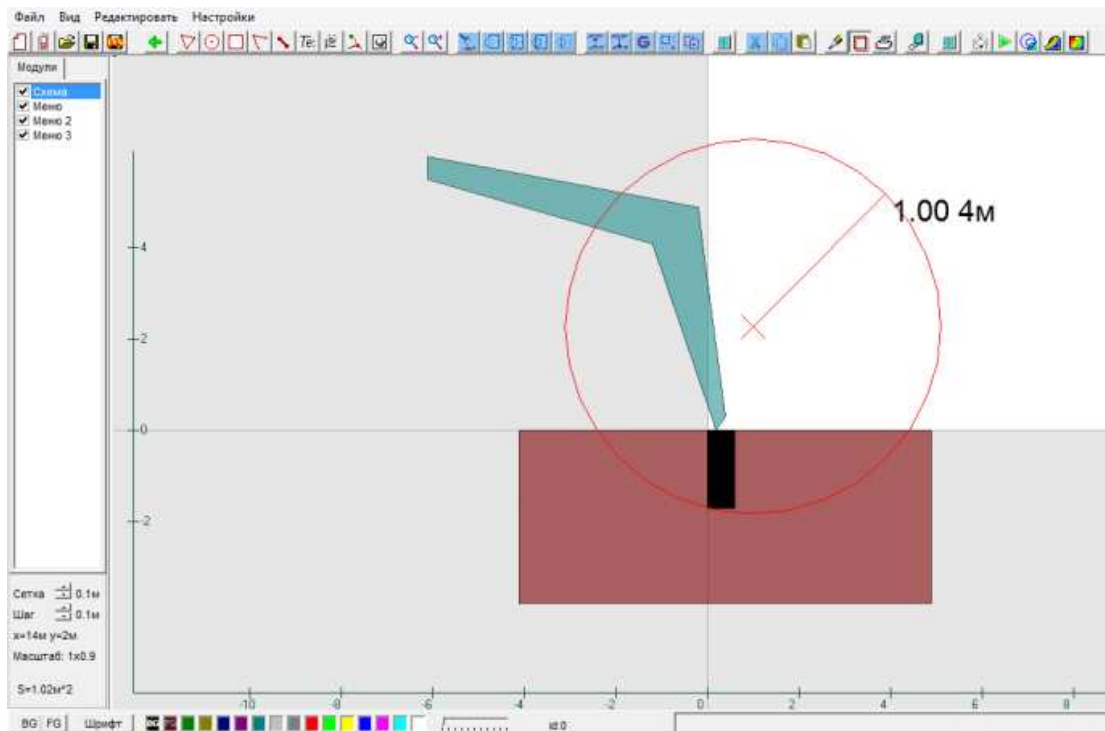


Рисунок 3. – Пример определения устойчивости фундамента (полурама показана условно)

По результатам расчета была составлена сравнительная таблица 2.

Таблица 2. – Результаты расчета устойчивости фундаментов

Глубина заложения фундамента, м	Без учёта анизотропии		С учётом анизотропии	
	Коэффициент устойчивости	Радиус скольжения, м	Коэффициент устойчивости	Радиус скольжения, м
1,2	1,0	4,1	1,02	3,98
1,6	0,94	4,73	0,98	5,11
2,0	1,02	3,57	1,03	5,17

При использовании характеристик грунта, полученных при срезе по песчаной прослойке, коэффициент устойчивости оказался равен 0,21.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что с учётом анизотропии прочностных свойств грунта коэффициент устойчивости фундамента больше, чем без учёта анизотропии. Нужно отметить, что на величину различия коэффициентов устойчивости будет, несомненно, влиять процент различия прочностных характеристик грунта, а также, возможно величины действующих нагрузок.

При использовании прочностных характеристик грунта, полученных при срезе по песчаной прослойке, коэффициент устойчивости с учетом анизотропии получается больше в 4 и более раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика / Сорочан, Е.А. [и др.] ; под общ. ред.: Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М. : Стройиздат, 1985. – 480 с. с ил.
2. Павловская, И.Э. Полоцкий ледниково-озерный бассейн: строение, рельеф, история развития / И.Э. Павловская. – Минск : Навука і тэхніка, 1994. – 128 с.
3. Иванов, П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П.Л. Иванов. – М. : Высш. шк., 1991. – 447 с.
4. Бугров, А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений / А.К. Бугров, А.И. Голубев. – СПб. : Недра, 1993. – 245 с.
5. Кремнев, А.П. Определение наиболее опасной поверхности скольжения при расчете устойчивости откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения / А.П. Кремнев, Д.О. Глухов, Н.Н. Вишняков // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Прикладные науки. Строительство. – 2011. – С. 37–41.