

*к.т.н. Рутковский А.Ю.,  
Мулов Д.В.,  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАТНЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ**

*Проведені динамічні випробування кільцевих канатних віброізоляторів, які використовуються у конструкціях вібросасних систем ручних ударних машин. Досліджено вплив конструктивних параметрів віброізоляторів на вільні і змушені коливання.*

**Ключові слова:** *віброізолятор, випробування, стенд, демпфування коливань, частота.*

*Проведены динамические испытания кольцевых канатных виброизоляторов используемых в конструкциях виброзащитных систем ручных ударных машин. Исследовано влияние конструктивных параметров виброизоляторов на свободные и вынужденные колебания.*

**Ключевые слова:** *виброизолятор, испытания, стенд, демпфирование колебаний, частота.*

### **Проблема и её связь с научными и практическими задачами.**

В угольной промышленности Украины нашли широкое применение ручные машины ударного действия, которые позволяют механизировать многие трудоёмкие технологические процессы и увеличить производительность по сравнению с ручным трудом при одновременном повышении качества работ.

На шахтах Центрального района Донбасса, из-за сложности горно-геологических условий залегания крутопадающих пластов, почти 70% добычи угля обеспечивается ручными ударными машинами (из 113 действующих очистных забоев отбойными молотками оснащены 80).

Угольная промышленность Центрального района Донбасса имеет большое значение для национальной экономики страны, поскольку запасы коксующегося угля в технических границах шахт представляют почти 15% от общих запасов кокса в Украине. В том числе особенно ценных марок угля – 215 млн. тонн. Потребность в угле таких марок составляет около 22 – 25 млн. тонн в год.

Кроме очистных работ, ручной ударный инструмент широко используется на угольных предприятиях при ведении проходческих и ряда вспомогательных работ.

Однако ручные ударные машины являются наиболее виброопасной техникой, а их эксплуатация продолжает оставаться основной причиной возникновения профессиональных заболеваний. Систематическое воздействие вибрации на горнорабочих приводит к повышению утомляемости, снижению производительности, качества выполняемых работ и развитию профессионального заболевания, в виде вибрационной болезни, занимающей ведущее место в структуре профессиональных патологий. В последние годы число случаев заболевания вибрационной болезнью увеличивается, что связано с возрастанием контингента рабочих использующих ручной ударный инструмент, о чем свидетельствует приведенная статистика профессиональных заболеваний [1].

Таким образом, до конца проблему обеспечения вибробезопасности ручных ударных машин еще нельзя считать решенной. На угольных предприятиях в ежедневном употреблении продолжает оставаться значительное количество этой техники, требующей к себе пристального внимания с точки зрения виброзащиты горнорабочих.

#### **Анализ исследований и публикаций.**

Методы подавления вибровозбуждения ручных ударных машин продолжают совершенствоваться и находят реализацию в конструкциях создаваемых машин. Но без применения средств виброизоляции и демпфирования до конца решить проблему виброзащиты пока не удастся. Виброизоляторы позволяют исключить влияние таких источников вибрации, как переменные внутренние силы, обусловленные движущимися частями; ударные взаимодействия корпуса ручной машины с рабочим инструментом и обратные удары и др. [2].

В ДонГТУ были разработаны конструкции виброзащитных систем ручных ударных машин на основе кольцевого канатного виброизолятора (ККВ) [3, 4]. Использование ККВ, как показали ранее проведенные исследования [5], способствует снижению динамических усилий, действующих со стороны корпуса машины на рукоятку управления, и, следовательно, на человека-оператора.

В работе [6] проведены статические испытания ККВ и получены зависимости жесткости упругих элементов от изменения их геометрических параметров. Однако теоретические исследования работы ударной машины с предлагаемой виброзащитной системой на основе ККВ невозможны без учета экспериментальных данных о характере демпфирующей способности упругих элементов.

### Постановка задачи.

Данная статья является продолжением выше указанных работ. Целью данного исследования является проведение динамических испытаний ККВ, которые предполагают изучение свободных колебаний для определения параметров демпфирования и значений собственных частот при различных параметрах ККВ, а также вынужденных колебаний для установления развития процесса колебаний при изменении частоты возмущающей силы.

### Изложение материала и результаты.

Для исследования свободных колебаний ККВ использовался стенд, представленный на рисунке 1. Образец виброизолятора 1 устанавливается между двух втулок 2 и 3, на одной из которых закреплены сменные грузы 4. К массе прикреплен стержень 5, другой конец которого находится в направляющей 6. На стержне закрепляется шторка 7, перекрывающая часть луча света, который от источника 8 через линзы 9 попадает на приемник света 10. Он представляет собой фотодатчик, вырабатывающий электрический сигнал под действием света. Этот сигнал без усиления подается на вход быстродействующего самописца 11 типа НЗ38-4П. Работа установки заключается в следующем: виброизолятор с закрепленной на нём массой выводится из положения равновесия (сжимается) и резко отпускается. Система начинает совершать свободные колебания, которые фиксируются самописцем 11. Сигнал от источника света 8 подается через линзу 9 на шторку 7, совершающую колебания совместно с массой, линзу 9, приемник света 10, самописец 11.

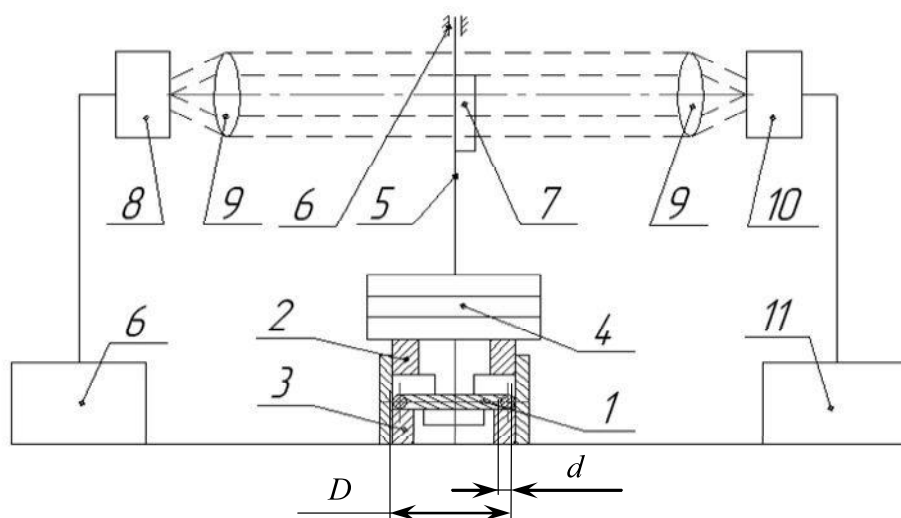


Рисунок 1 – Стенд для исследования свободных колебаний ККВ

Для определения вибрационных характеристик разрабатываемых систем виброзащиты на основе ККВ использовалась вибрационная механическая установка типа УВ-70/200 представленная на рисунке 2.

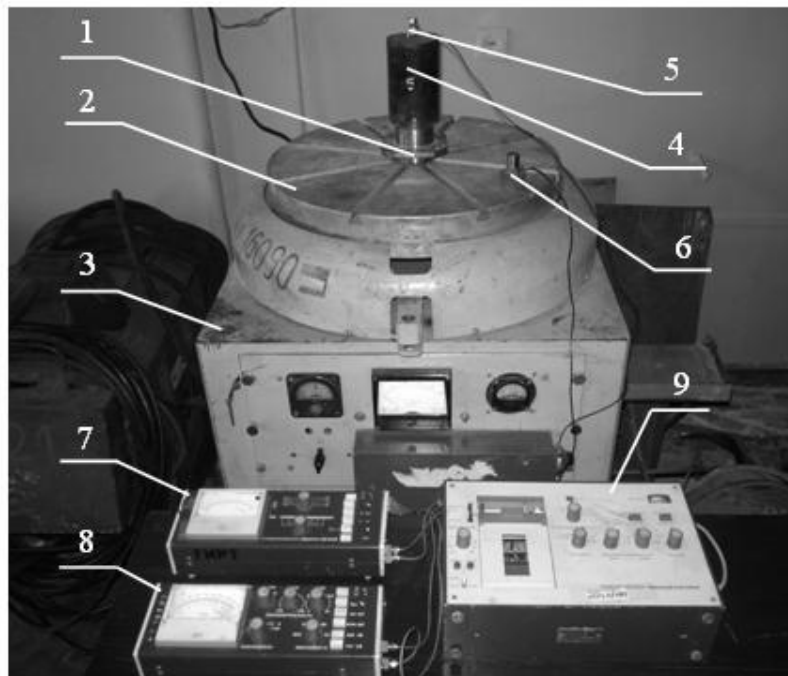


Рисунок 2 – Внешний вид установки для исследования вынужденных колебаний ККВ

Методика проведения испытаний заключалась в следующем: фланец 1 с двумя втулками внутри, между которыми установлен образец ККВ, жестко крепится на столе 2 вибростенда 3. На одной из втулок закрепляются сменные грузы 4 и пьезоэлектрический датчик 5 типа КД-23. Другой пьезоэлектрический датчик 6 типа КД-23 устанавливается на вибростоле и контролирует уровень вибровозбуждения. Оба датчика крепятся с помощью резьбового соединения. Сигналы с датчиков поступают на виброизмерительный комплекс фирмы Robotron, который включает в себя виброметр 7 типа 00042, узкополосный фильтр 8 типа 01025 и самописец уровня 9 типа 00026, который регистрирует резонансные пики при различных диапазонах частот возбуждения.

Исследовались образцы ККВ со следующими конструктивными параметрами: диаметр кольца виброизолятора ( $D$ ) равен 46 мм; 43 мм; 41 мм; диаметр каната в кольце виброизолятора ( $d$ ) – 8 мм; 5 мм; 3,5 мм.

На стенде свободных колебаний были получены графики свободных колебаний для различных образцов ККВ. Один из таких графиков представлен на рисунке 3.

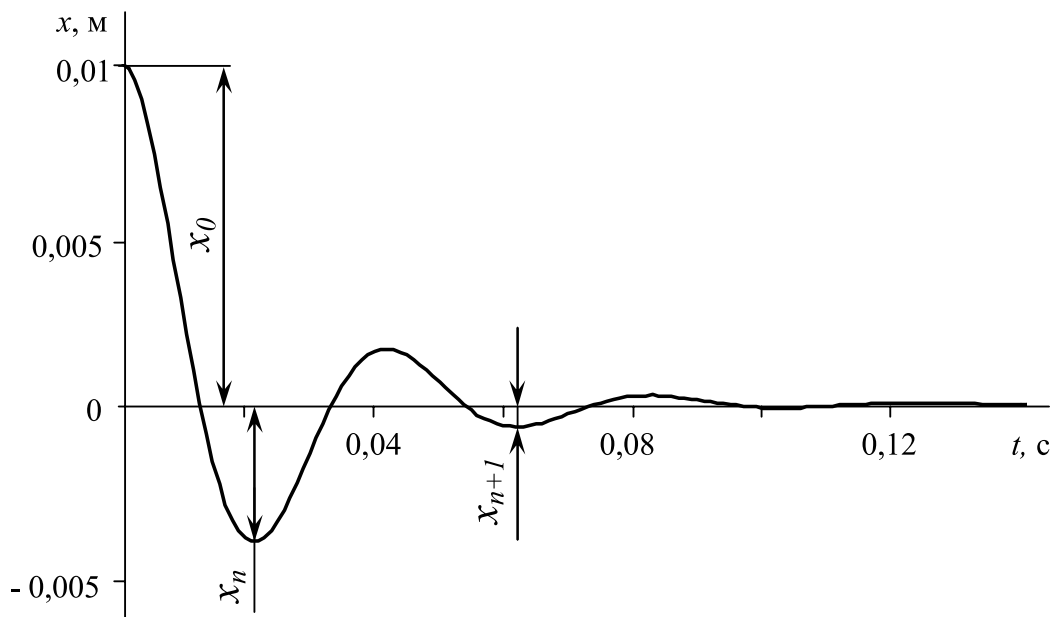


Рисунок 3 – График свободных колебаний одного из испытываемых образцов виброизолятора ( $D = 41$  мм,  $d = 3,5$  мм)

Обработка графиков позволила получить зависимости коэффициента демпфирования упругих элементов от амплитуды деформации ( $x$ ), представленные на рисунках 4, 5. Коэффициент демпфирования определялся как:

$$b = 2D\sqrt{cm}, \quad (1)$$

где  $D = \frac{\nu}{\sqrt{4\pi^2 + \nu^2}}$  – безразмерный коэффициент демпфирования;

$\nu = \ln\left(\frac{x_n}{x_{n+1}}\right)$  – логарифмический декремент колебаний;

$c$  – коэффициент жесткости упругого элемента;

$m$  – масса защищаемого объекта.

Свободные колебания показали, что при различных начальных условиях и амплитудах деформации условный период колебаний в процессе затухающих колебаний остается постоянным, а это указывает на то, что период не зависит от начальной амплитуды деформации ККВ. При различных параметрах ККВ до полного затухания происходит не более четырех колебаний, что свидетельствует о высокой демпфирующей способности виброизоляторов.

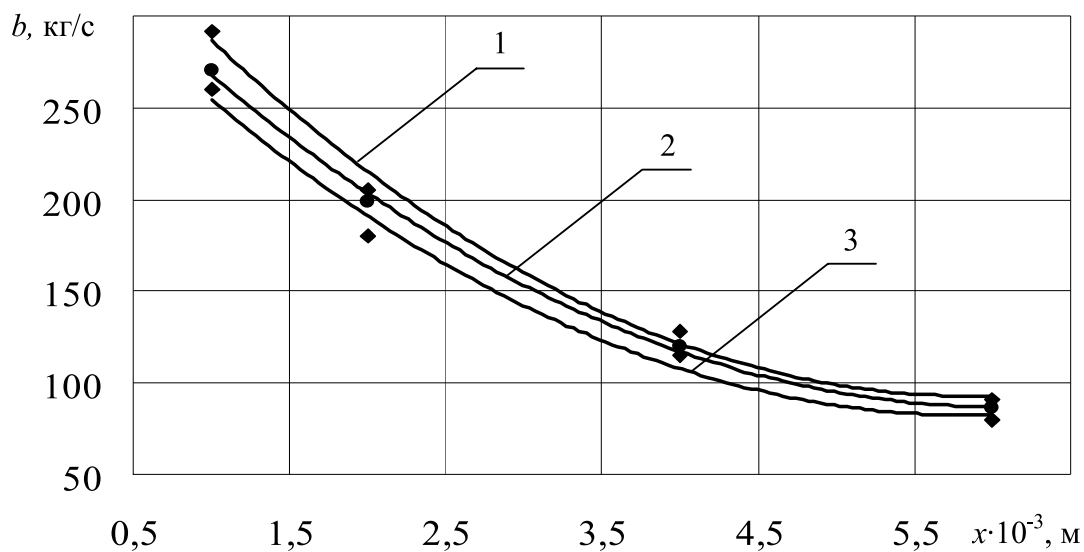


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента демпфирования от амплитуды деформации ККВ: 1 – для образца с параметрами  $D = 46$  мм,  $d = 3,5$  мм; 2 –  $D = 43$  мм,  $d = 3,5$  мм; 3 –  $D = 41$  мм,  $d = 3,5$  мм

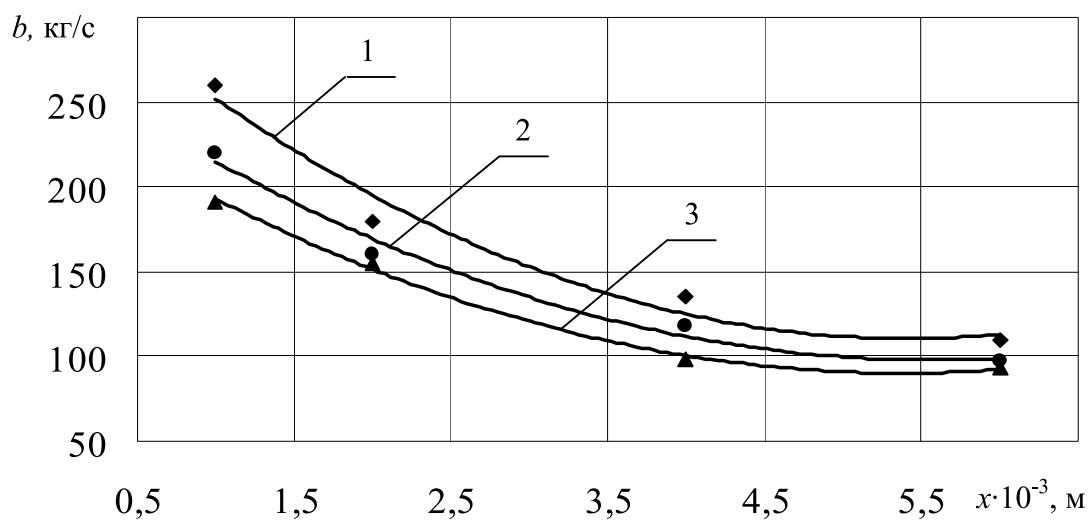


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента демпфирования от амплитуды деформации ККВ: 1 – для образца с параметрами  $D = 46$  мм,  $d = 8$  мм; 2 –  $D = 46$  мм,  $d = 5$  мм; 3 –  $D = 46$  мм,  $d = 3,5$  мм

В результате экспериментов было исследовано влияние массы защищаемого объекта на частоту собственных колебаний  $f_0$  ККВ. Полученные зависимости представлены на рисунках 6, 7.

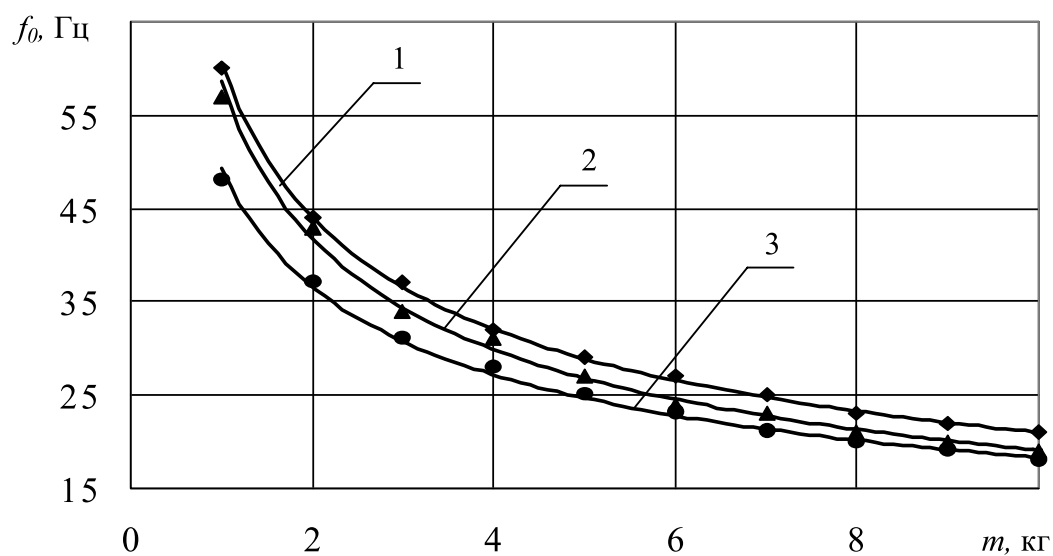


Рисунок 6 – Зависимость собственной частоты колебаний ККВ от массы защищаемого объекта: 1 – для образца с параметрами  $D = 46$  мм,  $d = 3,5$  мм; 2 –  $D = 43$  мм,  $d = 3,5$  мм; 3 –  $D = 41$  мм,  $d = 3,5$  мм

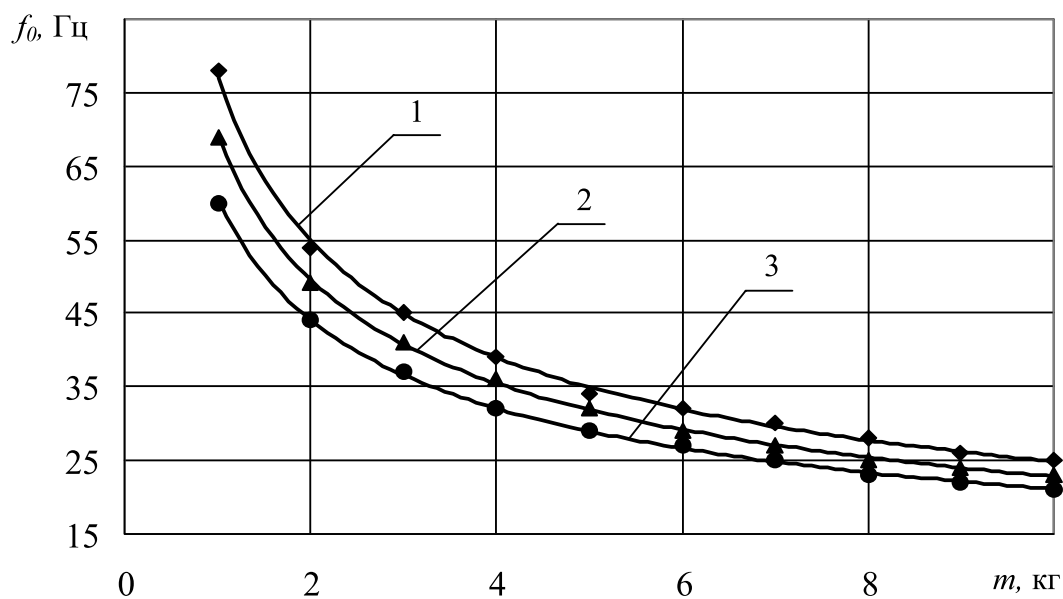


Рисунок 7 – Зависимость собственной частоты колебаний ККВ от массы защищаемого объекта: 1 – для образца с параметрами  $D = 46$  мм,  $d = 8$  мм; 2 –  $D = 46$  мм,  $d = 5$  мм; 3 –  $D = 46$  мм,  $d = 3,5$  мм

Анализ полученных результатов показывает, что при относительно малых значениях  $m$  собственная частота ККВ сильно зависит от мас-

сы, а при больших значениях массы защищаемого объекта собственная частота практически остается постоянной.

Также задачей исследования собственных колебаний является определение влияния параметров ККВ на собственную частоту. Исследования при изменении конструктивных параметров позволили получить зависимости собственной частоты колебаний ККВ от диаметра кольца, рисунок 6, и диаметра каната в кольце виброизолятора, рисунок 7. Из полученных зависимостей следует, что при увеличении диаметра кольца собственная частота ККВ увеличивается. Увеличение диаметра каната в кольце виброизолятора также приводит к увеличению значения собственной частоты.

Испытания ККВ на вибростенде позволили получить амплитудно-частотные характеристики виброизоляторов при изменении их геометрических параметров, а также при различных значениях массы защищаемого объекта. По результатам замеров определяется коэффициент виброизоляции как:

$$\eta = \frac{V}{V_c}, \quad (2)$$

где  $V$  – уровень виброскорости на защищаемом объекте, м/с;  
 $V_c$  – уровень виброскорости на вибростоле, м/с.

Одни из таких амплитудно-частотных характеристик для виброизолятора с параметрами  $D = 46$  мм,  $d = 3,5$  мм приведены на рисунке 8.

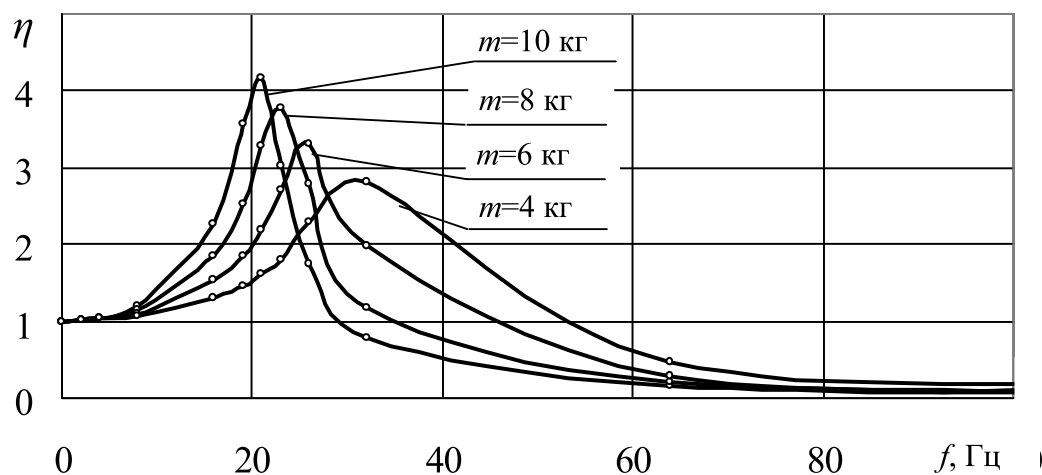


Рисунок 8 – Амплитудно-частотные характеристики ККВ

Экспериментально установлено, что при увеличении защищаемой массы резонансные частоты смещаются в низкочастотную область. Ко-



эффиценты виброизоляции на резонансе при этом увеличиваются, а в зарезонансной области уменьшаются.

### **Выводы и направления дальнейших исследований.**

Таким образом, на основе полученных результатов, можно сделать вывод, что демпфирование ККВ носит нелинейный характер и зависит от амплитуды и размаха колебаний. Регулировать параметры демпфирования ККВ можно, изменяя конструктивные параметры виброизоляторов. Основными параметрами, влияющими на значение собственной частоты ККВ, являются масса защищаемого объекта, а также диаметр кольца и диаметр каната в кольце виброизолятора.

Направление дальнейших исследований связано с использованием полученных экспериментальных данных о характере упруго-демпфирующих свойств ККВ для теоретического исследования предложенных систем виброзащиты ручных ударных машин.

### **Библиографический список**

1. Тимофеева И.Г. *Безопасность труда на виброопасных технологических процессах – Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 2003. – 95с.*
2. *Динамические свойства линейных виброзащитных систем. / А.В. Синев, Ю.Г. Сафронов, В.С. Соловьев и др.: Под ред. К.В. Фролова – М.: Наука, 1982. – 205с.*
3. Пат. 19365 Україна, МПК<sup>7</sup> В 25 D 17/24. Пневматична машина ударної дії / О.Ю. Рутковський, В.О. Сурело, Д.В. Мулов, Ю.В. Коробейников; заявник і патентовласник Донбас. держ. техніч. ун.-т. – №200606523; заявл. 13.06.06; опубл. 15.12.06, Бюл. №12 – 3 с.: іл.
4. Пат. 36012 Україна, МПК<sup>8</sup> В 25 D 17/24. Пневматичний молоток / Д.В. Мулов, О.Ю. Рутковський; заявник і патентовласник Донбас. держ. техніч. ун.-т. - №200804423; заявл. 06.04.08. – 3 с.: іл.
5. Рутковский А.Ю., Мулов Д.В., Коробейников Ю.В. *Моделирование динамики работы ручной ударной машины новой конструкции // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 12. Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2006. – С. 210-215.*
6. Мулов Д.В. *Экспериментальные исследования упруго-демпфирующих свойств кольцевых канатных виброизоляторов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 16, серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 198-203.*

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Финкельштейном З.Л.*