

СТОЯЧИЕ ВОЛНЫ С ИЗЛОМАМИ ПРОФИЛЕЙ, В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ, СОУДАРЯЮЩИХСЯ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ (ЧАСТЬ II)

ã Крупенин В.Л., Асташев В.К..

*Учреждение Российской академии наук институт машиноведения
им. А.А. Благовраова РАН*

Аннотация. *Даны результаты экспериментов (картина стоячих волн) с распределенным ударным элементом - системой (струной), движение которой сопровождается ее ударным взаимодействием с ограничителями хода различной топологии. Рассмотрены выпуклые и прямые ограничители хода. Изучены динамические явления, сопровождающие возникновение в таких системах периодических стоячих волн, в которых происходит «набегание» струн на ограничители, а также предложен возможный механизм образования стоячих волн других типов, характеризующихся изломами их профилей – трапецевидных стоячих волн типа «хлопков», которые могут быть составлены из отрезков прямых (часть I).*

Ключевые слова: *распределенные ударные элементы, эксперименты с соударяющимися объектами, набегание, рождение хлопков, изломы профилей струны*

1. Введение. В работе [1] описаны картины трапецевидных периодических стоячих волн (хлопков), а также им подобных. Эти волны оказываются в определенном (например, динамическом) смысле аналогичны ударному осциллятору [1-3]. В данной статье продолжается экспериментальное изучение соударяющейся струны, однако рассмотрены другие случаи ограничителей и частотных диапазонов колебаний.

В качестве экспериментальной установки используется тот же самый стенд «Аллигатор -Т». В начале приводятся результаты взаимодействия струны с выпуклым ограничителем. При этом реализуются волны названные нами «набегающими без отскока». Затем показан процесс набегания без отскока в случае взаимодействия струны с прямым протяженным ограничителем; набегающие без отскока волны показаны в определенном частотном диапазоне (вблизи частоты линейного резонанса струны) и также показано как при увеличении частоты возбуждения явление набегания переходит в хлопок [4, 5]. К термину «набегание без отскока» мы вернемся в дальнейших публикациях, когда будет использовано введенное ранее понятие «набегания с отскоком».

2. Выпуклый ограничитель. На рис.1 показан вариант установки «Аллигатор-Т» с выпуклым ограничителем, выполненным из инструментальной стали. Здесь, как и ранее, [1] в качестве распределенного упругого элемента в экспериментальной установке использован резиновый жгут 1. Один конец жгута жестко связан с установленным на станине датчиком силы 2, измеряющим составляющую натяжения жгута в направлении, перпендикулярном его оси. Сигнал с датчика, пропорциональный углу поворота жгута в заделке, регистрировался электронно-лучевым осциллографом 3. Второй конец жгута связан с якорем электродинамического возбудителя 4 поперечных колебаний жгута. Питание возбудителя осуществляется от генератора 5 электрических колебаний. Конструкция креплений жгута допускает регулировку натяжения жгута с целью изменения его собственных частот. Выпуклые ограничители 6 выполнены изогнутых

стальных полос, установленных на каретке 7, позволяющей изменять зазор между жгутом и ограничителями. Кроме того, конструкция стенда допускает изменение кривизны ограничителей и их положения относительно жгута вдоль его оси.

Формы жгута и их трансформации в процессе колебаний фотографировали фотоаппаратом 8 в освещении вспышек стробоскопической лампы 9, получающей питание от анализатора движения 10. Конструкция стенда позволяет также использовать фиксацию движения жгута посредством *видеокамеры*. Приводимые результаты отвечают случаям, когда 1-я собственная частота струны длиной $l = 52$ см составляет (в отсутствие соударений) $f = 33$ Гц. Следует отметить, что в зависимости от кривизны ограничителя и отношения его длины к длине струны в такой системе, а также от других метрических и топологических соотношений, регистрировались весьма разнообразны режимы движения, в том числе, по-видимому, и не периодические. Однако, наиболее распространенными оказывались именно периодические стоячие волны. Эволюция такой волны показана показана, например, на рис 2, а – ж.

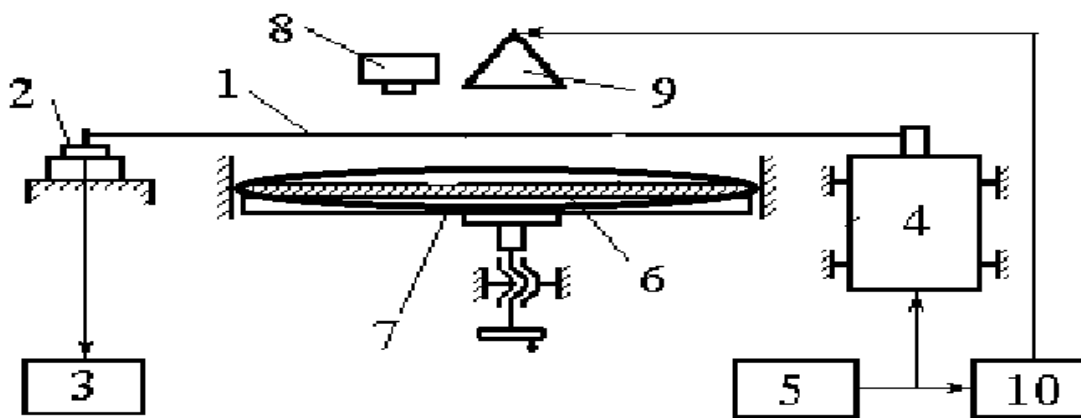


Рис.1

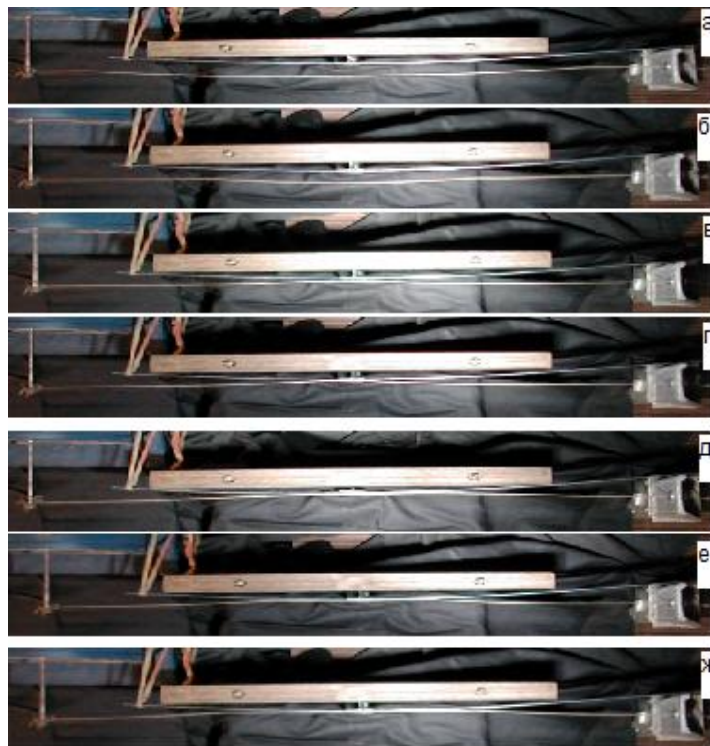


Рис.2

Заметим, что в отличии от схемы установки, данной на рис.1, на рис 2 фотографии зеркально отражены. Эти обстоятельства носят чисто техническую причину. Такое изображение здесь дано для удобства комментария. Оно не может привести к недоразумениям, при наличии сделанной оговорки.

Рис 2, а отвечает профилю струны, находящейся вблизи положения равновесия. Видно, что искривление профиля сохраняется. На рис.2,б струна движется в сторону ограничителя; на рис 2,в профиль струны своей серединной точкой касается ограничителя. Профили рис. 2, г и д соответствуют набеганию струны на ограничитель. При этом отскоки каких-либо ее точек не фиксируются. На рис 2,е и ж показано, как струна начинает отходить от ограничителя и дальше вид профилей повторяется.

3. Прямой ограничитель: набегание без отскока. Уберем выпуклую вкладку ограничителя и предоставим струне возможность соударяться с прямым протяженным препятствием.

Рассмотрим вынужденные колебания струны в окрестности собственной частоты линейной системы. То есть пусть $f \approx 33$ Гц. Мы видели [1, 2], что в отдалении от линейного резонанса в системе при различных типах ограничителей могут реализовываться стоячие волны типа хлопков, для которых характерны нелинейные эффекты аналогичные эффектам, наблюдаемым в «ударном осцилляторе» [2, 3]. Оказывается что в окрестности линейного резонанса реализуются набегающие без отскока стоячие волны, аналогичные зарегистрированным для выпуклого ограничителя.

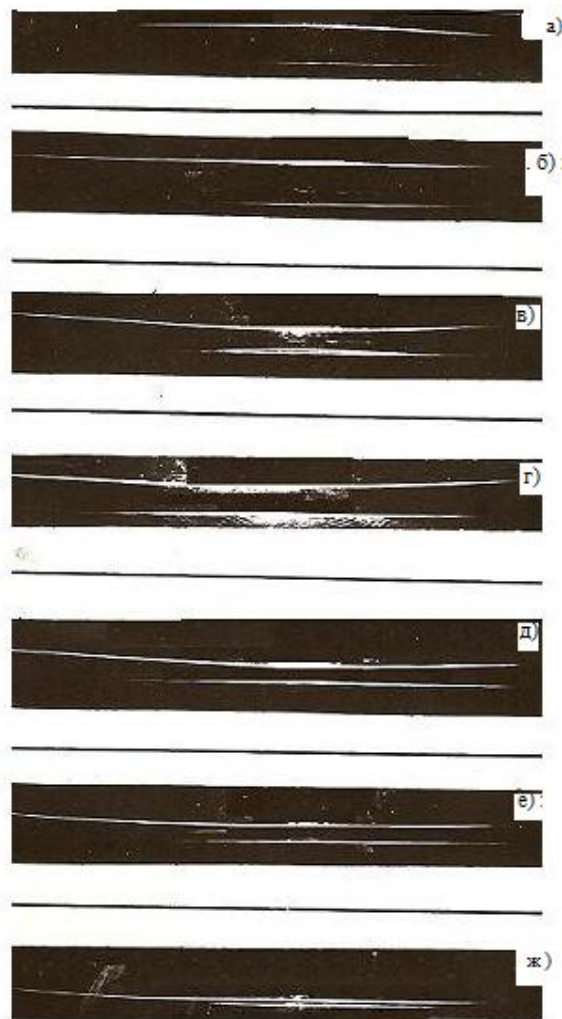


Рис.3.

На рис .3 а – ж показан процесс набегания при частоте $f \approx 33,2$ Гц. Мы можем теперь проследить за рождением хлопков из набегających без отскока волн. Это можно проделать, анализируя угол в заделке жгута (рис. 1, блок 3).

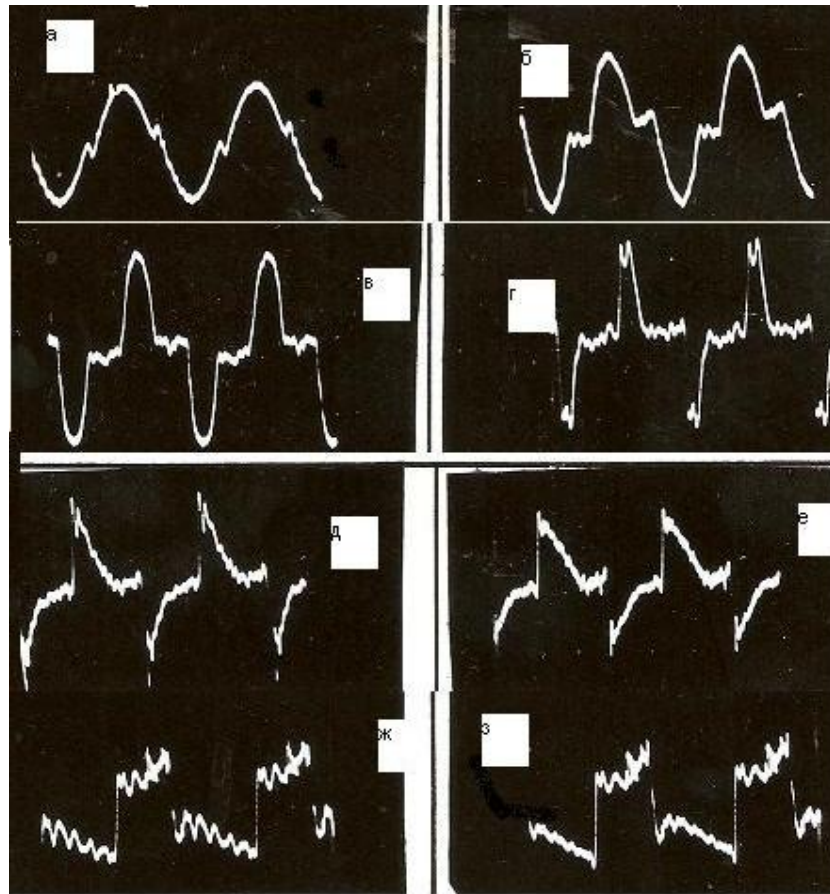


Рис.4.

Итак рассмотрим эволюцию зависимости угла поворота жгута в заделке с ростом частоты возбуждения, где собственные параметры системы – те же, а значения f изменяются так; $f_1=33,2$ Гц (рис 4, а); $f_2=33,2$ Гц (рис. 4, б) вплоть до $f_8=38,7$ Гц (рис. 4, з).

Хлопки возникают по прохождению частоты линейного резонанса (рис. 4, д -з). Здесь отчетливо видно возникновение скачков угла поворота при переходе струны через положение статического равновесия. Это свидетельствует о весьма быстром изменении «полярности стоячей волны» - ср. [2, 4, 5].

Такая картина существенно отличается от данных на рис 4,а-4,в, для которых характерно появление специфических «полочек», свидетельствующих о том, что во время набегания («растекания») жгута вдоль ограничителя участки струны, находящиеся вблизи заделки некоторое время оказываются практически неподвижными.

При рождение хлопков поведение струны, как указывалось, аналогично классическому удару. Рис.4,г носит пограничный характер: профиль стоячей волны сохраняет черты как набегания («растекания», в данном случае короткого), так и отскока.

Аналогичные эффекты наблюдались и в симметричных системах, и в в ряде других случаях.

Отметим, что анализ таких систем требует поддержания плоской поляризации струны, что представляет собой рутинную, но нетривиальную проблему (ср. [6]).

Кроме того приведенные описания являются своеобразными «первыми приближениями»: так, например, здесь лишь на качественном уровне описана нестабильность движения узлов при реализации высших форм колебаний и др.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-08-500).

Литература

1. В.К. Асташев, В.Л. Крупенин. Картины стоячих волн с изломами профилей, в распределенных объектах, соударяющихся с препятствиями различных конфигураций (часть I)// Интернет –журнал ВНТР. 2011,.№2 (42), с.3-12.
2. .Асташев В.К., Крупенин В.Л. Волны в распределенных и дискретных виброударных системах и сильно нелинейных средах// Проблемы машиностроения и надежности машин.1998, № 5, с. 13-30.
3. . Babitsky V.I., Krupenin V.L. Vibration of Strongly Nonlinear Discontinuous Systems.Springer, 2001. 330 p.
4. Веприк А.М., Крупенин В.Л. О резонансных колебаниях системы с распределенным ударным элементом //Машиноведение. 1988. № 6. С. 39-47.
5. Крупенин В.Л. Трансформация форм колебаний струны, взаимодействующей с двумя протяженными преградами// ДАН СССР,1990, т.313, №6, с. 1390-1394.
6. Асташев В.К. , Крупенин В.Л. Эксперименты с протяженными виброударными системами (резонансные движения) // Вестник научно-технического развития. 2010. № 7(35).С.3-10.