

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ СДВИГОВЫХ ПРИБОРАХ

Оксень Е.И., канд. техн. наук, доц.,  
Автомобильно-дорожный институт Донецкого  
национального технического университета,  
Шпакунов И.А., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
Институт геотехнической механики НАН Украины

*Приведены методика и результаты испытаний проб насыпных грузов в осесимметричном сдвиговом приборе. Выполнено сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными.*

Целью испытаний проб насыпных грузов в сдвиговых приборах является получение количественной информации о деформационных свойствах в рамках той или иной модели деформирования, качественный анализ поведения насыпного груза при различных режимах нагружения [1] и, главным образом, при испытаниях с изменением знака нагружающего воздействия.

Преимущество испытаний насыпных грузов в осесимметричных сдвиговых приборах [2] заключается в принципиальной схеме нагружения, при которой исключается проскальзывание частиц

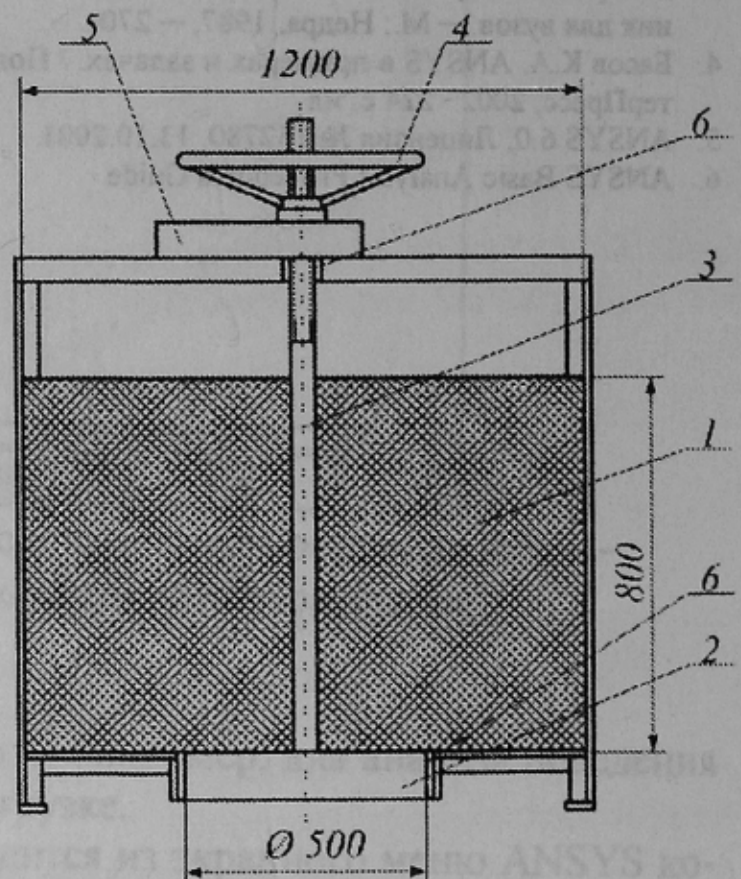


Рисунок 1 – Схема осесимметричного сдвигового прибора

груза по материалу нагрузочных элементов. При этом осевая симметрия области деформирования упрощает обработку результатов

измерений.

В усовершенствованном осесимметричном трибометре (рис. 1) деформирование пробы насыпного груза 1 осуществляется вертикально перемещаемым диском 2 так, что его осевые смещения и осевые смещения штока 3 ограничены цилиндрическими парами 6. Нагружение осуществляется с помощью винтовой ходовой пары 4, а усилие деформирования и величина смещения диска фиксируется с помощью датчиков 5.

Основным видом испытаний пробы насыпного груза является циклическое низкоскоростное (порядка 1 мм/с) деформирование по нагружению (движение диска вверх) и разгрузке (движение диска вниз) с целью определения коэффициента податливости в начальной фазе деформирования. Характерный вид нагрузочных диаграмм такого испытания приведен (рис. 2) для гранитного щебня крупностью 10-25 мм, плотностью в насыпке 1370 кг/м при высоте а)

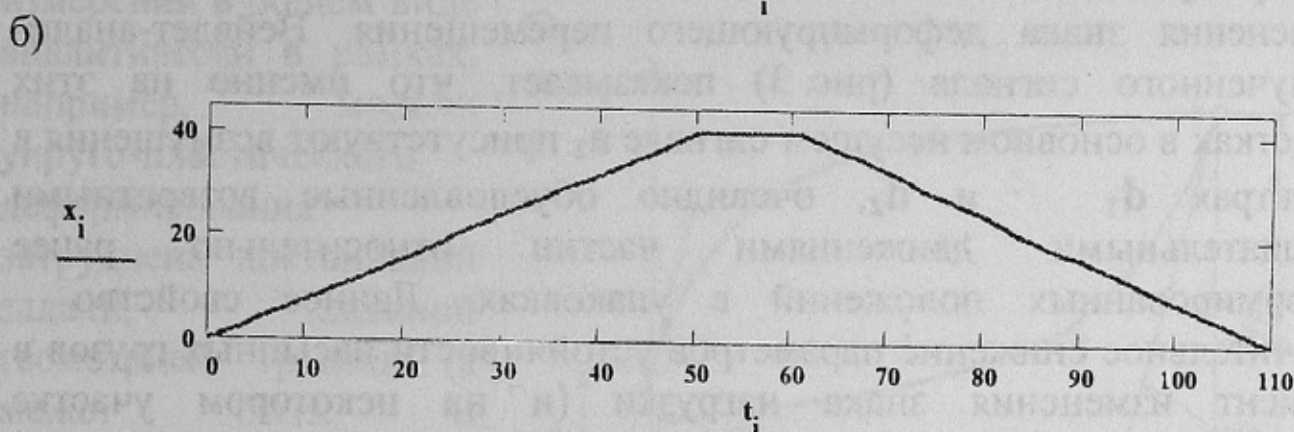
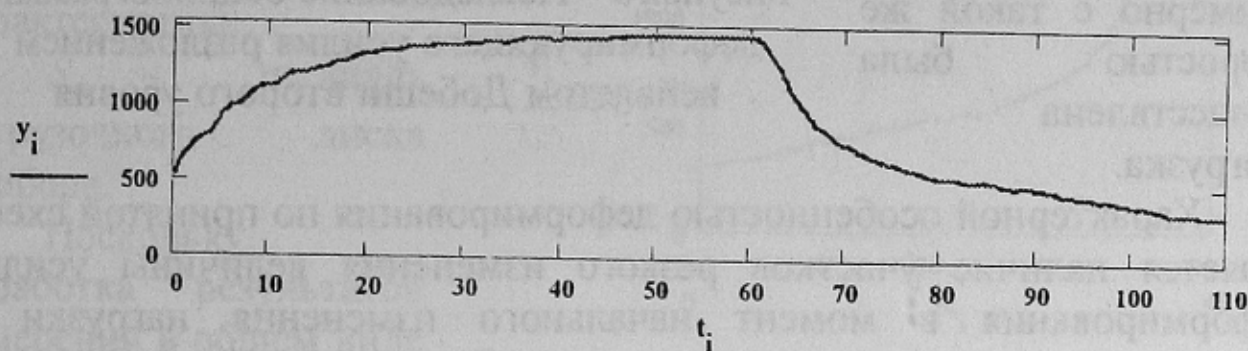


Рисунок 2 – Осциллограммы испытания пробы гранитного щебня крупностью 10-25 мм: а) усилие деформирования, б) перемещение нагрузочного диска

слоя 0,35 м. Диаграммы получены с помощью стандартных методов тензометрирования с фиксированием на высокочастотный самопишущий прибор и последующей оцифровкой. Точность в



принятой схеме измерения фактически определялась точностью фиксирующего прибора и составила порядка 4 %.

Как следует из осциллограммы перемещения нагрузочного диска (см. рис. 2б) цикл нагружения пробы составил порядка 110 с, из которых первые 50 с с равномерной скоростью диск перемещался вверх, а затем после 10 с паузы примерно с такой же скоростью была осуществлена разгрузка.

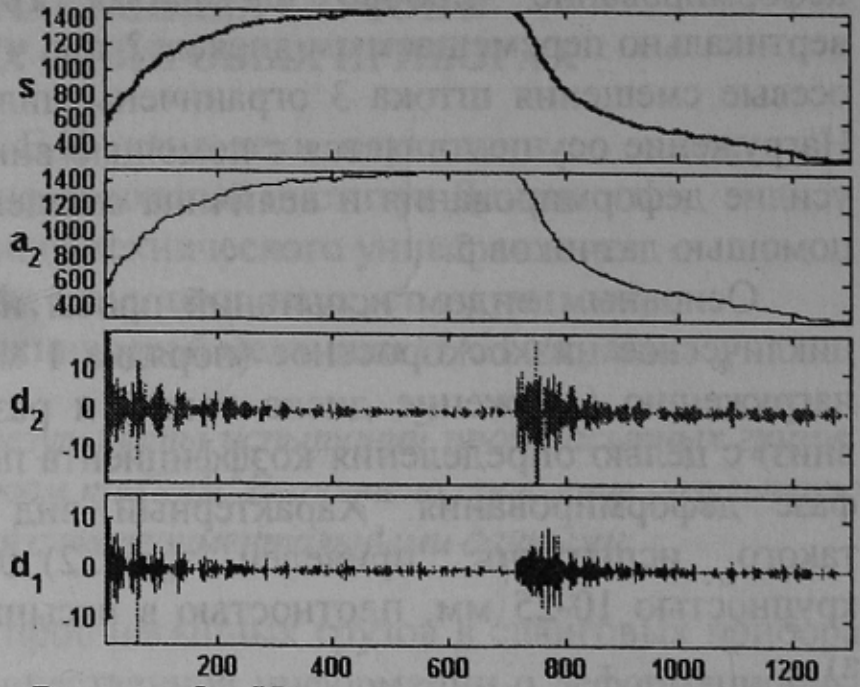


Рисунок 3 – Исследование осциллограммы деформирующего усилия разложением вейвлетом Добеши второго уровня

Характерной особенностью деформирования по принятой схеме является наличие участков резкого изменения величины усилия деформирования в момент начального изменения нагрузки и изменения знака деформирующего перемещения. Вейвлет-анализ полученного сигнала (рис. 3) показывает, что именно на этих участках в основном несущем сигнале  $a_2$  присутствуют возмущения в спектрах  $d_1$  и  $d_2$ , очевидно обусловленные возвратными вращательными движениями частиц относительно ранее сформированных положений в упаковках. Данное свойство – значительное снижение параметров устойчивости насыпных грузов в момент изменения знака нагрузки (и на некотором участке нагружения после) – может быть использовано при проектировании горно-транспортных машин для управления нагружением рабочих органов и активных элементов.

Исключением параметра времени  $t$  из осциллограмм (см. рис. 2) построена нагрузочная диаграмма – зависимость усилия деформирования от перемещения нагрузочного диска, представляющая собой заданную в параметрическом виде кривую второго порядка (рис. 4). Физически площадь, очерченная кривой на

графіке (рис. 4а), представляє собою рассеяну в насыпном грузе енергію в процесі деформування или роботу деформування за цикл нагрівання. Количественная оцінка величини зниження нагрівки при перемене знака деформуючого впливу може бути произведена для одномерного нагрівання по величині коефіцієнта зниження тиску  $k_{\partial}$  по нагріванню и разгрузке (рис. 4б)

$$k_{\partial n} = \frac{\text{tg}\phi_n}{S_{\partial}} = \frac{y_n}{x_n S_{\partial}},$$

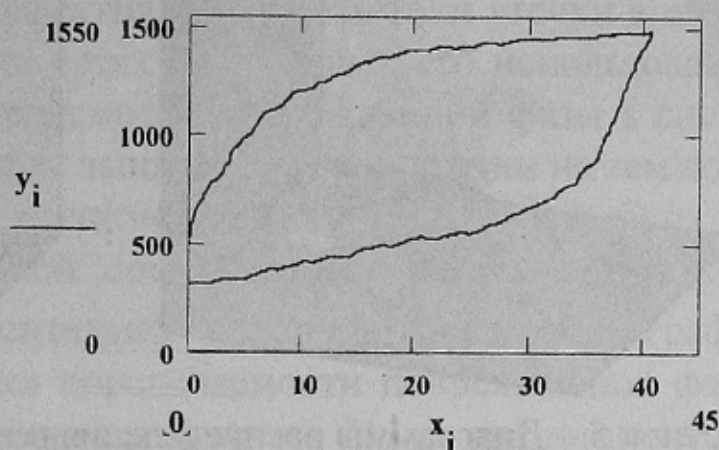
$$k_{\partial p} = \frac{\text{tg}\phi_p}{S_{\partial}} = \frac{y_p}{x_p S_{\partial}},$$

где  $x_i$  и  $y_i$  – экспериментальные данные из графика нагрузочной характеристики;

$S_{\partial}$  – площадь нагрузочного диска прибора.

Поскольку обработка результатов измерений в общем виде аналитически в рамках, например, модели упруго-пластического деформирования затруднена постановкой задачи, сложной геометрией границ (а может быть и невозможна) анализ характера деформирования насыпного груза при нагріваннии в осесимметричном трибометре был

а)



б)

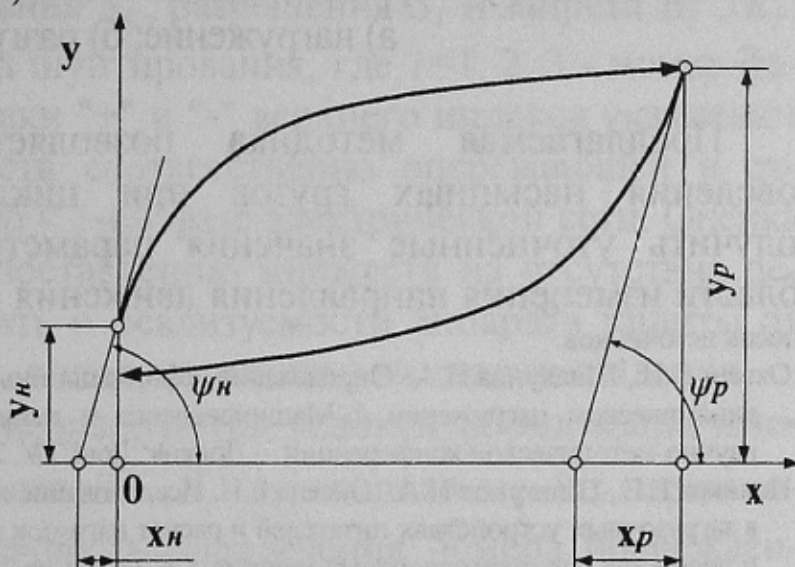


Рисунок 4 – Нагрузочная характеристика пробы гранитного щебня:  
а) экспериментальные данные; б) схема расчёта коэффициента снижения давления



выполнен численно методом конечных элементов на основе методологии [3] для числовых данных каждого отдельного испытания. Пример результатов расчёта в виде диаграмм вертикального давления в массиве насыпного груза для 1/4 деформируемого объёма (ввиду симметрии).

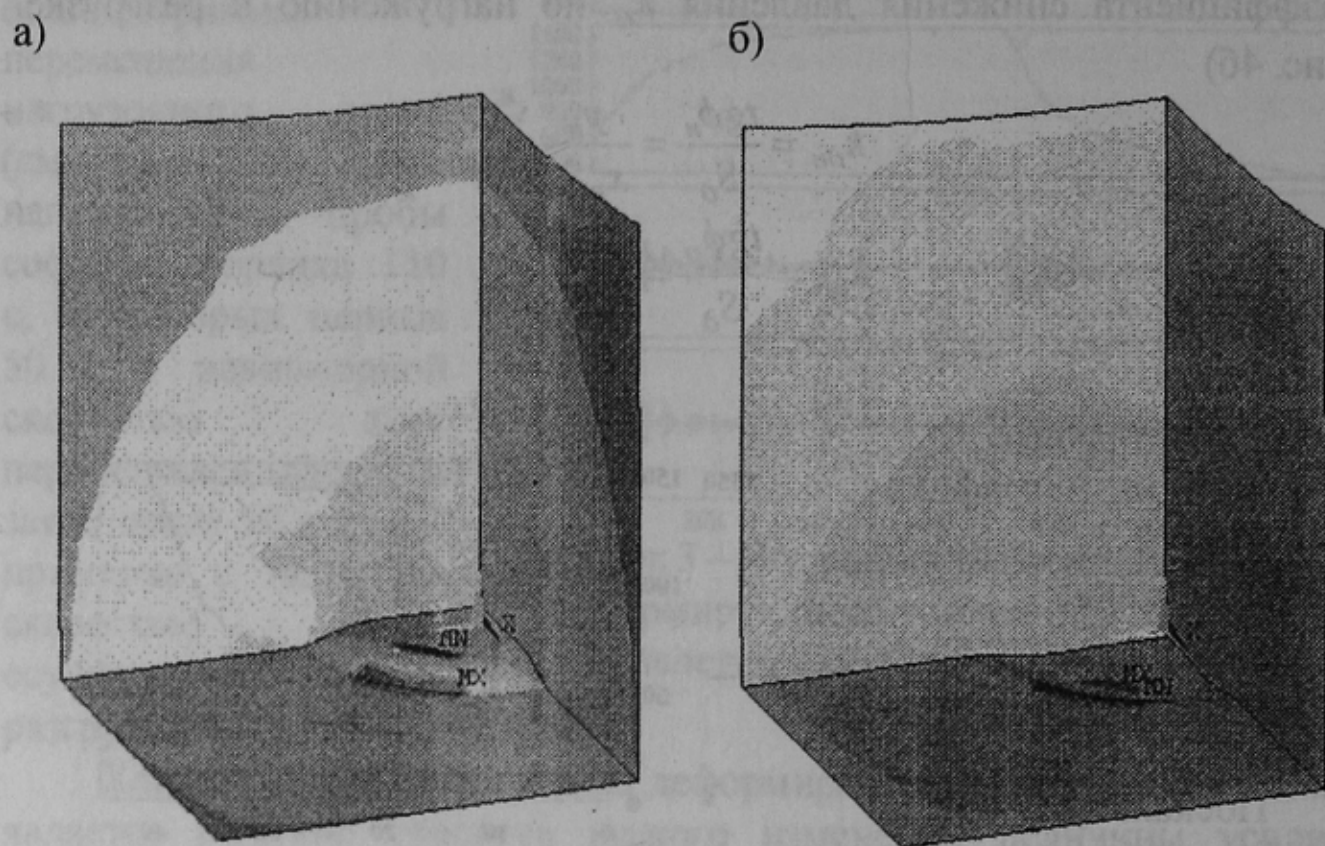


Рисунок 5 – Диаграммы распределения вертикального давления в пробе насыпного груза при испытании в осесимметричном трибометре:

а) нагружение; б) разгрузка

Предлагаемая методика позволяет исследовать характер поведения насыпных грузов при циклических нагружениях и получить уточнённые значения параметров устойчивости вблизи области изменения направления движения нагрузочного элемента.

Список источников.

1. Оксень Е.И., Шпакунов И.А. Определение деформационных характеристик насыпных грузов при динамическом нагружении // *Машиноведение и детали машин: Материалы региональной научно-методической конференции*. – Донецк: ДонГУ, 2001, – с. 45-47.
2. Новиков Е.Е., Шпакунов И.А., Оксень Е.И. Исследование напряженного состояния горной массы в загрузочных устройствах питателей и расчёт нагрузок на тягово-несущий орган // *«Динамика и прочность горнотранспортных машин»*. Сб. научн. тр. – Киев: «Наукова думка», 1978, – с. 79-91.
3. Оксень Е.И. Расчёт нагружения рабочих органов питателей при выдаче насыпных грузов из бункеров // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. тр.* – Донецк: ДонГУ, 2001. Вып. 17, – с. 144-148.