

**Линейные и нелинейные упругие свойства одномерной гранулированной среды**

*Советская Елизавета Сергеевна*

*студент*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: soviet\_liza@mail.ru*

Гранулированные среды обладают рядом интересных свойств, которые существенно отличаются от свойств сплошных сред. Например, нелинейный параметр на несколько порядков выше аналогичного параметра в однородных средах [1]. В данной работе гранулированная среда моделировалась цепочкой из 80 стальных шариков, диаметром 6.5 мм, помещенных в трубку.

В длинноволновом приближении одномерную дискретную систему, состоящую из одинаковых шариков, можно описать с помощью нелинейного волнового уравнения [2], решение которого удовлетворяет в первом приближении уравнению Кортевега-де-Вриза. В зернистой среде правильной структуры, предварительно сжатой внешней силой, возможно существование уединенных волн, периодических волн, ударных волн с осциллирующей структурой. Скорость распространения звука в такой среде не равна скорости звука в материале среды, а пропорциональна корню шестой степени из внешней силы  $V \sim F^{1/6}$ .

В работе экспериментально исследовалась зависимость скорости звука  $V$  от силы нагружения  $F$ . Блок-схема эксперимента представлена на рисунке 1.

Рис. 1

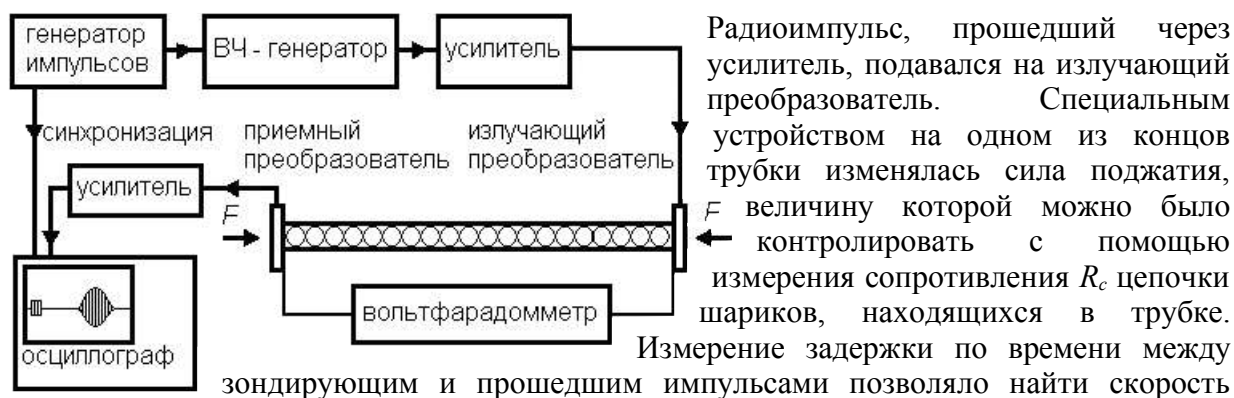


Рис.2.  $F = 0.08$  Н

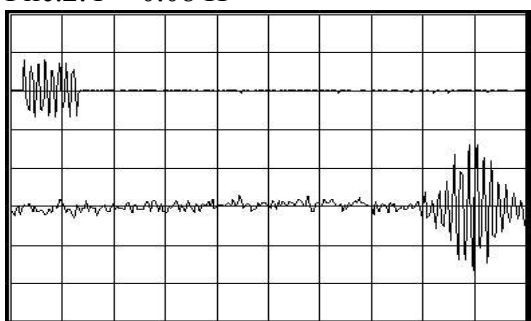
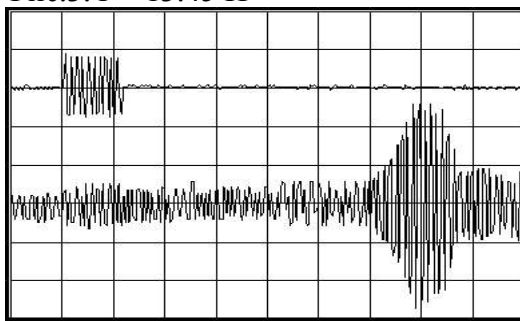


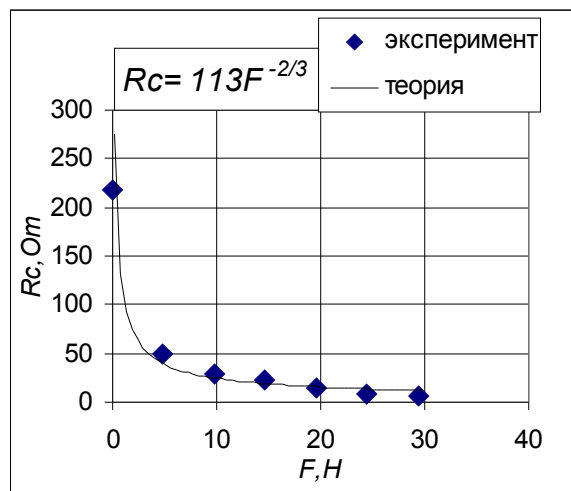
Рис.3.  $F = 13.45$  Н



Сопротивление цепочки  $R_c : \frac{1}{S}$ , где  $S = \pi r^2$ ,  $r$  – радиус контактной площадки. По теории

Герца [3]:  $r = \left( \frac{3FR}{4E^*} \right)^{1/3}$ , где  $R$ - радиус шарика,  $E^*$  - приведенный модуль упругости.

Рис.4



Сила  $F$  выражается через сопротивление  $R_c$  :

$$F = \frac{4E^* r^3}{3R} = \frac{4E^*}{3R} \left| \frac{S}{\pi} \right|^{3/2} R_c^{-3/2}, \text{ или}$$

$$R_c = kF^{-2/3}$$

Результаты экспериментов соответствовали расчетной зависимости  $R_c$  от  $F$  (рис.4), что позволило определить коэффициент  $k$ , равный 113 Ом Н<sup>-3/2</sup>.

Экспериментальная зависимость скорости упругой волны от величины сжимающей силы приведена на рис.5. В упругой области деформаций  $F < 10$ Н эксперимент хорошо совпадает с теорией, далее в эксперименте скорость была

практически постоянной. Было измерено отношение амплитуд первых двух гармоник в зависимости от внешней силы (рис.6). Непрерывный сигнал подавался на излучающий преобразователь, с приемного преобразователя сигнал шел на спектроанализатор. Быстрое изменение нелинейности системы, также приходится на упругую область.

Рис.5

Рис.6

Работа была выполнена в Центре коллективного пользования физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю при поддержке гранта Президента Российской Федерации № НШ-4449.2006.2 и грантов РФФИ № 05-02-16327-а и 06-02-16658-а.

#### Литература

1. Есипов И.Б., Зосимов В.В., Матвеев К.И., Распространение акустического импульса конечной амплитуды в гранулированной среде.//Акуст. журн., 1997. Т.43.- №5.-С.648-653.
2. Нестеренко В.Ф., Распространение нелинейных импульсов сжатия в зернистых средах.// ПМТФ,1983.-№5-С. 136-148.
3. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Теория упругости. М., Наука, 1978, 293с.

