

УДК 534.1

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В СИСТЕМАХ СО МНОГИМИ УДАРНЫМИ ПАРАМИ

© **Виталий Львович Крупенин, Николай Алексеевич Серков,  
Олег Викторович Пась**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения  
им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия*

[Serkov1943@mail.ru](mailto:Serkov1943@mail.ru)

*Аннотация.* Приведены результаты создания экспериментального стенда для проведения экспериментальных исследований с системой, оснащенной большим числом ударных пар.

*Ключевые слова:* виброударные системы с большим числом степеней свободы, генератор сигнала, усилитель мощности, вибровозбудитель, лента с шариками, регулируемые упоры.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 19-19-00065).*

## EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCH DYNAMIC EFFECTS IN SYSTEMS WITH MANY IMPACT PAIRS

© **Vitaly Krupenin, Nikolay Serkov, Oleg Pas**

*IMASH RAN, Moscow, Russia*

[Serkov1943@mail.ru](mailto:Serkov1943@mail.ru)

*Annotation.* The results of creating an experimental bench for conducting experimental studies with a system equipped with a large number of shock pairs are presented.

*Key words:* vibro-impact systems, signal generator, power amplifier, vibration exciter, tape with balls, adjustable stops.

*Acknowledgements.* The work was supported by Russian Science Foundation (project no. 19-19-00065).

**Введение.** Виброударные процессы являются одними из основных среди динамических процессов, возникающих в различных машинах. В работах [1—7] изучались динамические эффекты в распределенных системах, оснащенных многими параллельными ударными парами. В работах [1—3,7] были представлены результаты экспериментальных исследований на установке «Аллигатор», специально созданной для изучения важного в приложениях случая, когда число ударных пар значительно и расположены они относительно редко. Эксперименты были посвящены изучению свойств резонансных виброударных процессов, существующих при малой диссипации за счет малых сил возбуждения. Они показали

работоспособность данного экспериментального подхода. Наряду с этим было выявлено, что управление отдельными электромагнитами, осуществляющими возбуждающее воздействие на шарики, закреплённые на упругой ленте, требует специальной системы управления, реализующей специфические алгоритмы.

В настоящее время требуется дальнейшее развитие экспериментальных работ.

**Конструкция стенда.** Для решения этой задачи был спроектирован и изготовлен специальный стенд «Аллигатор 2М», схема которого представлена на рис. 1. Стенд дает возможность реализовать как безударные (линейные или квазилинейные), так и разнообразные виброударные процессы в присутствии односторонних и двусторонних ограничителей в системах с предварительным зазором или натягом.

Стенд содержит многомассную колебательную систему, электромагнитный вибровозбудитель колебаний, ограничители хода с устройствами установки и регулировки зазоров, систему возбуждения и комплекс измерительной аппаратуры. Колебательная система выполнена в виде ленты из бериллиевой бронзы БрБ2 Т с жестко закрепленными на ней на равных расстояниях друг от друга 10 шариками  $\varnothing 12$  мм из закаленной стали ШХ 15. Лента своими концами жестко закреплена через рым-болты на каретках, перемещающихся на рельсах (направляющих), установленных на опорах, жестко закрепленных на швеллере, который, в свою очередь, присоединяется болтами к сварной раме стеллажа (рис.2). Длина ленты между точками присоединения к кареткам составляет 935 мм, а расстояние между шариками – 85 мм, ширина ленты - 8 мм, толщина - 0,1 мм. Натяжение ленты осуществляется с помощью двух рым-болтов, установленных на подвижных каретках, что хорошо видно на рис.3. и рис.4.

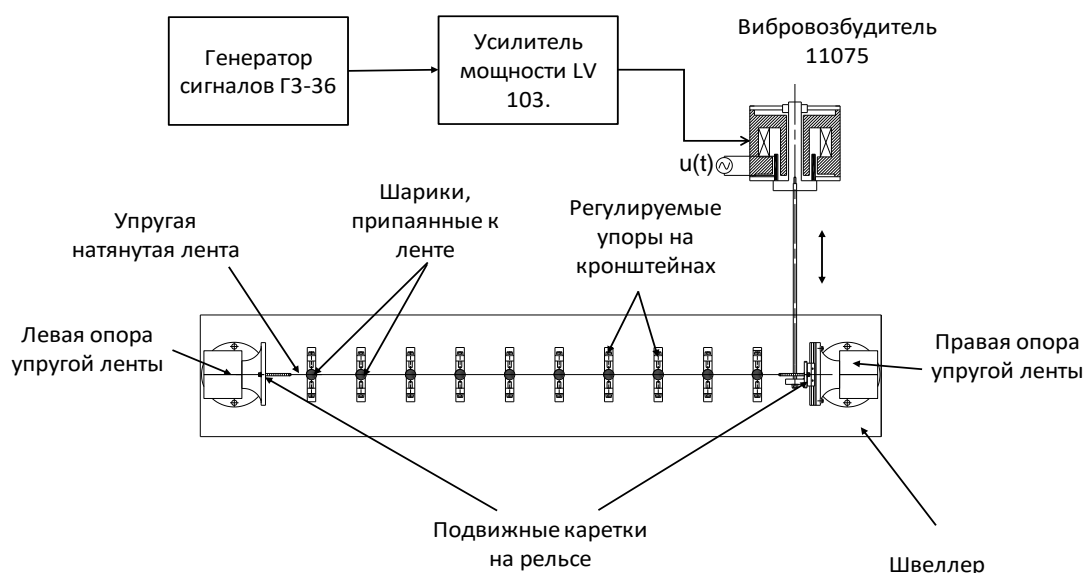
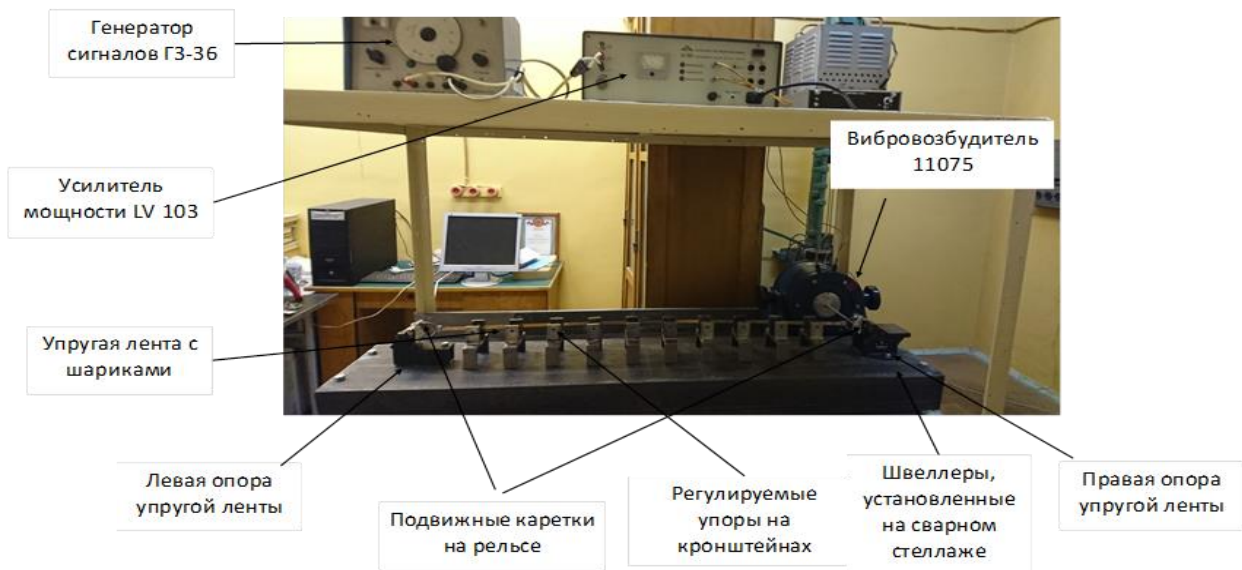
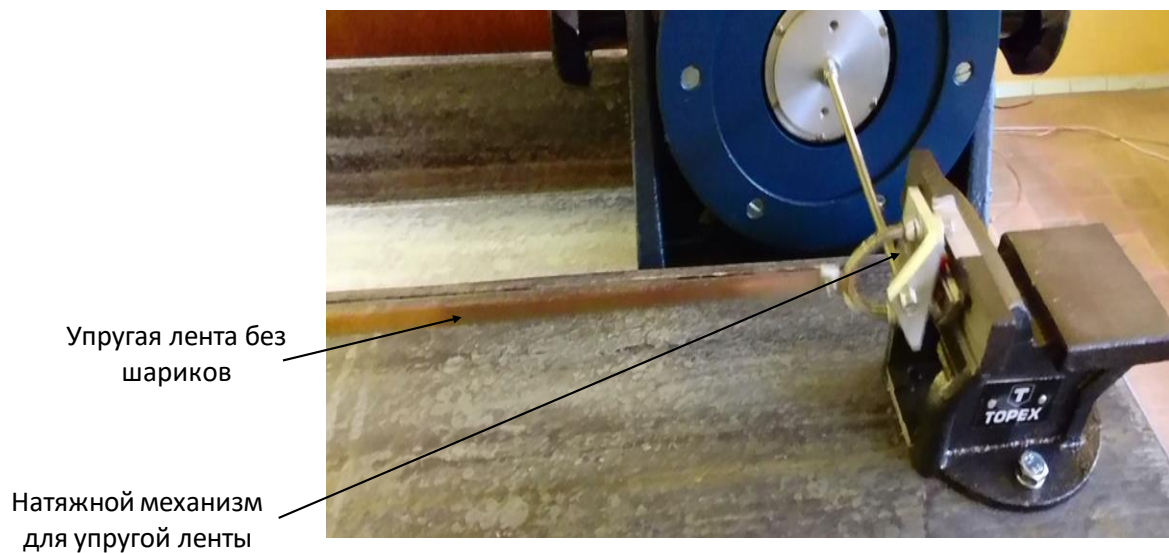


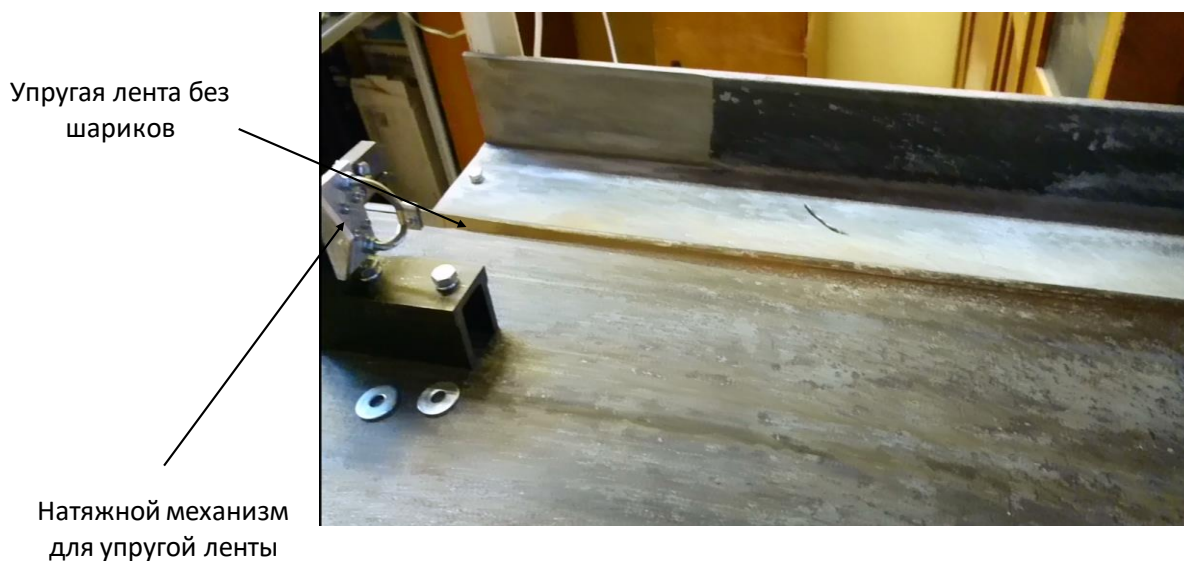
Рис.1. Основные узлы стенда



**Рис. 2.** Общий вид стенда



**Рис. 3.** Механизм для натяжения упругой ленты, расположенный на правой опоре («технологическая» лента без шариков, процесс сборки)



**Рис. 4.** Механизм для натяжения упругой ленты, расположенный на левой опоре («технологическая» лента без шариков, процесс сборки)

Конструкция стенда позволяет в ограниченном диапазоне регулировать собственные частоты колебательной системы изменением натяжения ленты с помощью двух винтовых скоб (типа, рым-болт), установленных на подвижных каретках.

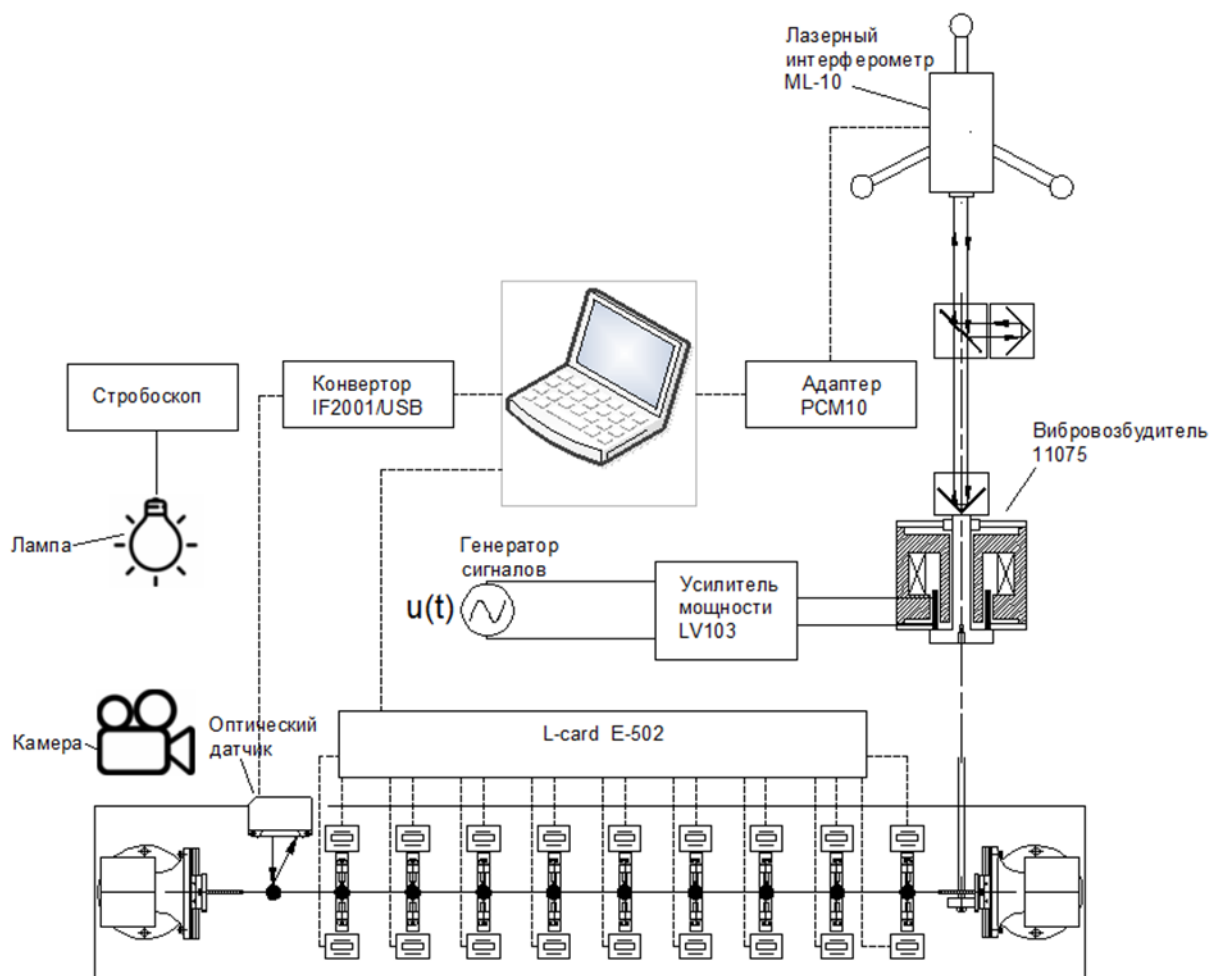
**Измерительная и регистрирующая аппаратура стенда.** Стенд позволяет возбуждать виброударные процессы, частота которых не совпадает с частотой возбуждения от генератора.

Частота и амплитуда возбуждающих колебаний регулируется (устанавливается) с помощью генератора сигналов ГЗ-36 и усилителя мощности LV 103 (рис. 2). Контроль частоты и амплитуды возбуждающих колебаний осуществляется с помощью лазерного интерферометра ML-10, оптический отражатель которого устанавливается на столе вибровозбудителя 11075 (рис. 5). Такой способ установки и контроля амплитуды и частоты возбуждения является оперативным и наглядным.

Сигнал с лазерного интерферометра передается в ноутбук через адаптер РСМ10.

Для измерения моментов времени касания шариков с упорами в стенде предусмотрены пьезодатчики вибрации, устанавливаемые на регулируемые упоры (головки болтов). Сигналы с пьезодатчиков вибрации поступают в ноутбук через систему сбора данных L-card E 502 (многоканальный модуль АЦП) и далее обрабатываются программой LGraph2 и записываются в выходной файл.

Измерение траектории движения точки на поверхности шарика на ленте осуществляется предусмотренным оптическим датчиком перемещений ILD1320-10, который связан с ноутбуком через конвертер IF2001/USB. Датчик перемещений ILD1320-10 устанавливается на магнитной стойке и может фиксироваться в любом положении вдоль колеблющейся упругой ленты с шариками.



**Рис. 5.** Схема расположения измерительной аппаратуры и её связи с ноутбуком

Для визуального наблюдения, идентификации и регистрации исследуемых процессов стенд снабжен стробоскопическим анализатором движения (стробоскопом) и лампой. Частоту вспышек лампы стробоскопа можно синхронизировать с внешним сигналом от генератора. В этом случае при возбуждении периодических процессов с частотами, равными частоте возбуждения, в стробоскопическом свете наблюдается неподвижная форма ленты, которую можно зарегистрировать меро. При включении внутренней синхронизации стробоскопа и введении малой частотной расстройки вспышек лампы по отношению к частоте исследуемого процесса наблюдается медленное движение ленты, которое фиксируется камерой.

### Список литературы

1. В.К. Асташев, В.Л. Крупенин, А.Н. Тресвятский. Экспериментальное исследование синхронизации ударов в распределенных системах с параллельными ударными парами // ДАН. - 1996. - т. 351, №1. - С. 44 – 47.

2. В.К. Асташев, В.Л. Крупенин, А.Н. Тресвятский. Экспериментальное исследование синхронизации ударов в распределенных системах с варьируемым числом ударных пар // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 1996. - № 2. - С. 96 – 101.
3. В.К. Асташев, В.Л. Крупенин. Волны в распределенных и дискретных виброударных системах и сильно нелинейных средах. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1998. - № 5. - С. 13-30.
4. -V.L. Krupenin. Vibro-Impact Processes in Systems with Large Number Impact Pairs and Distributed Impact Elements // Dynamics of vibro-impact systems. Euromech Colloquium 386. September, 1998. Loughborough University, England.
5. Babitsky V.I., Krupenin V.L. Vibration of Strongly Nonlinear Discontinuous Systems. - Springer, 2001. - 330 p.
6. Крупенин В.Л. О развитии методов частотно-временного анализа для расчета составных систем с большим числом ударных пар. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. - №6. - С.40-51.
7. Асташев В.К., Крупенин В.Л. Эксперименты с протяженными виброударными системами (резонансные движения) // Вестник научно-технического развития. – 2010. - № 7 (35). - С. 3-10. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http:// www.vntr.ru](http://www.vntr.ru). (дата обращения: 06.11.2019).
8. Широкополосные виброударные генераторы механических колебаний/ А. М. Веприк, П. Д. Вознюк, В. Л. Крупенин, И. М. Чирков; Под ред. К. М. Рагульскаса. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 78 с., ил. – (Б-ка инженера. Вибрационная техника; Вып. 8)

*Дата поступления: 10 ноября 2019 г.*