

УДК622: 625.8

## **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ РАЗДРОБЛЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД (ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ) МЕТОДОМ КОСОГО СРЕЗА**

Шабаев С.Н., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и  
городского кадастра

Аксенова О.Ю., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой начертательной  
геометрии и графики

Мартель Н.А., студент гр.СДм-181, II курс

Штарк А.И., студент гр.СДм-181, II курс

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т. Ф. Горбачева»  
г. Кемерово

Как отмечалось в работе [1], наиболее подходящим методом определения прочностных характеристик зернистых материалов, содержащих в своем составе крупные частицы размером более 10 мм в количестве более 40 % по массе, является метод косого среза. Однако и он, будучи реализованным при помощи клиновой установки типа КУ-54 [2], не способен решить данную задачу без доработок самой установки. Тем не менее, данный метод определения прочностных характеристик раздробленных горных пород (зернистых материалов) фактически является единственным, способным решить поставленную задачу [3-6].

Рассмотрим физическую суть метода косого среза. Верхняя и нижняя обоймы клиновой установки [2] образуют поверхность сдвига (площадку), расположенную под некоторым углом  $\alpha$  к поперечному сечению (рис. 1). Данная поверхность сдвига фактически представляет собой эллипс, который характеризуется радиусом большой оси  $R$  и радиусом малой оси  $r$ . В результате приложения внешней нагрузки  $F$ , в сечении фактически возникают нормальная нагрузка  $F_\sigma$  и сдвигающая нагрузка  $F_\tau$ . Величины данных нагрузок будут определяться из зависимостей:

$$F_\sigma = F \cdot \cos \alpha,$$

$$F_\tau = F \cdot \sin \alpha.$$

Сама поверхность сдвига будет характеризоваться площадью  $S$ . Так как поверхность наклонена под углом  $\alpha$  к поперечному сечению, то ее площадь равна:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \cos \alpha},$$

где  $d$  – внутренний диаметр обойм.

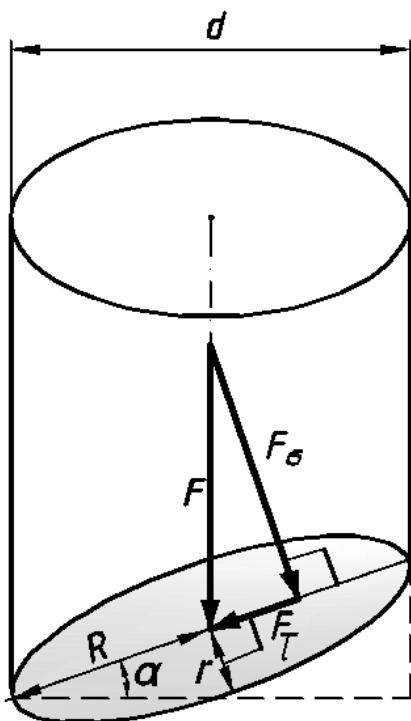


Рис. 1. Расчетная схема реализации метода косого среза

Исходя из этого, нормальные ( $\sigma$ ) и касательные ( $\tau$ ) напряжения, действующие в рассматриваемом сечении, равны:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F \cdot \cos^2 \alpha}{\pi \cdot d^2}, \quad (1)$$

$$\tau = \frac{4 \cdot F \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot d^2}. \quad (2)$$

Если принять, что величина  $\frac{4}{\pi \cdot d^2} = k = \text{const.}$ , то формулы (1) и (2)

можно записать в виде:

$$\sigma = k \cdot F \cdot \cos^2 \alpha, \quad (3)$$

$$\tau = k \cdot F \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha. \quad (4)$$

Так как величина  $k = \text{const.}$ , то формулы (3) и (4) можно проанализировать с точки зрения влияния величины угла наклона поверхности сдвига  $\alpha$  на скорость роста величин нормального и касательного напряжений с увеличением величины внешней нагрузки. Так как в методике [2] рекомендуемые величины угла наклона составляют  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  и  $60^\circ$ , то построим графики зависимости изменения нормального и касательного напряжений от изменения величины внешней нагрузки при условии, что  $k = 1$  (рис. 2). Анализ данных, представленных на рис. 2, позволяет сделать следующие выводы:

1. При  $\alpha=60^\circ$  и  $\alpha=50^\circ$  с увеличением величины внешней нагрузки скорость роста касательного напряжения в 1,7 и 1,2 раза соответственно превосходит скорость увеличения нормального напряжения, следовательно, если раздробленная горная порода (зернистый материал) не обладает сцеплением

(структурным зацеплением) или оно не значительно, то данная среда будет разрушаться (происходить сдвиг) даже от собственного веса.

2. При  $\alpha=40^\circ$  и  $\alpha=30^\circ$  с увеличением величины внешней нагрузки скорость роста касательного напряжения в 1,2 и 1,75 раз соответственно ниже скорости увеличения нормального напряжения, значит, сдвиг может произойти только в том случае, когда угол внутреннего трения раздробленной горной породы (зернистого материала) будет ниже угла наклона поверхности сдвига  $\alpha$ . Безусловно, сдвиг можно достичнуть и при не соблюдении этого условия, однако в этомслучае неизбежно будет происходить процесс разрушения (измельчения) раздробленной горной породы (зернистого материала) до такого состояния, при котором этот сдвиг станет возможен.

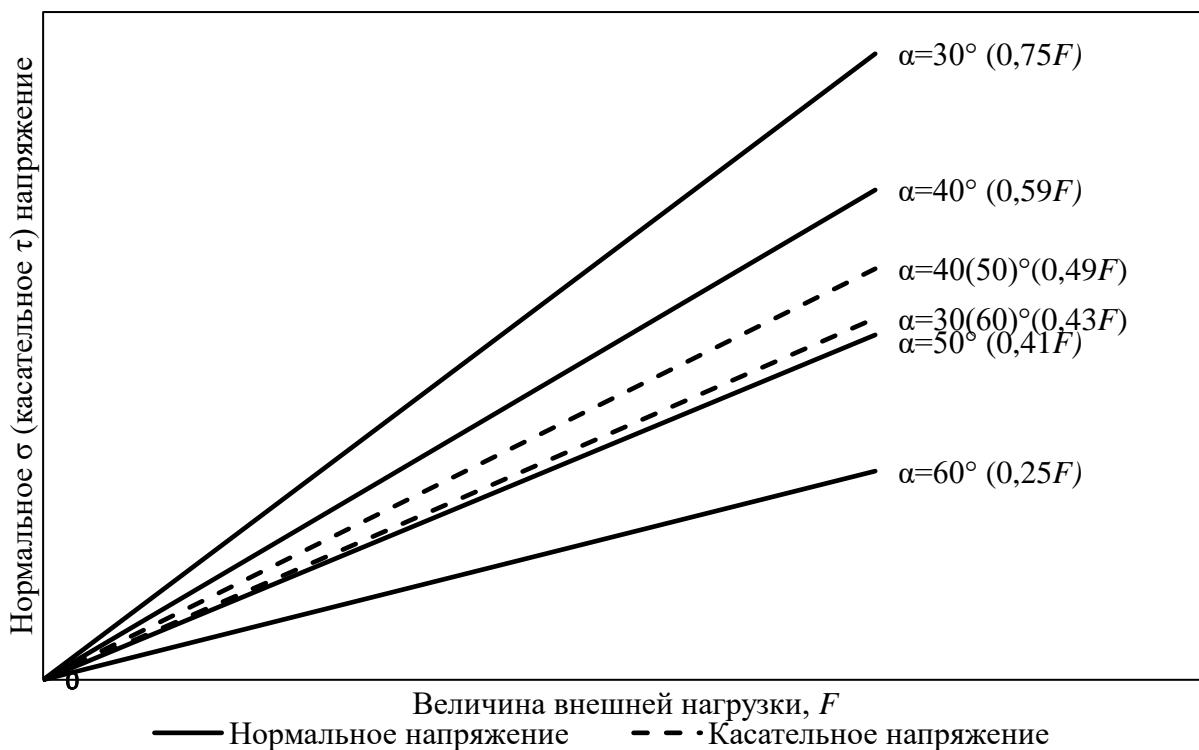


Рис. 2. Зависимость нормального (касательного) напряжения от величины внешней нагрузки при различном угле наклона поверхности сдвига

В соответствии с общими рекомендациями по определению прочностных характеристик грунтов известно, что испытания необходимо производить при трех различных значениях нормального напряжения. Применительно к методу косого среза[2] это проявляется в проведении испытаний при трех различных углах наклона поверхности сдвига:  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  или  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ . Однако, как показывает анализ данных, для раздробленных горных пород (зернистых материалов), имеющих зачастую угол внутреннего трения  $35\dots45^\circ$  и очень малое сцепление, данный подход не приемлем. Обусловлено это тем, что при угле наклона поверхности сдвига  $30^\circ$ , испытания проводить не рекомендуется, так как с высокой долей вероятности без разрушения зернистой среды сдвиг происходит не будет, а при угле наклона  $60^\circ$  (а иногда и  $50^\circ$ ) –

сдвиг будет происходить под действием собственной массы испытуемой среды.

Таким образом, для определения прочностных характеристик раздробленных горных пород (зернистых материалов) методом косого среза необходимо испытания проводить, как минимум, и при угле наклона поверхности сдвига  $45^\circ$ . Следовательно, рекомендуемый минимальный набор обойм должен обеспечивать угол наклона поверхности сдвига  $40^\circ, 45^\circ, 50^\circ$ . В расширенный набор могут также входить обоймы, обеспечивающие угол наклона поверхности сдвига  $35^\circ; 37,5^\circ; 42,5^\circ; 47,5^\circ$ .

### **Список литературы:**

1. Шабаев, С. Н. Проблемы оценки сдвигоустойчивости конструктивных слоев дорожной одежды из зернистых материалов. / С. Н. Шабаев, Э. З. Горбунова, Н. А. Мартель, А. И. Штарк // Сборник материалов XI Всерос. научно-практической конференции с международным участием «Россия моло-дая», 16-19 апр. 2019 г., Кемерово [Электронный ресурс]. – Кемерово: ФГБОУ ВО КузГТУ, 2019, 60107. (Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2019/RM19/pages/Articles/60107.pdf>)
2. ВСН 29-76. Технические указания по оценке и повышению технико-эксплуатационных качеств дорожных одежд и земляного полотна [Текст]. – М.: Транспорт, 1977.
3. Добров, Э.М. Крупнообломочные грунты в дорожном строительстве [Текст] / Э.М. Добров [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. - 180 с.
4. Трофименков, Ю.Г. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов [Текст] / Ю.Г. Трофименков – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с., ил.
5. Авакян, Л. А. Вопросы методики исследования физико-технический свойств крупнообломочных грунтов на основе опыта ТНИСГЭО [Текст]. – В. кн.: Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. В 2 т. Т. II. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 245-249.
6. Сидоров, Н. Н. Лабораторные исследования механических свойств крупнообломочных грунтов [Текст] / Н. Н. Сидоров, А. А. Лаврова, И. В. Ковалев // Тр. ЛИИЖТ. Подземные сооружения, основания и фундаменты. – 1965. – Вып. 241. – С. 115-117.