

УДК 624.131+532.215+534.22

**РАСПАД СОЛИТОНА НА КОНТАКТЕ ДВУХ
«ЗВУКОВЫХ ВАКУУМОВ»***

В. Ф. Нестеренко¹, А. Н. Лазариди², Е. Б. Сибиряков³

¹ *Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН,
630090 Новосибирск*

² *КТИ гидроимпульсной техники, 630090 Новосибирск*

³ *Новосибирский государственный университет, 630090 Новосибирск*

В [1–3] рассмотрено распространение импульсов в дискретных средах, где при отсутствии начальной деформации нельзя ввести понятия скорости распространения бесконечно малых возмущений — скорости звука. Несущим тоном для таких систем являются солитоны, которые качественно отличаются от соответствующих классическому случаю солитонов уравнения Кортевега — де Вриза. Для выделения подобных сред в специальный класс предложено название «звуковой вакуум», подчеркивающее отсутствие в них основного понятия традиционной акустики — скорости звука.

Эксперименты по трансформации импульсов сжатия в подобных средах описаны в [3, 4], где примером «звукового вакуума» служила цепочка стальных сферических частиц, взаимодействующих по закону Герца.

В настоящей работе экспериментально и численно исследовано прохождение импульсов сжатия (солитонов) через контакт двух «звуковых вакуумов» — цепочка стальных сферических гранул с диаметром 4,75 мм, массой m_1 (ЗВ-1) и цепочка частиц с диаметром 7,9 мм, массой m_2 (ЗВ-2). Схема экспериментов аналогична [4]. Каждая из цепочек размещалась в стальных трубках соответствующего диаметра, которые были состыкованы так, чтобы обеспечить их контакт. Параметры импульсов сжатия измерялись в падающей, отраженной и проходящей волнах с помощью пьезодатчиков давления на базе ЦТС-19, которые вставлялись в разрезанные гранулы. Регистрация сигналов с датчиков осуществлялась с помощью запоминающих осциллографов С8-17 и С9-8 (цифровой). Измерения в падающей и отраженной волнах проводились с помощью датчика, расположенного в 15-й частице до контакта, а параметры прошедшей волны измерялись в датчике, расположенном в 6-й частице после контакта. Полное число частиц в каждой системе 20. Падающий на контакт импульс возбуждался в соответствующей системе ударом сферического поршня массой M (равной массе частиц системы, по которой проводился удар), движущегося со скоростью, равной 1 м/с. В этом случае в ней возникает одиночный солитон [1, 3].

Результаты экспериментов приведены на рис. 1, где a — импульсы сжатия при ударе поршнем $M = m_2$ перед и за контактом (ЗВ-2)–(ЗВ-1): в падающей волне (верхний луч, первый импульс), прошедшей (нижний луч, первый импульс) и волне, отраженной от жесткой стенки, b — импульсы сжатия при ударе поршнем $M = m_1$ перед и за контактом (ЗВ-1)–(ЗВ-2): в падающей волне (верхний луч, первый импульс), в отраженной волне от контакта (верхний луч, второй импульс), в проходящей волне (нижний луч, первый импульс) и в волне, отраженной от жесткой стенки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93–02–14880).

На осциллограммах масштабы по вертикали составляют: верхний луч — 32 Н на большое деление, нижний луч — 47 Н/дел (рис. 1,а); верхний луч — 9,5 Н/дел, нижний луч — 6,4 Н/дел (рис. 1,б). Масштаб по горизонтали для обеих осциллограмм равен 100 мкс/дел.



Рис. 1

Численные расчеты проводились с помощью метода Рунге — Кутты четвертого порядка с контролем законов сохранения импульса и энергии аналогично [1, 2]. Результаты численных расчетов, соответствующие по своей постановке экспериментам, приведены на рис. 2, 3. При этом вычислялась средняя величина между силами на контактах частицы, в которую был вставлен датчик, поскольку именно этот параметр измеряется датчиком при массе пьезокерамики, много меньшей массы частицы.

Таблица 1

Параметры	Эксперимент	Расчет
A_1 , Н	13 ± 1	29
A_2 , Н	8 ± 1	28
τ_1 , мкс	34 ± 1	29
τ_2 , мкс	37 ± 2	29
τ_{1-2} , мкс	460 ± 7	392

Таблица 2

Параметры	Эксперимент	Расчет
A_1 , Н	24 ± 2	33
A_2 , Н	6 ± 1	16
τ_1 , мкс	15 ± 1	15
τ_2 , мкс	21 ± 2	19
τ_{1-2} , мкс	246 ± 8	176
τ_{1-3} , мкс	927 ± 18	773

Таблица 3

Параметры	Эксперимент	Расчет
A_1 , Н	65 ± 4	64
A_2 , Н	43 ± 2	68
τ_1 , мкс	26 ± 2	14
τ_2 , мкс	16	14
τ_{1-2} , мкс	178 ± 2	167

Таблица 4

Параметры	Эксперимент	Расчет
A_1 , Н	69 ± 3	92
A_2 , Н	20 ± 3	56
τ_1 , мкс	25 ± 1	25
τ_2 , мкс	—	29
τ_3 , мкс	—	35
τ_{1-2} , мкс	690 ± 10	605
τ_{1-3} , мкс	790 ± 30	727

В табл. 1, 2 приведены параметры импульсов, соответствующие постановке экспериментов при падении солитона на контакт (ЗВ-1)-(ЗВ-2) (рис. 1,б и 2), при этом в табл. 1 представлены результаты экспериментов и численного расчета за контактом (рис. 2,б), а в табл. 2 — перед ним (рис. 2,а). Табл. 3, 4 отвечают случаю контакта (ЗВ-2)-(ЗВ-1) (рис. 1,а и 3), при этом первая из них отвечает показаниям датчика и расчета за контактом, а вторая — перед ним. Экспериментальные данные таблиц усреднены по шести опытам. Величины A_1 , A_2 — амплитуды импульсов 1,

2 (рис. 2, 3), измеренные на одном луче, τ_1, τ_2, τ_3 — ширины импульсов 1-3 на уровне половины амплитуды, τ_{1-2}, τ_{1-3} — временные интервалы между максимумами импульсов.

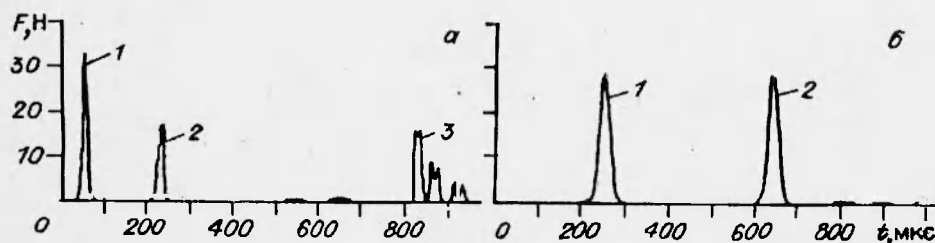


Рис. 2

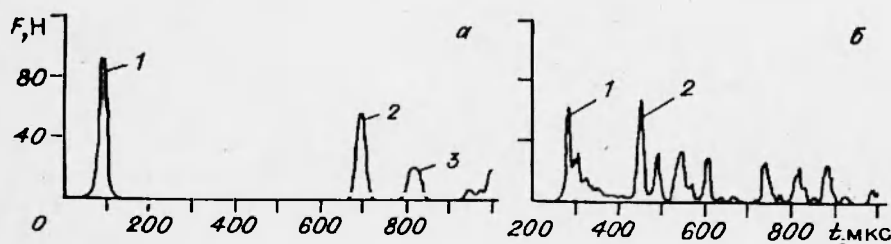


Рис. 3

Полученные результаты показывают, что если солитон падает на контакт со стороны ЗВ-2 (рис. 1, а и 3), то в нем не фиксируется отраженный импульс. В то же время падающий солитон формирует в ЗВ-1 асимметричный треугольный импульс, который затем распадается на последовательность солитонов. Данный распад виден на рис. 1, а, на нижнем луче, где фиксируется импульс, отраженный от стенки в виде последовательности солитонов.

В случае, если солитон набегают на контакт со стороны ЗВ-1 (рис. 1, б и 2), то в нем фиксируется отраженный импульс и импульс, проходящий в ЗВ-2. Поскольку в данном случае все фиксируемые импульсы близки к солитонам, то можно попытаться найти их параметры на основе законов сохранения полной энергии и импульса. Действительно, можно записать их в виде

$$p_0 = p_1 - p_2, \quad E_0 = E_1 + E_2,$$

$$E_0 = \frac{p_0^2}{2m_{1\text{эф}}}, \quad E_1 = \frac{p_1^2}{2m_{2\text{эф}}}, \quad E_2 = \frac{p_2^2}{2m_{1\text{эф}}},$$

где p_0, p_1, p_2 и соответствующие полные энергии представляют собой параметры падающего, прошедшего и отраженного солитонов. Выражение для эффективной массы солитонов может быть получено на основе его параметров в длинноволновом приближении: $m_{1\text{эф}} = 0,27m_1, m_{2\text{эф}} = 0,27m_2$.

Из законов сохранения легко определить параметры прошедшего и отраженного солитонов:

$$p_1 = \frac{2p_0}{1+k}, \quad p_2 = \frac{1-k}{1+k} p_0,$$

где $k = m_1/m_2$.

Сравнение экспериментальных и численных расчетов можно сделать, принимая во внимание следующую зависимость между максимальной силой сжатия и импульсом в солитоне:

$$F \sim R^2 \left(\frac{p}{m} \right)^{6/5}.$$

Здесь F — максимальная сила сжатия; R , m — радиус и масса частиц; p — импульс.

Сравнение полученных результатов в экспериментах и численных расчетах показывает их качественное согласие, хорошее согласие временных параметров и большое расхождение в амплитудах импульсов, что обусловлено наличием диссипации в системе и ее учетом в расчетах. Законы сохранения позволяют правильно оценить параметры импульсов при набегании солитона на контакт со стороны «легкого» «звукового вакуума», хотя не является очевидной единственность подобной картины распада падающего солитона на прошедший и отраженный солитоны.

Таким образом, выявлена картина взаимодействия солитона с контактом двух звуковых вакуумов, качественно отличная от традиционного акустического случая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко В. Ф. Распространение нелинейных импульсов сжатия в зернистых средах // ПМТФ. 1983. № 5. С. 136–148.
2. Нестеренко В. Ф. Новый тип коллективных возбуждений в «звуковом вакууме» // Динамика сплошной среды: Сб. науч. тр. / РАН. Сиб. отд-ние. Ин-т гидродинамики. 1992. Вып. 105.
3. Нестеренко В. Ф. Импульсное нагружение гетерогенных материалов. Новосибирск: Наука, 1992.
4. Лазариди А. Н., Нестеренко В. Ф. Обнаружение уединенных волн нового типа в одномерной зернистой среде // ПМТФ. 1985. № 3. С. 115–118.

Поступила в редакцию 14/IV 1994 г.