

УДК 621.928.2

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ СУБ- И СУПЕРГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ГРОХОЧЕНИЯ

Букин С. Л., проф. каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент,
Беловодский В. Н., доцент каф. КМД ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент.

эл. адрес: s.bukin08@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрена конструкция механической установки нового типа, предназначенной для проведения в лабораторных условиях динамических и технологических физических исследований. Путём применения сменных упругих элементов в составе основной связи колеблющихся масс и трансмиссии вибропривода в колебательной системе возможно возбуждение суб- и супергармонических колебаний. В первую очередь планируются экспериментальные исследования для изучения новых вибрационных эффектов. Другой комплекс экспериментов предполагается посвятить исследованию влияния несимметричных колебаний на результаты процесса грохочения мелких и тонких материалов.

Ключевые слова: лабораторная установка, исследования, динамика, возбуждение, суб- и супергармонические колебания, нелинейность, упругие элементы, технология.

Abstract: The article discusses design of a new type laboratory machine designed for dynamic and technological physical research in a laboratory. By using interchangeable elastic elements in the main connection of the oscillating masses and transmission vibrodrive in the oscillatory system, sub- and superharmonic oscillations can be excited. First of all, experimental studies are planned to study new vibrational effects. Another set of experiments is supposed to be devoted study of the influence of asymmetric vibrations on the results screening process of small and thin materials.

Key words: laboratory machine, research, dynamics, excitation, sub- and superharmonic vibrations, nonlinearity, elastic elements, technology.

Одним из направлений интенсификация технологических процессов переработки на машинах вибрационного типа является возбуждение

несимметричных колебаний одного или нескольких рабочих органов [1]. В настоящее время большой интерес у создателей вибрационной техники вызывает возможность возбуждения суб- и супергармонических резонансов в нелинейных колебательных системах [2-3]. Положительные результаты теоретических исследований [2-8] предопределили необходимость экспериментального подтверждения полученных зависимостей и закономерностей.

Преподавателями и студентами ДонНТУ совместно с сотрудниками ООО «НПК «УкрВиброМаш» разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 1), предназначенная для проведения в лабораторных условиях динамических и технологических физических исследований.

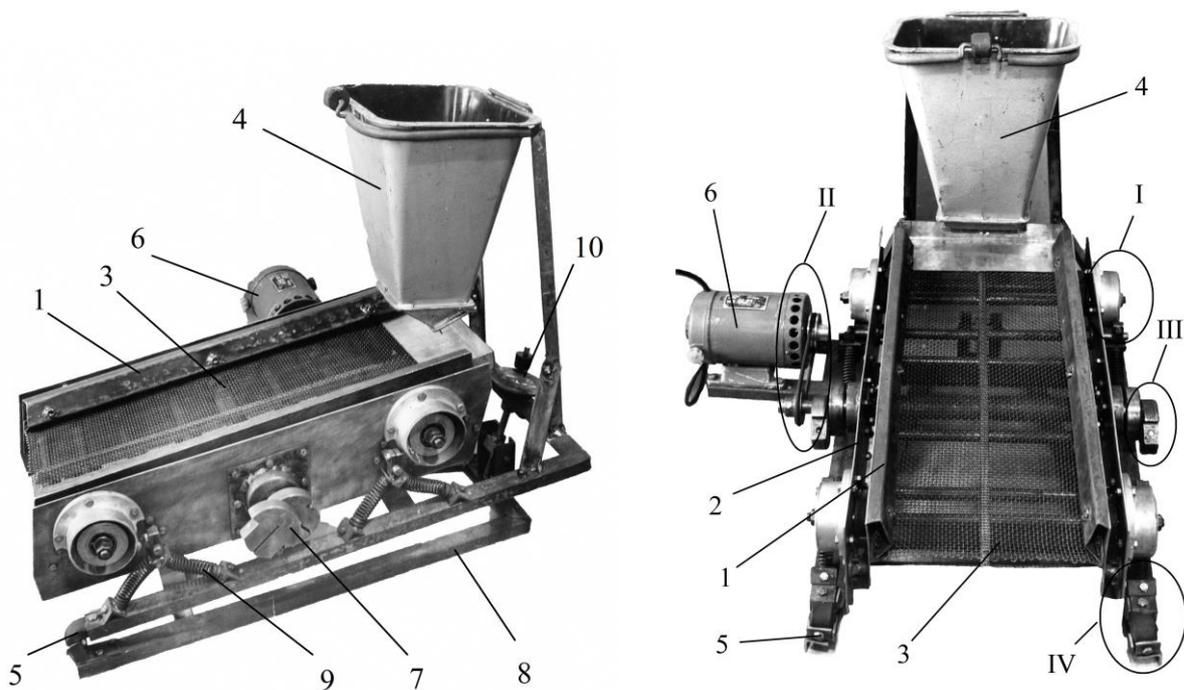


Рис. 1 - Общий вид лабораторной установки:

- 1 – ситовая рамка; 2 – короб; 3 – сито; 4 – бункер; 5 - упругий шарнир;
 6 - электродвигатель привода вибровозбудителя; 7 – дебалансы вибровозбудителя; 8 – основание; 9 - опорные виброизоляторы;
 10 - штурвал механизма изменения угла наклона; 11 - рама

Установка (рис. 1), выполненная в виде вибрационного грохота, представляет собой инерционную колебательную систему, вибрации которой

генерируются одновальным дебалансным вибровозбудителем. В первую очередь на лабораторной установке планируется проведение динамических исследований колебательных систем линейного и нелинейного типа. Кроме того, исполнение установки в виде вибрационного грохота позволяет изучать технологические особенности разделения мелкозернистых влажных сыпучих материалов по крупности в поле полигармонических колебаний.

Основные элементы конструкции установки обозначены на рис. 1. Разнообразие конструктивных вариантов узла I (основная связь подвижных масс системы), а также узла II (трансмиссия вибропривода дебалансного возбудителя колебаний), позволяет всесторонне изучить динамические свойства системы и произвести сравнение вариантов для выбора наиболее рациональных.

Конструкция узла I основной связи подвижных масс (рис. 2) включает несколько взаимозаменяемых элементов, что позволяет исследовать влияние степени нелинейности упругих элементов и их основных конструктивных характеристик на динамические показатели машины. Конструкция узла I предусматривает возможность осуществить быстрый переход от двухмассовой колебательной системы к одномассовой.

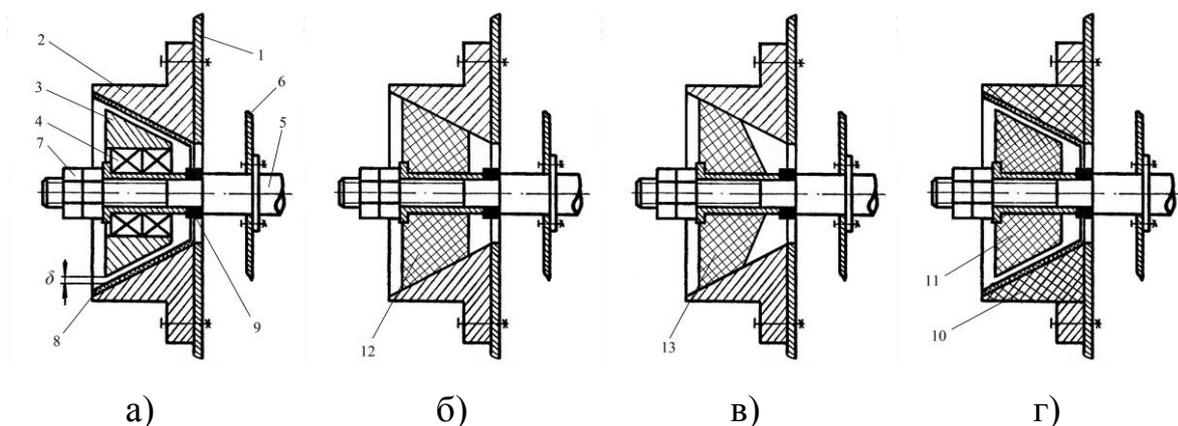


Рис. 2 - Варианты конструкции узла основной связи подвижных масс:

1 – короб вибромашины; 2, 10 – обойма; 3, 11 – каток; 4 – подшипник; 5 – поперечная связь боковин ситовой рамки; 6 – боковина ситовой рамки; 7 – гайка и контргайка; 8 – резиновая прокладка; 9 – шайба; 12, 13 – упругий элемент; 14 - втулка

Основная связь подвижных масс виброустановки (рис. 2) представляет собой закреплённые на коробе 1 обоймы 2, изготовленные из алюминиевого сплава, внутри которых проходит трубчатые поперечные связи 5, на концах которых приварены цапфы с цилиндрическими и резьбовыми частями. В свою очередь связи 5 соединяют боковины ситовой рамки 6. На втулке 14 в зависимости от исследуемых задач могут устанавливаться при помощи подшипников 4 конусные катки 3 (рис. 2а), резиновые упругие элементы 12 линейного типа (рис. 2б) или резиновые упругие элементы 13 нелинейного типа (рис. 2в). Обоймы 10 и катки 11 изготовлены из постоянных неодимовых магнитов. Заменяв обоймы 2 на обоймы 10, а также катки 3 на катки 11, можно проводить исследования двухмассовой колебательной системы с подвесом рамки 6 относительно короба в магнитном поле. Для предотвращения ударных взаимодействий катка с обоймой при пуске и остановке машины предусмотрена резиновая прокладка 8, приклеенная к внутренней поверхности обоймы 2. Зазор δ регулируется путём применения шайб 9 разной ширины. При исследовании одномассового варианта колебательной системы шайбы 9 снимаются, и при помощи гаек 7 устраняется зазор между обоймами и катками ($\delta = 0$).

В работах [2, 3] установлена возможность возбуждения выраженных полигармонических колебаний рабочего органа двухмассовой инерционной вибромашины в режиме супергармонического резонанса. Основным условием реализации такого режима является применение основной упругой связи подвижных масс с существенной нелинейностью. Обеспечить такую характеристику возможно, применив упругие элементы резино-магнитного типа [4]. Теоретические выводы, приведенные в работе [5], свидетельствуют о перспективности данного направления развития вибромашин инерционного типа. Проверка этих выводов включена в комплекс экспериментальных работ на лабораторной установке. Ещё один вариант конструкции узла связи подвижных масс предусматривает использование в её составе стальных пружин сжатия с прогрессивной характеристикой [6].

Трансмиссия (узел II рис. 1) вибропривода дебалансного возбудителя колебаний, также имеет несколько вариантов исполнения (рис. 3).

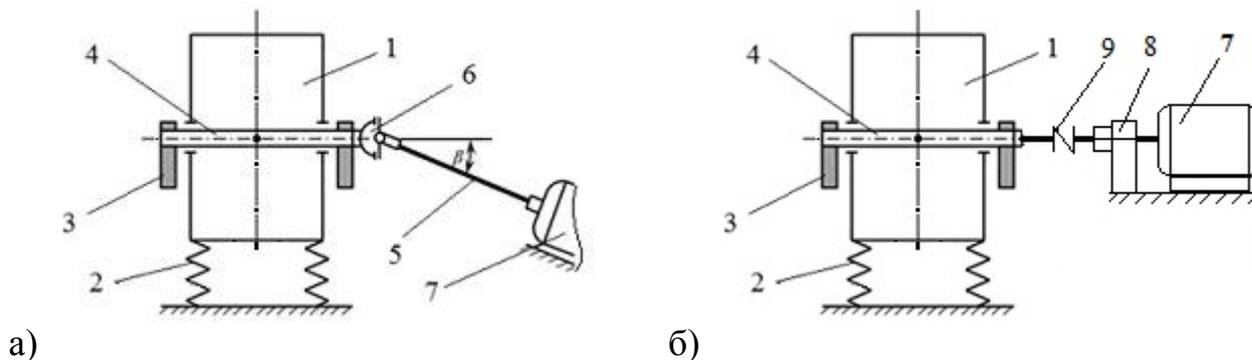


Рис. 3 - Варианты трансмиссии вибромашины:

1 – короб вибромашины; 2 – упругие опоры; 3 – дебаланс вибровозбудителя; 4 – вал вибровозбудителя; 5 – приводной вал; 6 – универсальный шарнир (шарнир Гука); 7 – электродвигатель; 8 – нелинейная муфта; 9 – упругая муфта

В результате проведенных теоретических исследований влияния положения одношарнирного карданного вала, соединяющего вал электродвигателя вибропривода с дебалансным валом, отмечен существенный вклад высших гармоник в частотный спектр колебаний рабочего органа [7]. Однако возникшие вопросы также требуют экспериментальной проверки. Для этого в одном из вариантов трансмиссии (рис. 3а) предусмотрена возможность изменения угла наклона ведущего вала карданной одношарнирной передачи в диапазоне от 0 до 45 град путём изменения положения электродвигателя привода вращения вибровозбудителя на раме установки.

Крайне необходимы экспериментальные исследования по изучению влияния параметров упругой муфты в трансмиссии инерционного вибропривода одномассовой машины на характеристики колебательного процесса. Теоретические исследования показали, что при определённых параметрах элементов конструкции в колебательной системе могут быть возбуждены супергармонические колебания [8, 9]. Супергармонические

колебания способны усилить упругие элементы в трансмиссии инерционного вибропривода, например, упругий шкив [10]. В качестве упругих элементов в конструкции такого шкива могут быть использованы стальные цилиндрические или конические пружины сжатия. Изучение особенностей инерционных вибромашин с линейными или нелинейными упругими элементами в составе трансмиссии вибропривода представляют несомненный научный интерес.

Дебалансный узел (узел III) позволяет изменять статический момент массы вибровозбудителя и, соответственно, регулировать амплитуды колебаний подвижных масс в широком диапазоне. Несколько комплектов с разными размерами дебалансов обеспечивают возможность варьирования момента инерции дебалансного вала. Для регулирования амплитуд колебаний рабочего органа дебалансы выполнены составными: одна пара дебалансов жёстко закреплена на валу, а вторая пара имеет возможность поворота относительно «неподвижных» дебалансов. Этот широко известный способ изменения амплитуды колебаний инерционных вибромашин применён и в конструкции возбудителя колебаний установки.

Узел IV предназначен для беззазорного соединения качающейся части рамы с основанием при изменении угла наклона вибромашины. Этим обеспечивается снижение посторонних колебаний, возникающих при работе установки.

Кроме лабораторного виброгрохота в состав установки входит микропроцессорный преобразователь частоты L300Plus фирмы HITACHI (Япония), обеспечивающий плавное регулирование частоты вращения асинхронного электродвигателя привода вибровозбудителя в широком диапазоне. В качестве устройства регистрации динамических параметров вибрационной машины предполагается применение анализатора вибрации «VIBRODON», позволяющий выполнять регистрацию и анализ вибрационных сигналов по трём виброизмерительным каналам при помощи трёхкоординатных датчиков [11]. Измерения производятся в характерных точках измерения подвижных масс установки (рис. 4).

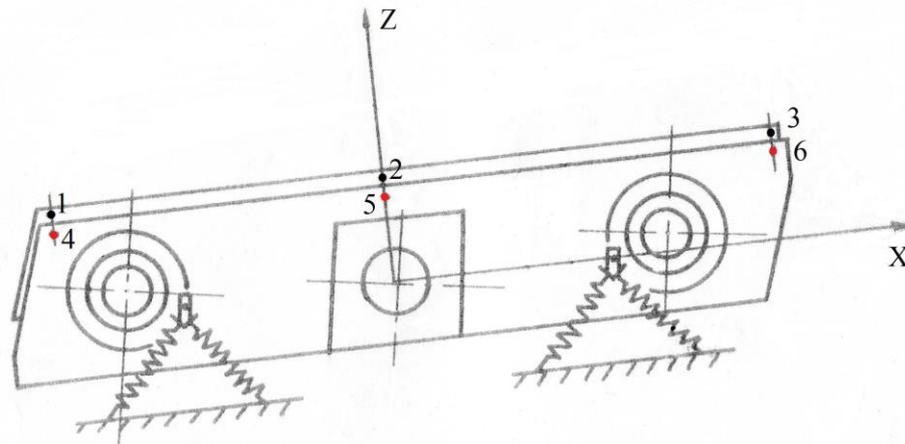


Рис 4 – Точки измерения динамических параметров подвижных масс установки

Таким образом, разработанная вибрационная установка, предназначенная для выполнения широкомасштабных экспериментальных исследований, полностью отвечает условиям и задачам физического эксперимента.

При положительных результатах экспериментальных исследований открываются хорошие перспективы для созданию высокоэффективных вибромашин нового технического уровня. Можно с уверенностью прогнозировать, что такие машины будут иметь целый ряд преимуществ по сравнению с вибромашинами традиционных динамических схем.

Литература:

1. Букин С. Л. Интенсификация технологических процессов вибромашин путем реализации бигармонических режимов работы [Текст] / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 36 (77) - 37 (78). – С. 81-89.
2. Belovodskiy V. N. Nonlinear Antiresonance Vibrating Screen [Text] / V.N. Belovodskiy, S.L. Bukin, M.Y. Sukhorukov // Advances in Mechanisms Design. Proceedings of TMM 2012. Mechanisms and Machine Science. – Springer, 2012. – Vol. 8. – P. 167-173.

3. Belovodskiy V. N. 2:1 Superharmonic Resonances in Two-Masses Vibrating Mashines [Text] / V.N. Belovodskiy, S.L. Bukin, M.Y. Sukhorukov, A.A. Babakina // 11th International Conference on Vibration Problems. Lisbon, Portugal, 9-12 September 2013.

4. Букин С. Л. О возможности использования постоянных магнитов в упругих элементах основной связи подвижных масс многомассовых вибромашин с направленными колебаниями [Текст] / С.Л. Букин, М.В. Чашко // «Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжн. зб. наукових праць». - Донецьк: ДонНТУ, 2013. Вип. 1, 2 (46). - С.30-36.

5. Беловодский В. Н. Возбуждение полигармонических колебаний в вибромашине с нелинейной упругой связью подвижных масс нового типа [Текст] / В.Н. Беловодский, С.Л. Букин // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. тр. - Донецк: ДонНТУ, 2015. - Вип. 1 (51). - С. 32-41.

6. Букин С. Л. О применении пружин сжатия с прогрессивной характеристикой в качестве конструктивной базы упругой системы вибромашин [Текст] / С.Л. Букин, В.Н. Беловодский // Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. тр. XXV международ. науч.-техн. конф. г. Севастополь, 10-16 сентября 2018 г. Том 1. – С. 48-55.

7. Беловодский В. Н. Плоские колебания вибрационной машины с шарниром Гука в трансмиссии центробежного вибропривода [Текст] / В.Н. Беловодский, С.Л. Букин // Системный анализ и информац. технологии: Сб. науч. тр., 2017. - Вип. 1(12)-2(13). - С. 33-38.

8. Букин С. Л. Возбуждение полигармонических колебаний в одномассовой инерционной вибромашине с дебалансным вибровозбудителем и упругой муфтой [Текст] / С.Л. Букин, В.П. Кондрахин, В.Н. Беловодский и др. // Физико-технич. проблемы разраб. полез. ископаемых, №1, 2014. – С. 103-110.

9. Букин С. Л. Магнитная упругая муфта – как элемент трансмиссии инерционных супергармонических вибромашин [Текст] / С.Л. Букин, М.В.

Чашко // Зб.: Наукові праці ДонНТУ. Випуск 1(27). Серія: Гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – С. 31-39.

10. Букин С. Л. К выбору упругой линейной муфты для супергармонического привода колебаний инерционной вибромашины [Текст] / С.Л. Букин, А.Р. Коваленко // «Обогащение полезных ископаемых Донбасса: взгляд в будущее»: мат. Республ. научно-техн. конф.: - г. Донецк, 25 апреля 2019 г. – С. 37-48.

11. Букин С. Л. Устройство «VIBRODON» – анализатор основных динамических параметров вибрационных машин [Текст] / Сб. мат. конф. «Комплексные процессы обогащения, переработки и использования минерально-сырьевых ресурсов». – Донецк: ДонНТУ, 26.10.2017 г. – С. 28-37.