

Экспериментальное определение предела прочности грунта на сдвиг при динамическом нагружении

С.Ф. Маклаков, В.А. Мишин

Ростовский государственный университет путей сообщения

Аннотация: В статье приведены результаты экспериментального исследования влияния скорости нагружения мягких грунтов на их предел прочности на сдвиг. Экспериментальное определение этой зависимости проводилось методом динамического внедрения тела в грунт. При этом осуществлялось непосредственное измерение касательных напряжений, действующих на его поверхности. Экспериментальные исследования проведены для диапазона скоростей внедряемого тела от 2 до 100 м/с. Установлено, что при скорости более 10 м/с величина предела прочности на сдвиг начинает уменьшаться, и при скорости более 95 м/с становится пренебрежимо малой. Это дает основание рассматривать мягкие грунты при действии на них динамических нагрузок как сжимаемую жидкость

Ключевые слова: предельное состояние грунта, предел прочности на сдвиг, диаграмма деформирования грунта, скорость деформирования, метод динамического внедрения, сжимаемая жидкость.

Под прочностными характеристиками грунтов понимаются параметры его предельного состояния, когда происходит неограниченное развитие сдвиговых пластических деформаций по всему объему грунта или неограниченное развитие относительного смещения одной части грунта по другой (разрыв) при неизменной величине касательных напряжений. В первом случае имеет место пластическое разрушение, а во втором - хрупкое разрушение.

Очевидно, что характер разрушения зависит от исходной плотности-влажности грунтов, от структурных связей между частицами грунта. Хрупкое разрушение характерно для плотных глинистых и скальных грунтов [1,2], когда в результате разрушения образец распадается на отдельные куски. Пластическое разрушение характерно для песчаных и неплотных глинистых грунтов [3,4]. Характер разрушения грунта также зависит от скорости нагружения.

Соппротивление грунта сдвигу определяют как предельное среднее касательное напряжение (предел прочности на сдвиг τ_s), при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении.

Характерным свойством мягких грунтов (глин, суглинков, супесей, лессов) является существование сильно отличающихся диаграмм деформирования: статической, когда скорость деформирования мала, и динамической, когда скорость деформирования стремится к бесконечности [5,6,7].

Величина предела прочности грунта на сдвиг при высокоскоростном нагружении определяется экспериментально методом динамического внедрения в грунт осесимметричного тела. При этом используются методы регистрации кинематических или динамических параметров.

Зависимость величины предела прочности грунта на сдвиг от скорости нагружения с помощью метода регистрации кинематических параметров (скорости внедрения тела и глубины его проникания в грунтовую преграду) исследована в [8]. В этой работе впервые экспериментально оценена величина τ_s мягких грунтов при различных скоростях нагружения, но точность результатов низка. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, скорость нагружения не была постоянной и изменялась в процессе проникания от начальной до нуля. Во-вторых, при определении предела прочности грунта на сдвиг не учитывался вклад нормальных напряжений в величину силы сопротивления, что весьма существенно при больших скоростях приложения нагрузки.

Влияние скорости нагружения на величину предела прочности грунта на сдвиг τ_s с помощью метода регистрации динамических параметров исследовано в [9,10], где предложены и методы экспериментальной оценки значений указанных предельных напряжений. Для определения предела

прочности грунта на сдвиг осуществлялось внедрение с постоянной скоростью осесимметричных цилиндров с коническими наконечниками. Диапазон исследованных скоростей движения составлял от $5 \cdot 10^{-5}$ до 20 м/с. Цилиндр и конус не имели силовой связи и были закреплены на отдельных силоизмерительных устройствах. Величина касательных напряжений, равная пределу прочности материала на сдвиг τ_s , определялась делением величины силы сопротивления движению цилиндра на площадь его боковой поверхности, контактирующей с пластилином. Однако при скоростях внедрения в пластилин, больших 20 м/с, данный способ определения величины τ_s дает большую погрешность, поскольку с увеличением скорости контакт цилиндрической поверхности со средой частично исчезает из-за образования каверны, диаметр которой превышает диаметр цилиндра.

Наиболее точные результаты определения зависимости τ_s от скорости приложения нагрузки обеспечиваются методами регистрации динамических параметров, обеспечивающими непосредственное измерение касательных напряжений, действующих на поверхности тела при его внедрении в грунт. С этой целью разработана экспериментальная установка, обеспечивающая реализацию этого метода. В качестве чувствительных элементов использовались пьезоэлектрические преобразователи силы, воспринимающая поверхность которых находилась на уровне внешней поверхности. Разгон внедряемых тел осуществлялся с помощью пневматической пушки, после чего они по инерции внедрялись в исследуемый материал. Масса внедряемых тел выбиралась такой, чтобы в процессе их внедрения на глубину, равную расстоянию от вершины конуса до пьезопреобразователя, падение скорости не превышало 3% от её начального значения. Связь регистрирующей аппаратуры с пьезоэлектрическими преобразователями осуществлялась по кабельной линии.

Экспериментальные исследования, проведенные по этому методу, позволили получить зависимость предела прочности грунта на сдвиг τ_s , от скорости v движения внедряемого тела в диапазоне скоростей от 2 до 100 м/с. На рисунке №1 показан полученный по результатам эксперимента график зависимости предела прочности исследуемого материала на сдвиг τ_s , от скорости v движения внедряемого тела.

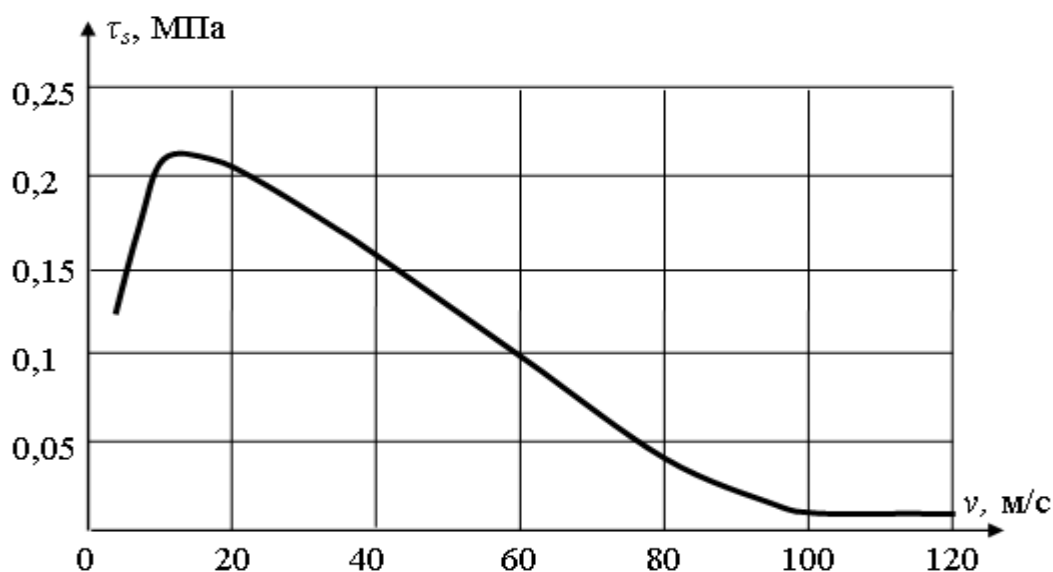


Рис.№1 График зависимости предела прочности на сдвиг от скорости деформирования

Видно, что в диапазоне скоростей от 2 до 10 м/с, при которых величина нормального давления на коническую поверхность сравнительно невелика, с ростом скорости нагружения интенсивность касательных напряжений и, соответственно, величина предела прочности материала на сдвиг возрастают. В этом диапазоне скоростей значения τ_s , близки к полученным в [10]. При скорости $v \approx 10$ м/с рост величины τ_s , прекращается, и при дальнейшем увеличении скорости интенсивность касательных напряжений на поверхности тела уменьшается. При скоростях $v \geq 95$ м/с значения τ_s , становятся пренебрежимо малы.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показывают, что интенсивное динамическое нагружение мягких грунтов сопровождается уменьшением действующих в ней касательных напряжений до пренебрежимо малых значений. Это дает основание рассматривать мягкие грунты при действии на них динамических нагрузок как сжимаемую жидкость.

Литература

1. Берлинов М.В. Основания и фундаменты. М.: Высшая школа, 1998. 319 с.
2. Gioda, G. and A. Cividini, 1996. Numerical Methods for the Analysis of Tunnel Performance in squeezing Rocks. Rock Mechanics and Rock Engineering (issue 29(4)), Austria:Springer-Verlag, pp: 171-193.
3. Yin, Z.Y., C.S. Chang, M. Karstunen and P.Y. Hicher, 2010. An anisotropic elasticviscoplastic model for soft clays. International Journal of Solids and Structures, 47, pp: 665-677.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. 268 с.
5. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра, 1990. 220 с.
6. Дежина И.Ю. Об одном методе решения задач реологии в лессовых просадочных грунтах // Инженерный вестник Дона. 2017. №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4001.
7. Чмшкян А.В. Совершенствование методов расчета просадочных деформаций // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть2) URL: ivdon.ru/magazine/achive/n4p2y2012/1256.
8. Бивин Ю.К., Викторов В.В., Степанов Л.П. Исследование движения твердого тела в глинистой среде // Изв. АН СССР. МТТ. 1978. №2. С. 159-165.



9. Бивин Ю.К., Викторов В.В., Коваленко Б.Я. Определение динамических характеристик грунтов методом пенетрации // Изв. АН СССР. МТТ. 1980. №3. С. 105-110.
10. Бивин Ю.К., Колесников В.А., Флитман Л.М. Определение механических свойств среды методом динамического внедрения // Изв. АН СССР. МТТ. 1982. №5. С. 181-185.

References

1. Berlinov M.V. Osnovaniya i fundamenty [Foundations]. M.: Vysshaya shkola, 1998. 319 p.
 2. Gioda, G. and A. Cividini, 1996. Rock Mechanics and Rock Engineering (issue 29(4)), Austria:Springer-Veriag, pp. 171-193.
 3. Yin, Z.Y., C.S. Chang, M. Karstunen and P.Y. Hicher, 2010. International Journal of Solids and Structures, 47, pp. 665-677.
 4. Tsytovich N.A. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. M.: Vysshaya shkola, 1983. 268 p.
 5. Amaryan L.S. Svoystva slabykh gruntov i metody ikh izucheniya [Properties of weak soils and methods for studying them]. M.: Nedra, 1990. 220 p.
 6. Dezhina I.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4001.
 7. Chmshkyan A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (part 2) URL: ivdon.ru/magazine/achive/n4p2y2012/1256.
 8. Bivin Yu.K., Viktorov V.V., Stepanov L.P. Izv. AN SSSR. МТТ. 1978. №2. pp. 159-165.
 9. Bivin Yu.K., Viktorov V.V., Kovalenko B.Ya. Izv. AN SSSR. МТТ. 1980. №3. pp. 105-110.
 10. Bivin Yu.K., Kolesnikov V.A., Flitman L.M. Izv. AN SSSR. МТТ. 1982. №5. pp. 181-185.
-