

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗЕРНИСТЫХ СРЕД

Оксень Е.И.

Горловский автодорожный институт

Сложность измерения параметров устойчивости проб зернистых материалов методом непрерывного деформирования заключается в необходимости фиксирования усилий деформирования, величина которых значительно колеблется в процессе испытаний. Поскольку амплитуда этих колебаний определяется геометрией взаимного контакта частиц зернистого материала, то при увеличении крупности частиц испытуемых фракций для обеспечения требуемой надёжности число измерений должно быть достаточно велико.

Выполним оценку необходимого числа измерений исходя из следующих предположений. Если считать величину усилия деформирования нормально распределенной то, число измерений n , обеспечивающих её определение с заданной надёжностью γ , может быть рассчитано как

$$n = \frac{t^2}{\left(\frac{\delta}{S}\right)^2} = \frac{t^2}{\varepsilon^2}, \tag{1}$$

где t - находится из равенства $2 \cdot \Phi(t) = \gamma$,

$\Phi(x)$ - функция Лапласа,

$\varepsilon = \left(\frac{\delta}{S}\right)$ - относительная погрешность предшествующей серии

измерений,

δ - принятая норма случайной составляющей погрешности,

S - среднее квадратическое отклонение предшествующей серии измерений.

Рассчитанные по формуле (1) значения числа измерения n для заданных величин ε и

Таблица 1
Необходимое число измерений нормально распределенной случайной величины

ε	γ					
	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99	0,999
0,1	46	107	270	380	655	965
0,05	182	429	1081	1519	2620	3858
0,01	4551	10729	27037	37975	65499	96460

у приведені в таблиці.

Полученные значения показывают, что для достижения высокой надёжности число измерений должно быть принято достаточно большим, а проведение измерений и обработка результатов таких измерений обычными методами иногда становится невыполнимой задачей. Поэтому, с целью сокращения затрат на проведение испытаний проб зернистых материалов разработан автоматизированный аппаратно-программный комплекс, выполняющий измерение, фиксирование и обработку усилий деформирования в режиме реального времени непосредственно в процессе измерения. Комплекс выполнен на базе стенда трибометра непрерывного нагружения (рис. 1) и состоит (рис. 2) из узла нагружения в виде ленточного конвейера, сменных трибометрических коробов длиной 0,3; 0,4 и 0,5 м, тензометрических силоизмерительных датчиков осевого и бокового смещений, модуля сопряжения и измерительного компьютера с аналогоцифровым преобразователем (АЦП).

Реализация концепции дискретных цифровых измерений при проведении экспериментальных исследований помимо высокой точности позволила придать измерительной аппаратуре новые функциональные качества, основанные на разработанных алгоритмах и программах, которые можно выделить по назначению в три основных группы:

– осциллоскопирование – предназначены для визуализации на дисплее компьютера измеряемых параметров в режиме реального

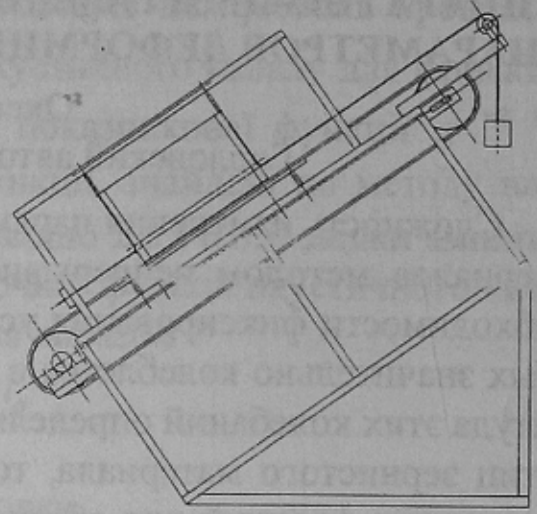


Рисунок 1 – Стенд трибометра непрерывного нагружения с регулируемым углом наклона грузовой ветви

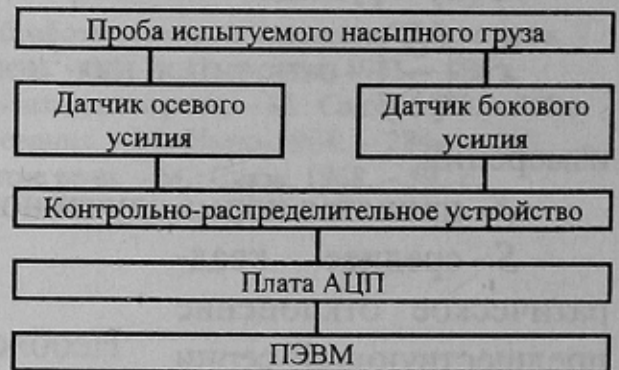


Рисунок 2 - Схема формирования измеряемых сигналов

времени для предварительного анализа и настройки аппаратуры;

– программы анализа в режиме реального времени – реализация отработанных алгоритмов для построения технических устройств, экспертных и диагностических систем (рис. 3а);

– программы записи в файл – предназначены для фиксации с заданным или максимальным быстродействием исследуемых процессов для последующего анализа полученной информации (рис. 3б).

На основе анализа технико-эксплуатационных критериев для соответствующей конфигурации в каждой из групп программ оптимизацией параметров измерительной системы реализованы соответствующие максимальные метрологические показатели. При разработке измерительного комплекса основное внимание уделено взаимной увязка аппаратной и программной составляющих и их функционального соответствия техническим условиям измерений.

Разработанные базовые блоки программного обеспечения помимо выполнения основного функционального назначения снабжены требуемыми логическими блокировками и защитами. Программное обеспечение оформлено с поддержкой логики виртуальных инструментов и позволяет производить необходимую дальнейшую модификацию по мере совершенствования и развития.

Программа анализа усилия деформирования проб насыпных грузов в режиме реального времени (рис. 4) обеспечивает настройку параметров АЦП, задание режима опроса датчиков, статистическую обработку сигналов усилия с одновременным выводом среднего арифметического значения и среднеквадратического отклонения усилий деформирования.

Применение разработанного комплекса значительно ускоряет проведение испытаний проб насыпного груза. После загрузки очередной пробы включается привод стенда и по достижению установленного режима движения производится включение виртуального инструмента измерительной системы. Контроль процесса измерения осуществляется по выводимым на панель управления сигналам на дисплеи предварительной и точной настройки. Обработка измеряемого сигнала производится в режиме реального времени с непрерывной индикацией числа выполненных измерений, значений среднего арифметического и дисперсии усилия деформирования.

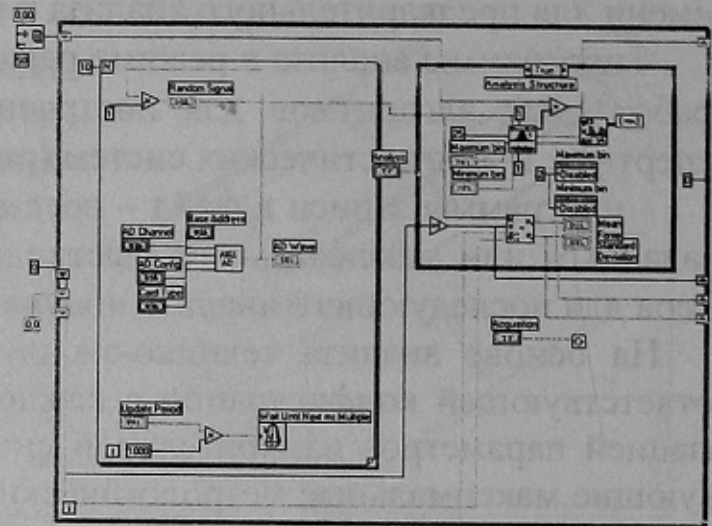
Представленное проектное решение виртуального инструмента обеспечивает контроль выполнения условия достаточности числа измерений непосредственно в процессе эксперимента.

Обработка полученных усилий деформирования проб зернистых материалов осуществляется по методике [1] на основе метода конечных элементов [2] и позволяет получить значения параметров устойчивости упаковки частиц испытуемых насыпных грузов.

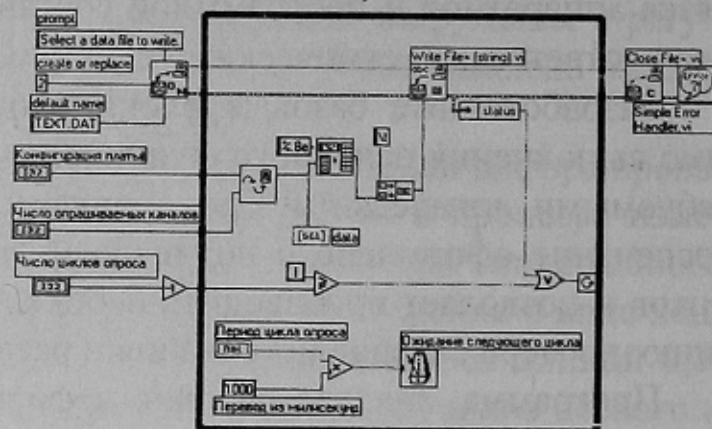
Значительный интерес для исследования процесса деформирования представляет комплекс программ записи в файл фиксируемых сигналов. Оцифрованный с высокой точностью сигнал обеспечивает выполнение дальнейшего более глубокого качественного и количественного анализа нагружения упаковки частиц насыпного груза.

Основными задачами такого анализа являются исследования:

- характера колебаний усилия деформирования;
- поведения (средней) низкочастотной составляющей усилия деформирования;
- распределения энергии деформирования по спектру частот фиксируемого усилия изменения формы упаковки частиц.



а)



б)

Рисунок 3 - Блок-диаграммы виртуальных инструментов: а) определение статистических параметров в режиме реального времени; б) запись измеряемых сигналов в файл

Результаты такого анализа представлены на примере исследования фрагмента цифрового сигнала усилия деформирования фракции гранитного щебня крупностью 10-25 мм. Для сигнала размером выборки 1024 измерений с периодом опроса 20 мс и гистограммой распределения близкой к нормальному закону (рис. 5а) комплексным вейвлет-

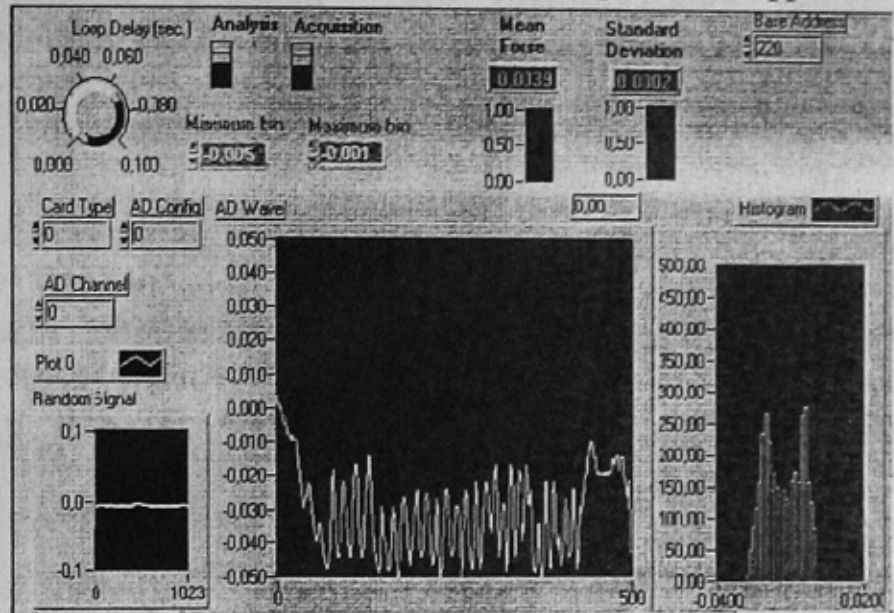


Рисунок 4 - Панель управления виртуальным инструментом для измерения усилия деформирования насыпного груза

периодичности изменения амплитуды усилия (рис. 5б).

Далее кратномасштабным разложением вейвлетом Хаара выполнено исследование значений коэффициентов частотных составляющих сигнала (рис. 5в) и произведена его очистка от шумов (рис. 5г) (на диаграмме представлено изменение усилия деформирования, выделенное относительно среднего за период измерения).

Полученный после удаления высокочастотных компонентов сигнал представляет собой основную составляющую усилия деформирования, которая может характеризовать протекание процесса деформирования в целом. Так, приведенный фрагмент показывает, что в виду значительных эпизодических отклонений основной составляющей относительно среднего значения образование зон локальной устойчивости упаковок частиц носит случайный характер и для оценки параметров устойчивости насыпных грузов целесообразно применение вероятностных методов.

При этом, имеющаяся выраженная периодичность сигнала в диапазоне отдельных частот (см. рис. 5б) подтверждает то, что деформирование насыпного груза представляет собой процесс

непрерывного чередования случайно образующихся зон взаимной устойчивости упаковок отдельных частиц и их взаимного движения.

Имеющаяся закономерность периодичности усилия деформирования так же может быть исследована перестроением полученного сигнала из амплитудно-временной зависимости в амплитудно-частотную [3]. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фрагмента цифрового сигнала выровненного относительно среднего (см. рис. 5а), построенная на основе метода быстрого преобразования Фурье с учётом принятого для выборки периода опроса, представлена на рис. 5а. Особенностью АЧХ усилия деформирования несмотря на наличие существенной шумовой составляющей вдоль всего спектра частот является наличие максимумов амплитуд в диапазоне 5-7 Гц.

Появление максимумов в районе частоты 3 Гц после введения в испытуемую пробу частиц повышенной крупности (рис. 6б) позволяет связать форму АЧХ испытуемых проб насыпных грузов непосредственно с их гранулометрическим составом, показывая, что спектр усилия деформи-

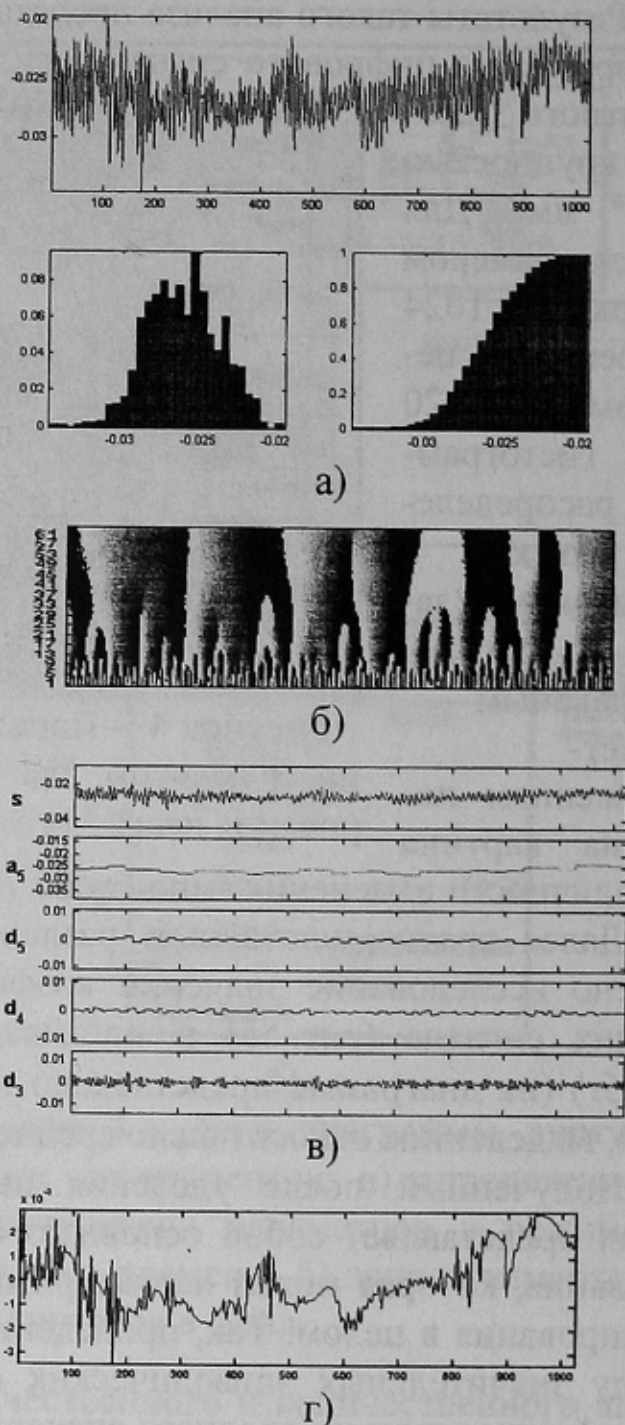
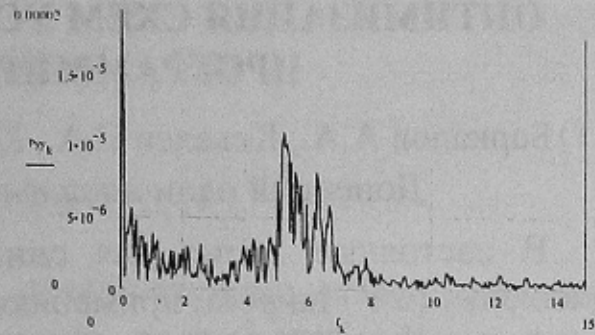


Рисунок 5 - Очистка от шума сигнала усилия деформирования вейвлет-разложением

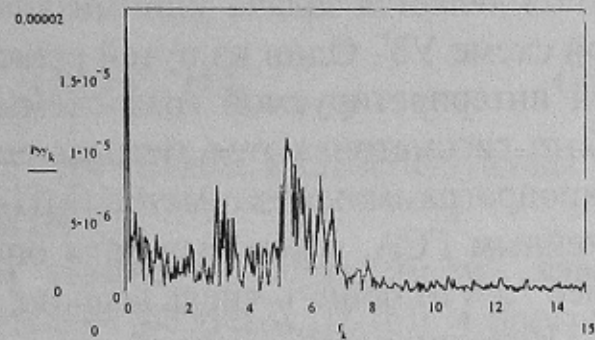
рования является своеобразным проявлением фракционного состава насыпного груза.

Выявленная возможность анализа характера проникновения низкочастотных силовых воздействий в глубь деформируемого массива по АЧХ может быть использована технической системы локации единичных кусков повышенной крупности в движущемся потоке насыпного груза.

Таким образом, разработанная технология цифрового анализа испытаний проб насыпных грузов на основе автоматизированного аппаратно-программного комплекса обеспечивает получение параметров деформационных свойств с большой точностью и достоверностью, существенно расширяя возможности раскрытия закономерностей протекания процессов их деформирования.



а)



б)

Рисунок 6 - Амплитудно-частотные характеристики усилий деформирования проб гранитного щебня: а) фракция крупностью 10-25 мм; та же фракция с введением двух единичных кусков размером 160 мм (9 % от массы испытываемой пробы)

Список источников

1. Оксень Е.И. Методика исследования деформирования насыпного груза в наклонном трибометре непрерывного нагружения // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. тр. – Донецк: ДонГТУ, 2002. Вып. 21, с. 173-178.
2. Оксень Е.И. Расчёт нагружения рабочих органов питателей при выдаче насыпных грузов из бункеров // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. тр. – Донецк: ДонГТУ, 2001. Вып. 17, с. 144-148.
3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: «Мир», 1976. – 757 с.