

УДК 624.13

## **ПРИРОДА СЦЕПЛЕНИЯ И ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ**

**Ляшенко П.А.**

*Кубанский государственный аграрный университет,  
г. Краснодар, Россия*

Отражена природа сцепления и внутреннего трения глинистых грунтов. Показаны характер взаимодействия между глинистыми частицами при разных расстояниях между ними и с учетом их смещений при сжатии и сдвиге

The article describes the essence of internal friction and cohesion of clayey soils. Here presents the feature of the interaction between clay particles at different distances between them by taking into consideration of displacement of the particles under compression and shearing.

**Введение.** Глинистые грунты состоят из песчаных и пылеватых частиц, связанных между собой на контактах глинистыми частицами и их микроагрегатами (рис. 1). Физико-химическая природа контактов глинистых частиц известна. Параллельные грани соседних частиц образуют контакт типа «базис-базис» [1-3]. При поступательном перемещении в таком контакте действуют силы, потенциал которых «характеризуется наличием двух потенциальных минимумов на расстояниях  $h_1$  и  $h_2$  (получивших название соответственно ближнего и дальнего), а также разделяющего их энергетического барьера  $U_{\max}$ » [1–3].

Глинистые частицы имеют форму пластин с их взаимной ориентацией отличной от параллельной. Они могут располагаться под углом друг к другу, образуя контакт типа «базис-скол» [1, 3]. Силы в контактах двух типов могут существенно различаться, что влияет на механизм разрушения микроструктуры грунта под нагрузкой.

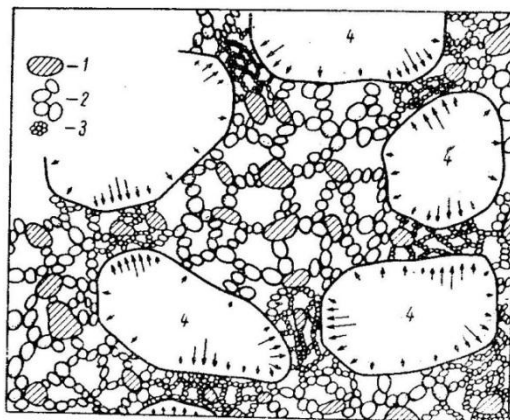


Рис. 1. Микроструктура глины (по А. Казагранде [4]):  
 1 – частицы глины; 2 – уплотненные коллоиды;  
 3 – зерна песка и пыли

Известно, что глинистые частицы образуют микроагрегаты, прочность которых больше прочности грунта, в целом, причём границы микроагрегатов выглядят размытыми [1, 3]. Легко предположить, что микроагрегаты связаны между собой произвольно ориентированными глинистыми частицами, образующими контакты типа «базис-скол». Внутри микроагрегатов частицы более упорядочены и контактируют по типу «базис-базис».

**Взаимодействие глинистых поверхностей.** Примем за основу известное описание взаимодействия параллельных граней (типа «базис-базис» – рис. 2) и построим его помощью модель взаимодействия частиц в контакте типа «базис-скол».

Предположим, что глинистая частица плоской формы взаимодействует с одним микроагрегатом (базовым) силами ближней агрегации, а со смежным – силами дальней агрегации  $F_{b2}$  [1, 3].



Рис. 2. Реакция контакта типа «базис-базис» на поступательное перемещение параллельных граней глинистых частиц

Внешняя нагрузка стремится сблизить микроагрегаты, а контактирующая частица, поворачиваясь вокруг точки закрепления на базовом микроагрегате, сопротивляется сближению (рис. 3). Решение задачи о равновесии контактирующей частицы в микропоре между микроагрегатами показало, что нормальная составляющая сопротивления увеличивается с ростом угла поворота до максимума  $\sigma_{\max}$ , при угле  $\beta = \beta_m$ , а затем падает до нуля.

Рассмотрим контакт типа «базис-скол», лежащий на поверхности максимальных касательных напряжений  $\Omega(\tau_{\max})$ . При малых углах поворота контактирующей частицы деформация контакта происходит упруго. При некотором значении угла поворота  $\beta = \beta_o$  касательное напряжение, соответствующей тангенциальной составляющей реакции контакта, достигает предельного значения  $\tau_{\max} = \tau_{\lim.o}$  и остаётся постоянным в диапазоне углов поворота  $\beta_o \leq \beta \leq \beta_m$ . Тангенциальное перемещение  $u$  увеличивается со скоростью, определяемой значениями  $\tau_{\lim.o}$  и коэффициента вязкости поровой жидкости  $\eta$ .

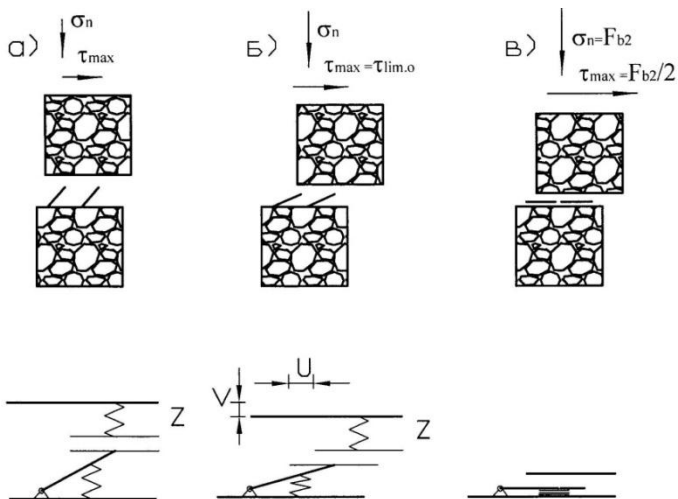


Рис. 3. Схема деформации контакта с поворотом контактирующих частиц в упругой фазе (а) и пластично-вязкой (б). При больших напряжениях контактирующие частицы сливаются с микроагрегатом (в)

Значение тангенциального перемещения ограничено свободным пространством на поверхности  $\Omega(\tau_{\max})$  наиболее крупных пор. Последниe сложены из элементов с такими же контактами, только разрушаются в первую очередь вследствие концентрации напряжений на них. Поэтому разрушение группы наиболее крупных пор на  $\Omega(\tau_{\max})$  влечет сдвиг по микропорам слоя микроагрегатов и формирование физической поверхности скольжения  $\omega$  (рис. 4).

Сопротивление сдвигу на поверхности  $\omega$  определяет сцепление грунта  $c$ , входящее в условие прочности Ш. Кулона.

**Модель поверхности скольжения.** Поверхность скольжения искривляется на наиболее крупных минеральных зернах, причем искривление тем больше, чем крупнее зерна (рис. 5). Если длину площадки скольжения по наиболее крупным порам обозначить через  $M_4$ , а размер наиболее крупных зерен – через  $L_4$ , то угол отклонения поверхности  $\omega$  от поверхности  $\Omega(\tau_{\max})$  можно выразить формулой:  $\delta = \arctg L_4 / 2M_4$ .

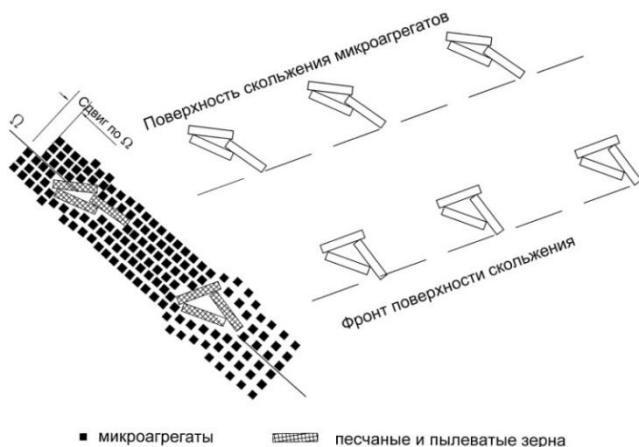


Рис. 4. Сдвиг микроагрегатов с разрушением наиболее крупных пор образует площадку на поверхности скольжения

Угол внутреннего трения по условию прочности Ш. Кулона выразим формулой:  $\varphi = 2\delta$ .

На наиболее крупных зернах происходит торможение поверхности скольжения, а высокая концентрация напряжений создает условия для преобразования контактов типа «базис-скол» в контакты типа «базис-базис». В условиях ограниченности тангенциального перемещения сопротивление контакта возрастает до значений  $\tau_m \gg \tau_{lim.o}$  [5], а увеличение внешнего давления до значений  $\sigma = F_{b2} \gg \sigma_{max}$  приводит к слиянию контактирующей частицы с микроагрегатом (рис. 3, в).

**Определение характеристик и параметров модели поверхности скольжения.** Из представленной выше модели следует, что перемещение микроагрегатов происходит быстро, когда поверхность скольжения проходит через наиболее крупные поры, лежащие на поверхности максимальных касательных напряжений. Скорость перемещения уменьшается, когда поверхность скольжения огибает наиболее крупные зёрна. Если сопротивление скольжению оказывает группа контактов на макроскопической площадке, то изменение скорости регистрируется прибором при нагружении грунтового тела.

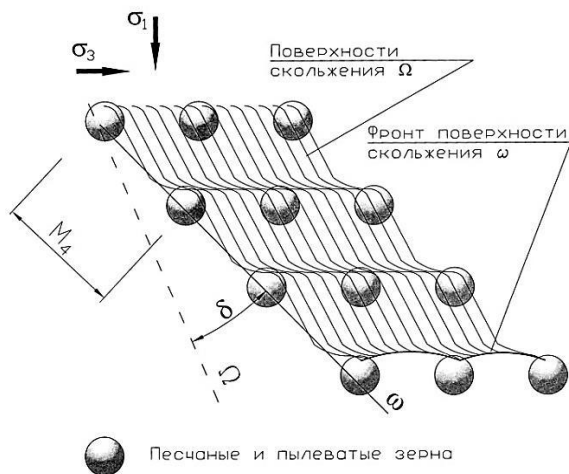


Рис. 5. Поверхность скольжения развивается ступенями, преодолевая сопротивление на поверхности наиболее крупных зерен

Действительно, при нагружении с постоянной скоростью увеличения давления на образец грунта в компрессионном приборе скорости деформации изменяется циклически (рис. 6) [6, 7].

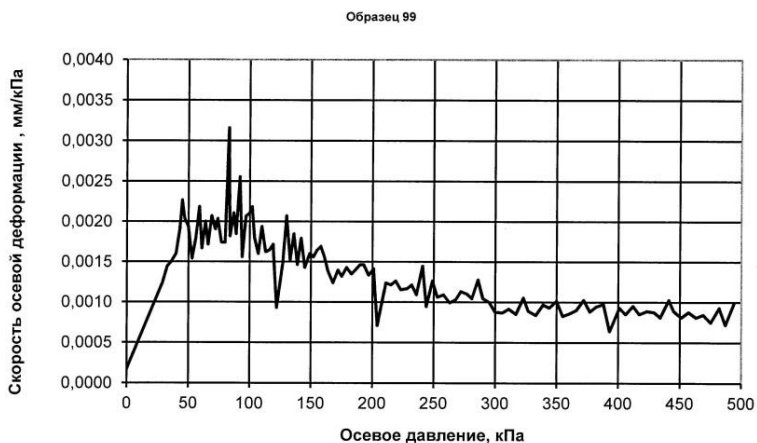


Рис. 6. Скорость деформации сжатия образца, вычисленная с шагом регистрации осадки 0,005 мм

В рамках представленной модели рост скорости деформации можно трактовать как перемещение группы контактов по участку поверхности скольжения, а уменьшение скорости – как огибание поверхностью скольжения группы наиболее крупных зерен.

Тогда регистрация деформации с малым шагом (не более 0,005 мм) позволяет использовать испытание образца грунта для определения характеристик микроструктуры и коэффициентов уравнения сдвиговой прочности Ш. Кулона.

Например, для образца № 99, твердого суглинка с коэффициентом пористости 0,65, испытанного в компрессионном приборе, получены значения:  $L_4 = 0,03$  мм,  $M_4 = 0,22$  мм,  $\varphi = 16^\circ$ ,  $c = 67$  кПа.

## Литература

1. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород / В.И. Осипов. – М. : Изд-во МГУ, 1979. – 235 с.
2. Нерпин, С.В. Физика почвы / С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский. – М. : Наука, 1967. – 583 с.
3. Осипов, В.И. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений / В.И. Осипов, В.Н. Соколов, В.В. Еремеев. – М. : Наука, 2001. – 238 с.
4. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов: (Напряженно-деформативные и прочностные характеристики) / М.Н. Гольдштейн. – М. : Стройиздат, 1979. – 304 с.
5. Ляшенко, П.А. Контактное взаимодействие элементов микроструктуры глинистого грунта [Электронный ресурс] / П.А. Ляшенко, В.В. Денисенко // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – № 78.
6. Ляшенко, П.А. Модель деформации структуры глинистого грунта // ГЕОЭКОЛОГИЯ. Инженерная геоэкология. Гидрогеология. Геокриология, 1994. – № 6. – С. 34–42.
7. Ляшенко, П.А. Вычисление характеристик микроструктуры грунта в опыте с компрессионным сжатием образца [Электронный ресурс] / П.А. Ляшенко, В.В. Денисенко // Научный журнал КубГАУ. – № 45(01). – 2009. – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2009/01/pdf/03.pdf>.