

УДК 624.13:544.022.823

**ДИЛАТАНТНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
ПРИ СДВИГЕ ПО ФИКСИРОВАННОЙ ПЛОСКОСТИ***канд. техн. наук, доц. А.П. КРЕМНЕВ, Д.В. СКОРИК
(Полоцкий государственный университет)*

Представлены результаты измерения величины дилатантных деформаций в глинистых грунтах твердой консистенции при сдвиге по фиксированной плоскости. Рассмотрены характерные этапы развития дилатантных деформаций при сдвиговых деформациях.

Современное развитие геотехники выдвинуло на передний план один из важнейших вопросов механики грунтов, касающийся перехода от эмпирических и полуэмпирических подходов к расчету грунтовых оснований к теоретической модели в полной мере отражающей особенности грунта как дисперсной среды. Одной из главных таких особенностей необходимо отметить способность дисперсной среды изменять первоначальный объем образца при изменении его формы. При этом увеличение объема в процессе формоизменения называется дилатансией, а его уменьшение – контракцией.

Термин «дилатансия» был впервые введен Рейнольдсом в 1885 году. М.Н. Гольдштейн [1, 2] называл дилатансию – фундаментальным свойством зернистой среды. Тем не менее долгое время данное свойство рассматривалось лишь как некий курьезный феномен, представляющий интерес лишь для ученого грунтоведа.

В классической механике грунтов, когда грунтовое основание при определении его напряженно-деформируемого состояния рассматривается как сплошное тело, данное свойство, как правило, не учитывается. На наш взгляд, именно в этом и кроется основная причина отмечаемого отставания теорий расчета от практики.

Как первый значительный вклад в исследование прочностных и деформационных свойств дилатирующих грунтов следует отметить работу Д.Ю. Соболевского [1]. Предложенная им феноменологическая модель позволяет использовать в расчете различных грунтовых оснований (под фундаментами мелко- и глубокого заложения, свайных, глубоких опор и т.п.) единый подход, опирающийся на закон Кулона с учетом дилатантного распора.

Однако выполненные им исследования касались в основном песчаных грунтов. Считалось, что вертикальные деформации образцов песчаного грунта при сдвиге связаны с процессом переупаковки зерен в области среза, которая происходит при преодолении сил межгранулярного трения и зацепления. Для крупных маловлажных и гравелистых песков плотного сложения, за исключением очень рыхлых, при небольших нормальных давлениях (0...300 кПа) объем при разрушении возрастает и величина дилатантных деформаций, зависящая от крупности, плотности и влажности песчаного грунта, может достигать 1,5...2 мм и более. С учетом стесненной дилатансии песчаных грунтов Д.Ю. Соболевским были уточнены условия прочности грунтовых оснований, что позволило приблизить расчетные значения их несущей способности к экспериментальным.

Для глинистых грунтов дилатантные перемещения не исследовались, так как считалось, что из-за небольших размеров частиц (менее 0,005 мм) их перекомпоновка при сдвиге не может оказать существенного влияния на изменение объема образца.

Тем не менее многочисленные исследования показывают [4 – 7], что в плотных и переуплотненных пылевато-глинистых грунтах твердой и полутвердой консистенции прочностные свойства оснований необходимо определять с учетом дилатантного распора. Но при этом особенности поведения глинистых грунтов при сдвиге диктуют повышенные требования к методике проведения лабораторных испытаний образцов, в частности, возможности фиксации перемещений с повышенной точностью и непрерывно в режиме реального времени.

Для проведения испытаний грунтов с учетом перечисленных требований в Полоцком государственном университете была разработана автоматизированная экспериментальная установка на базе сдвигового прибора СПБ-3 для изучения явления дилатансии и контракции (рис. 1).

Конструкция установки позволяет исследовать процесс деформирования образца непрерывно с точностью порядка двух микрон.

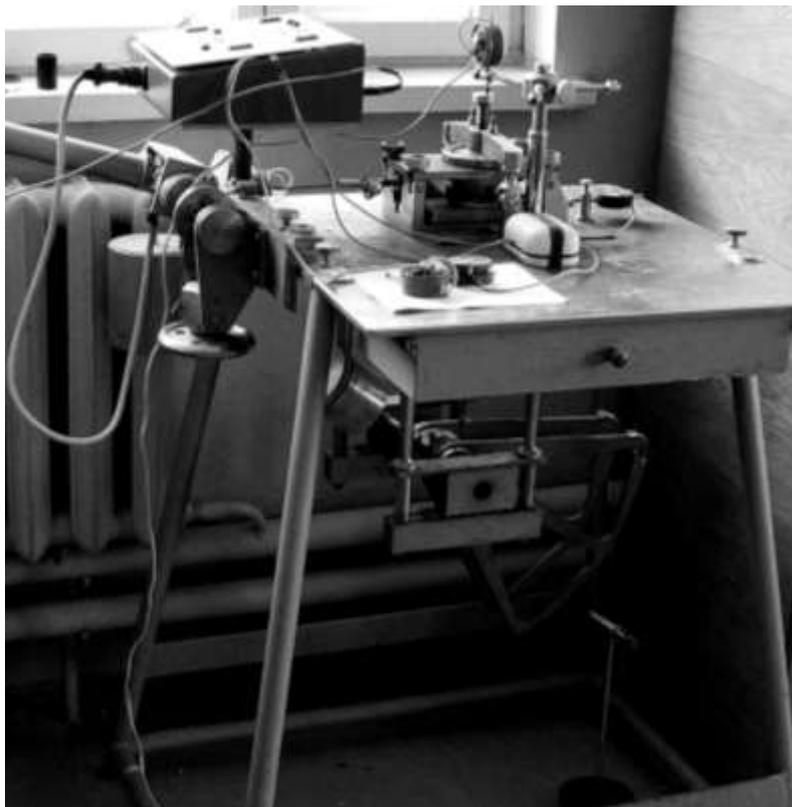


Рис. 1. Принципиальная схема автоматизированного сдвигового прибора

Для проведения эксперимента были отобраны образцы глины твердой ненарушенной структуры. Испытания образцов в приборе прямого среза проводились по консолидированно-дренированной схеме согласно требованиям ГОСТ 12248-96. Полученные значения дилатантного перемещения показаны на рис. 2, 3.

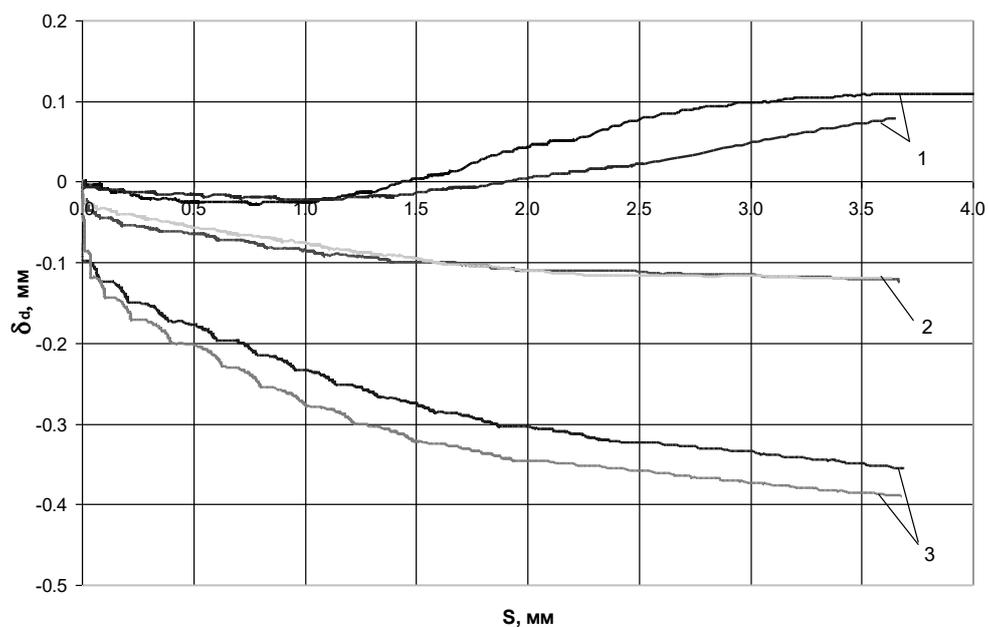


Рис. 2. Сводный график изменения дилатантного перемещения при сдвиговых испытаниях глины:
1 – $\sigma_n = 0,1$ МПа; 2 – $\sigma_n = 0,2$ МПа; 3 – $\sigma_n = 0,1$ МПа

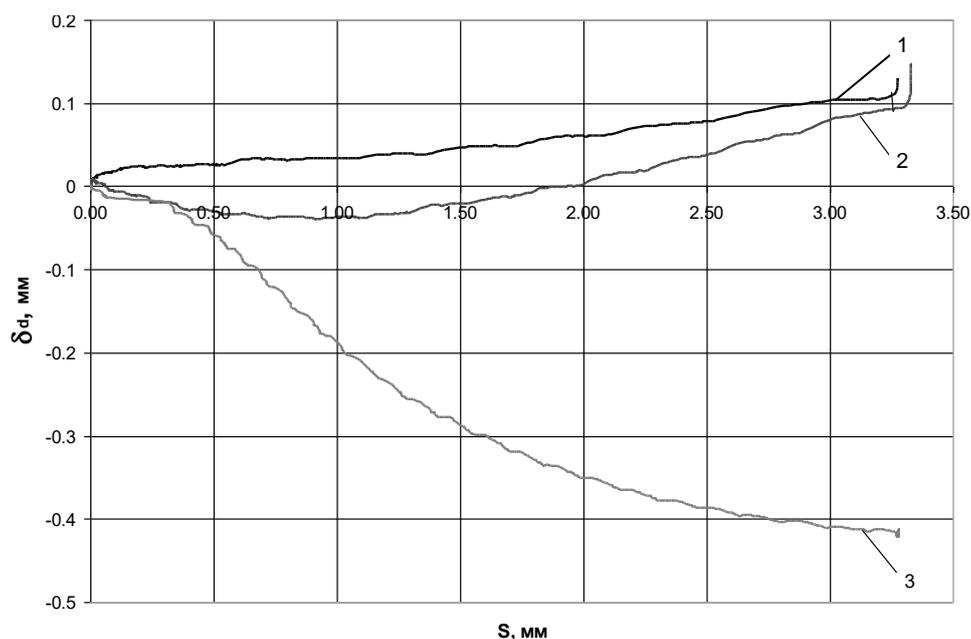


Рис. 3. Сводный график изменения дилатантного перемещения при сдвиговых испытаниях супеси моренной:
 1 – $\sigma_n = 0,1$ МПа; 2 – $\sigma_n = 0,2$ МПа; 3 – $\sigma_n = 0,1$ МПа

Анализ полученных данных показал, что максимальные дилатантные перемещения для испытанных образцов твердой глины и супеси моренной достигались при вертикальном давлении 0,1 МПа и составили в среднем 0,1...0,15 мм. С увеличением нормального давления дилатантные деформации убывают и постепенно сменяются контракцией.

Кроме того, возможность регистрации перемещений в режиме реального времени с частотой 1 Гц позволила выявить особенности развития деформаций объема на различных этапах сдвига.

На первом этапе, которому соответствуют горизонтальные перемещения 0,5...0,8 мм, наблюдается контракция как во время приращения сдвигающего усилия, так и во время стабилизации сдвиговых деформаций на каждой ступени загрузки.

На втором этапе при деформациях в интервале 0,5...1,15 мм в супесях моренных наблюдается дилатансия во время увеличения сдвигающей нагрузки, сменяющаяся контракцией на этапе стабилизации сдвиговых деформаций (рис. 4). Величина приращения дилатантных деформаций в пределах одной ступени нагружения составила 0,002 мм, величина контракции при стабилизации составила 0,006 мм. В глинах в указанном интервале горизонтальных деформаций дилатантные перемещения при приращении сдвигающего усилия практически не происходят.

При дальнейшем приложении сдвигающей нагрузки ($S \geq 1,15...1,2$ мм) как на этапе сдвига, так и на этапе стабилизации до момента окончания испытаний происходят дилатантные перемещения.



Рис. 4. Дилатансия на этапе нагружения и контракция на этапе стабилизации

Проведенные испытания показали, что в отличие от песков, приращение вертикальных деформаций (дилатансия) в переуплотненных твердых глинах в основном связано с образованием в месте локализации плоскости сдвига областей с более плотной структурой, которые при перемещении оказывают расклинивающее воздействие (рис. 5). Поверхность сдвига при этом всегда имела бугристую форму. Точно такая же форма поверхности сдвига была отмечена в ходе стабилметрических испытаний (рис. 6).

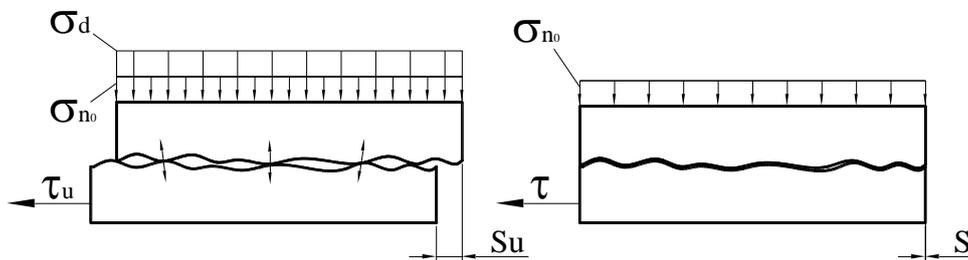


Рис. 5. Механизм возникновения дилатантных перемещений в переуплотненных глинистых твердых и полутвердых грунтах



Рис. 6. Поверхности сдвига образцов, полученные при испытаниях в стабилметре (слева) и в сдвиговом приборе (справа)

Полученные результаты позволят при проектировании фундаментов глубокого заложения, свайных фундаментов, работающих в условиях стесненной дилатансии, учитывать дополнительные дилатантные напряжения, которые являются одним из главных резервов повышения несущей способности и эффективности фундаментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболевский Д.Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта. – Мн.: Навука і тэхніка, 1994. – 232 с.
2. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – 2-е изд. – М., 1971 – 73. Т. 1, 2.
3. Гольдштейн М.Н., Царьков А.А., Черкасов И.И. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
4. Burland J.B. On the compressibility and shear strength of natural clays, 30th Rankine Lecture // Geotechnique. – 1990. – 40(3):329. – P. 78.
5. Jovicic V. Coop MR. The measurements of stiffness anisotropy in clays with bender element tests in triaxial apparatus // GeotechTesting J, GTJODJ. – 2000. – 21(1):3 – 10.
6. Nakai T., Matsuoka H. Shear behaviors of sand and clay under three-dimensional stress condition // Soils Found. – 1983. – 23(2):26 – 42.
7. Cotecchia F., Chandler RJ. The influence of structure on pre-failure behaviour of a natural clay // Geotechnique. – 1997. – 47(3):523 – 44.