



Высокоскоростное деформирование связных грунтов



Александр ТЕЛЫХ

Alexander N. TELYKH

High-Speed Deformation of Cohesive Soils

(текст статьи на англ.яз. –
English text of the article – p.81)

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с получением реологических характеристик грунтов на основе созданного при участии автора устройства. Прибор динамического деформирования позволяет адекватно смоделировать процесс взаимодействия рабочих органов путевых и дорожно-строительных машин с грунтовой средой, при этом используя предусмотренный способ определения реологических свойств дисперсных материалов.

Ключевые слова: путевые и дорожно-строительные машины, грунт, динамическое деформирование, реология, коэффициент вязкости, скорость воздействия.

Телых Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

На этапе проектирования и исследования различных конструкций рабочих органов (РО) путевых и дорожно-строительных машин (ПДСМ) общепринятой считалась методика, в которой присутствовал момент многошагового поэтапного изучения процесса взаимодействия РО со средой для его дальнейшего совершенствования без учета изменений характеристик грунта.

Подобный подход, однако, не вполне оправдан в силу того, что изменение свойств материала накладывает на рабочее оборудование ПДСМ определенные ограничения, влияя на эффективность применения техники.

1.

Характер воздействия и величины разрушающих сил при механическом измельчении грунтов обуславливаются физико-механическими свойствами материала, в первую очередь, прочностью, твердостью и вязкостью. Наиболее рациональный путь разрыва связи между грунтовыми агрегатами основан на создании в зоне их контакта напряжений растяжения. Чтобы в деформируемом объеме грунта возникло такое напряжение, обычно требуется приложить

усилие сжатия в чистом виде или в совокупности с другими видами воздействий, например, сдвиговыми. Реальная картина разрушения в глинистых грунтах носит реологический характер, то есть сдвигающее напряжение, развивающееся по плоскости скольжения, зависит от скорости сдвига.

Существующие методики оценки сдвигоустойчивости связных грунтов правомочны при испытании последних применительно к малым скоростям воздействия на среду. Согласно методикам [1], быстрым, с точки зрения большинства авторов, считается сдвиг продолжительностью 0,5–1 мин, что с учетом времени воздействия РО машины является процессом квазистатическим, несоответствующим общепринятым скоростным параметрам оборудования. Хотя зачастую полагают, что квазистатическая зависимость выражает основные свойства материала, а ее применимость соответствует той скорости деформации, при которой производятся испытания.

С увеличением скорости деформации может измениться сам характер связи между напряжением и деформациями, что заставляет прибегнуть к другим видам испытаний. Поэтому, очевидно, результаты лабораторных исследований только в том случае будут достоверными, когда методика их проведения наиболее полно моделирует поведение грунта под воздействием РО.

С целью определения оптимальной скорости воздействия на среду при изменении ее физико-механических свойств необходима теоретически обоснованная методика испытаний, отражающая особенности расчетной схемы и учитывающая особенности реагирования материала под динамическими нагрузками в пределах $V=1-11$ м/с. Обычные методики и сдвиговые приборы не в состоянии обеспечить получение реологических характеристик материалов в указанном диапазоне скоростного режима.

Так, для связных грунтов типична значительная зависимость изменения деформативных свойств от скорости воздействия. Методически считается, что условия взаимодействия подвижной каретки сдвигового прибора адекватно моделируют условия

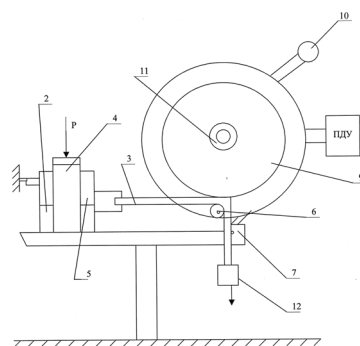


Рис. 1. Стенд для исследования реологических свойств грунта: 1 – стол; 2 – неподвижная обойма; 3 – тяга; 4 – камера; 5 – обойма; 6 – ролик; 7 – кронштейн; 8 – двигатель; 9 – диск; 10 – рукоять; 11 – прижимная втулка; 12 – груз.

взаимодействия РО единичного размера с грунтом. Действительно, длина зоны сдвига существующих приборов составляет 17 мм, что при переносе на практику резания ротора диаметром 0,5–1,0 м соответствует условиям взаимодействия лопатки с грунтом при повороте вала ротора на угол в диапазоне $2-3^\circ$. То есть с достаточной степенью точности можно полагать, что движение лопатки на таком пути фактически прямолинейно.

Поэтому поиск технических решений для определения реологических свойств дисперсных материалов при скоростном деформировании приводит к необходимости совершенствования и создания приборов и аппаратуры на принципиально новой основе.

Разработанные при участии автора способ и прибор динамического деформирования [2] позволяют адекватно моделировать процесс взаимодействия РО со средой (грунтом) и увязать его воздействие с определением реологических свойств исследуемого материала (рис. 1).

2.

Постановка задач исследования предусматривала:

1. Выбор физически обоснованного диапазона скоростного воздействия на грунт с учетом широкого спектра свойств (влажность, плотность, пластичность, дисперсность и др.).

2. Определение возможности влияния на процесс деформирования и управления им.

Методикой планирования экспериментальных исследований предполагалось





Таблица 1

План экспериментальных исследований

Наименование фактора	Обозначение единицы измерения	Интервал варьирования	Основной уровень	Нижний уровень	Верхний уровень
Скорость воздействия	Vд, м/с	4,12	6,76	2,64	10,88
Плотность грунта	ρ, г/см ³	0,2	1,9	1,7	2,1
Влажность грунта	W, %	7,5	15	7,5	2,5
Пластичность грунта	I _p , %	4	16	12	20
Сдвиговой зазор прибора	Δ, мм	1	2	1	3

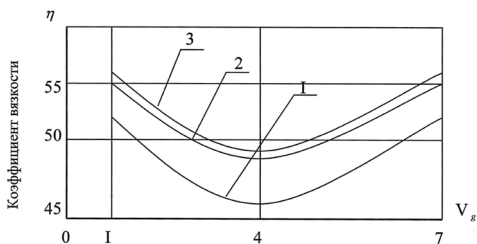


Рис. 2. Зависимость коэффициента вязкости от скорости воздействия при изменении влажности грунта на участке интенсивного деформирования (при I_p=20, ρ=1,9 г/см³); (1 – W=7,5%, 2 – W=15%, 3 – W=22,5%).

варьирование факторов, учитывающих физико-механические свойства грунта, скорость воздействия и характеристики прибора (таблица 1).

Реализация многофакторной методики зафиксировала проявление определенной специфики в реологических кривых связных грунтов. Полученные S-образные кривые деформирования отражают процесс взаимосвязанных явлений: уплотнение грунта, его сдвиг и разрушение, выраженных в дилатантном характере свойств с изменением скорости воздействия. Учитывая различия в начальный, конечный и наиболее интенсивный периоды деформирования, изучение реологических свойств производилось поэтапно, с учетом процессуального времени.

Экспериментальные данные позволили установить ряд закономерностей скоростного деформирования. Определено, что наибольшее влияние на энергетические, силовые, реологические и критериальные характеристики процесса оказывает начальная скорость воздействия на среду. Влияние сдвигового зазора Δ, пластичности I_p, влажности и плотности грунта менее заметно и примерно равнозначно.

Корреляционный и регрессивный анализ полученных величин выявили оптимальное значение скорости деформирования связных грунтов в исследуемом диапазоне параметров (рис. 2).

Уравнение регрессии для вязкости на участке интенсивного деформирования: $\eta = (0,1 + 3 \cdot 10^{-4} V_d - 2 \cdot 10^{-3} I_p - 2 \cdot 10^{-3} \cdot V_d^2 - 0,05 \Delta + 0,01 \Delta^2 + 2 \cdot 10^{-3} \rho^3)^{-1}$.

Обобщение опытных данных по реологии исследуемых систем указывает, что минимум вязкости во всем диапазоне влажности соответствует скорости воздействия в пределах V_д=4 м/с, которая может считаться оптимальной как с точки зрения деформирования грунта в предложенном устройстве, так и при воздействии РО ПДСМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Разработаны устройство и способ исследования реологических свойств грунтов и смесей на их основе.
- 2. Подтверждено, что оптимальной с точки зрения воздействия на грунт следует считать скорость воздействия в диапазоне 3–4 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. – М.: Недра, 1975. – 304 с.
2. Телых А. Н. и др. Устройство для определения реологических свойств дисперсных материалов. Авт. свид. СССР № 1520391, 1989 г.
3. Алексеева Т. В., Артемьев К. А., Бромберг А. А. и др. Дорожные машины. Машины для земляных работ. – Ч.1. – М.: Машиностроение; 1972. – 504 с.
4. Телых А. Н. и др. Оценка реологических характеристик при скоростном испытании связных грунтов на сдвиг // Реология бетонных смесей и ее технологические задачи: Тезисы V всесоюзного симпозиума «Реобет-86». – Рига, 1986. – С. 80–81.

Координаты автора: Телых А. Н. – saymanss@yandex.ru.
Статья поступила в редакцию 10.10.2014, принята к публикации 29.12.2014.