

УДК 622.232.3.002.75

**А.Ю. Рутковский**, канд. техн. наук, доц.,**Д.В. Мулов**, ассистент

Донбасский государственный технический университет

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА РУЧНОЙ УДАРНОЙ МАШИНЫ С ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАТНЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ**

*Проведено имитационное моделирование рабочего процесса ручной ударной машины с предлагаемой новой конструкцией виброзащитной системы, основным элементом которой является кольцевой канатный виброизолятор. В модели учтены экспериментальные данные об упруго-демпфирующих свойствах применяемых виброизоляторов.*

**виброзащитная система, жесткость, демпфирование колебаний, виброизолятор, частота**

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

Высокий уровень вибрации и шума, сопровождающих эксплуатацию оборудования на предприятиях угольной промышленности Украины, приводит к снижению производительности труда, ухудшению качества выполняемых работ и самочувствия горнорабочих. Причем при значительной доле тяжелых и неквалифицированных работ эти факторы (вибрация и шум) могут стать причиной профессиональных заболеваний. Из 800 тыс. единиц устаревшего оборудования, которое в настоящее время эксплуатируется в Украине, бóльшую часть составляет ручной ударный инструмент.

Особую опасность при работе с ручным ударным инструментом представляет локальная вибрация, которая действует на руки работающего и оказывает весьма серьезное влияние на здоровье человека, вызывая такие заболевания, как неврит, вибрационная болезнь и другие. В Украине, по данным за 2008 г., виброзаболевания и тугоухость стоят на втором и третьем местах.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что проблему обеспечения вибробезопасности ручных ударных машин еще нельзя считать решенной, на предприятиях угольной промышленности эксплуатируется значительное количество ручных ударных машин, требующих к себе пристального внимания с точки зрения виброзащиты горнорабочих.

**Анализ исследований и публикаций.** В работе [1] предложена новая конструкция виброзащитной системы ручной ударной машины на основе кольцевых канатных виброизоляторов (ККВ), благодаря которой достигается снижение уровня вибрации, воспринимаемой руками оператора от действия колеблющегося корпуса, а также увеличивается степень прижатия рабочего инструмента к обрабатываемой среде. В работе [2] разработана математическая модель системы «человек-оператор – ударная машина – обрабатываемая среда» с новой системой виброзащиты на основе ККВ и проведен предварительный анализ её использования по сравнению с серийно выпускаемой конструкцией ударной машины. В работах [3, 4] проведены статические и динамические испытания ККВ и получены экспериментальные зависимости упруго-демпфирующих характеристик ККВ.

**Постановка задачи.** Данная статья является продолжением выше указанных работ. Целью данного исследования является уточнение математической модели ручной ударной машины с предлагаемой новой виброзащитной системой на основе ККВ за счет использования в процессе моделирования полученных экспериментальных данных о характере упруго-демпфирующих свойств ККВ для оценки эффективности применения предлагаемой конструкции.

**Изложение материала и результаты.** В разработанной математической модели в работе [2] свойства упруго-демпфирующих элементов, которые представлены в виде ККВ моделируются при помощи линейного упруго-диссипативного элемента с постоянным коэффициентом жесткости  $c$  и демпфирования  $b$ , что не отражает сущности движения реальной системы.

Теоретические исследования работы ударной машины с предлагаемой виброзащитной системой на основе ККВ и оценка эффективности её использования по сравнению с серийной конструкцией невозможны без учета экспериментальных данных о характере упруго-демпфирующих свойств упругих элементов. По результатам статических и динамических испытаний были получены экспериментальные зависимости коэффициента жесткости от амплитуды деформации образца при изменении конструктивных параметров виброизоляторов (диаметра кольца виброизолятора –  $D$  и диаметра каната в кольце –  $d$ ), рис. 1, *а* и зависимости коэффициента демпфирования от амплитуды деформации образца при изменении параметров виброизоляторов, рис. 1, *б*.

Анализ полученных результатов показывает, что в реальном ККВ характеристики жесткости и демпфирования носят явно выраженный нелинейный характер и зависят от амплитуды и размаха колебаний, а также от величины предварительного статического нагружения. Для описания полученных зависимостей были получены уравнения в виде полинома второй степени отображающие связь между изменением жесткости и демпфирующей способности виброизоляторов с разными конструктивными параметрами в зависимости от амплитуды их деформации, рис. 1.

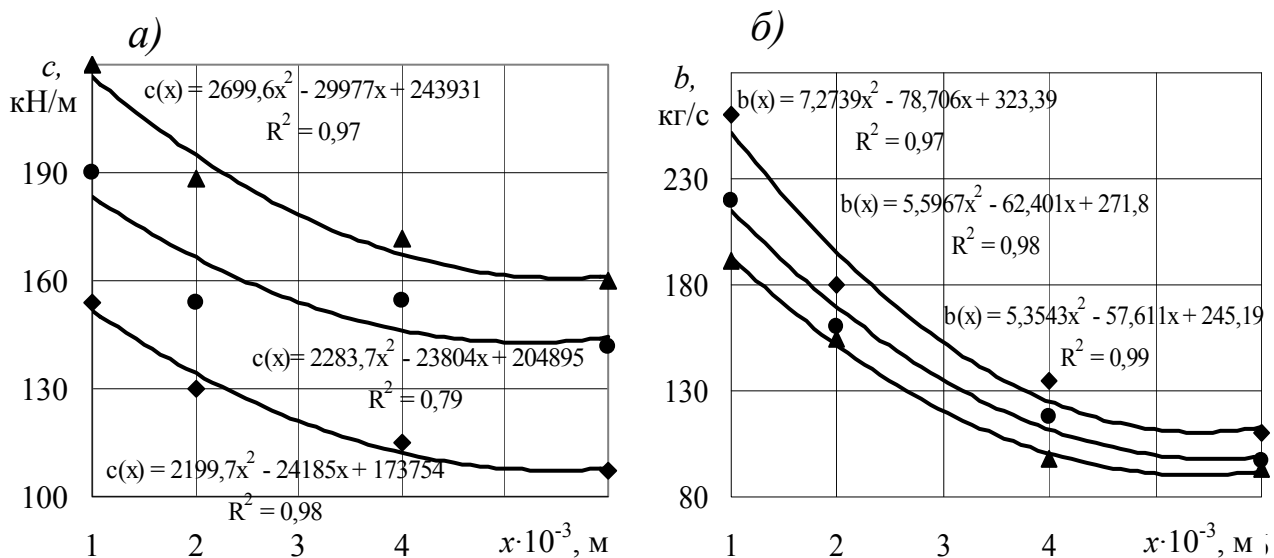


Рисунок 1. – Зависимость коэффициента жесткости от амплитуды деформации виброизолятора (а) и коэффициента демпфирования от амплитуды деформации виброизолятора (б) при изменении параметров виброизоляторов:  $\blacktriangle$  –  $D=46$  мм;  $d=8$  мм;  $\bullet$  –  $D=46$  мм;  $d=5$  мм;  $\blacklozenge$  –  $D=46$  мм;  $d=3,5$  мм

Введение полученных зависимостей в математическую модель позволит на каждом шаге интегрирования для момента времени  $t$  определять амплитуду деформации виброизолятора  $x$  и соответствующие этой деформации параметры жесткости  $c(x)$  и демпфирования  $b(x)$  ККВ используемых в конструкции виброзащитной системы.

Система дифференциальных уравнений, описывающая динамические процессы в ручной ударной машине с предлагаемой новой виброзащитной системой, полученная на основе уравнений Лагранжа II рода и приведенная к виду более удобному для составления блок-схемы имитационного моделирования в среде Simulink пакета Matlab [5] имеет вид (1), где  $m_1, m_2, m_3, m_4$  – массы соответственно рукоятки управления ударной машиной, корпуса, ударника и рабочего инструмента;

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x}_p = 1/m_p((-c'_p \cdot x_p - b'_p \dot{x}_p - c_p(x_p - x_1) - b_p(\dot{x}_p - \dot{x}_1)); \\ \ddot{x}_1 = 1/m_1(c_p(x_p - x_1) + b_p(\dot{x}_p - \dot{x}_1) - c_1(x_1 - x_2) - c_2(x_1 - x_2) - \\ - b_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - c_3 x_1 - b_3 \dot{x}_1 + Q); \\ \ddot{x}_2 = 1/m_2(c_1(x_1 - x_2) + c_2(x_1 - x_2) + b_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + F \sin(\omega t)); \quad (1) \\ \ddot{x}_3 = 1/m_3(F \sin(\omega t) + \xi_{y\partial} F_{y\partial}); \\ \ddot{x}_4 = 1/m_4(-c_3(x_4 - x_1) - b_3(\dot{x}_4 - \dot{x}_1) + \xi_{y\partial} F_{y\partial} - \xi_{cp} c_{cp} x_4); \end{array} \right.$$

$m_p, c'_p, b'_p, c_p, b_p$  – средние значения составляющих входного импеданса руки оператора;  $c_1$  – коэффициент жесткости конической пружины;  $c_2, c_3$  – коэффициенты жесткости ККВ;  $b_2, b_3$  – коэффициенты демпфирования ККВ;  $F_{y\partial}$  – сила ударного взаимодействия ударника с торцом рабочего инструмента;  $\xi_{cp}$  – коэффициент, учитывающий возникновение реакции обрабатываемой среды;  $\xi_{y\partial}$  – коэффициент, учитывающий возникновение ударного взаимодействия ударника с рабочим инструментом;  $Q$  – суммарная сила, действующая на рукоятку, состоящая из веса рукоятки и силы нажатия человека-оператора;  $F \sin(\omega t)$  – сила, действующая на корпус, учитывающая вес корпуса и переменную силу давления сжатого воздуха внутри корпуса ударной машины для осуществления возвратно-поступательного движения поршня-ударника;  $\omega$  – частота колебаний корпуса машины.

На рис. 2 представлена блок-схема имитационного моделирования рабочего процесса ручной ударной машины с предлагаемой новой виброзащитной системой разработанная в Simulink/Matlab. На основе блок-схемы был проведен анализ использования предлагаемой конструкции в диапазоне значений среднегеометрических частот в восьми октавных полосах согласно санитарным нормам при действии локальной вибрации.

Эффективность виброзащиты определяется сравнением результатов параметров вибрации с теми уровнями, которые имели место до введения в систему «человек-машина» средств виброзащиты. Согласно государственным санитарным нормам Украины нормируемыми параметрами при оценке действия вибрации на оператора ручной ударной машины являются средние квадратичные значения виброскорости  $V$  и виброускорения  $a$ .

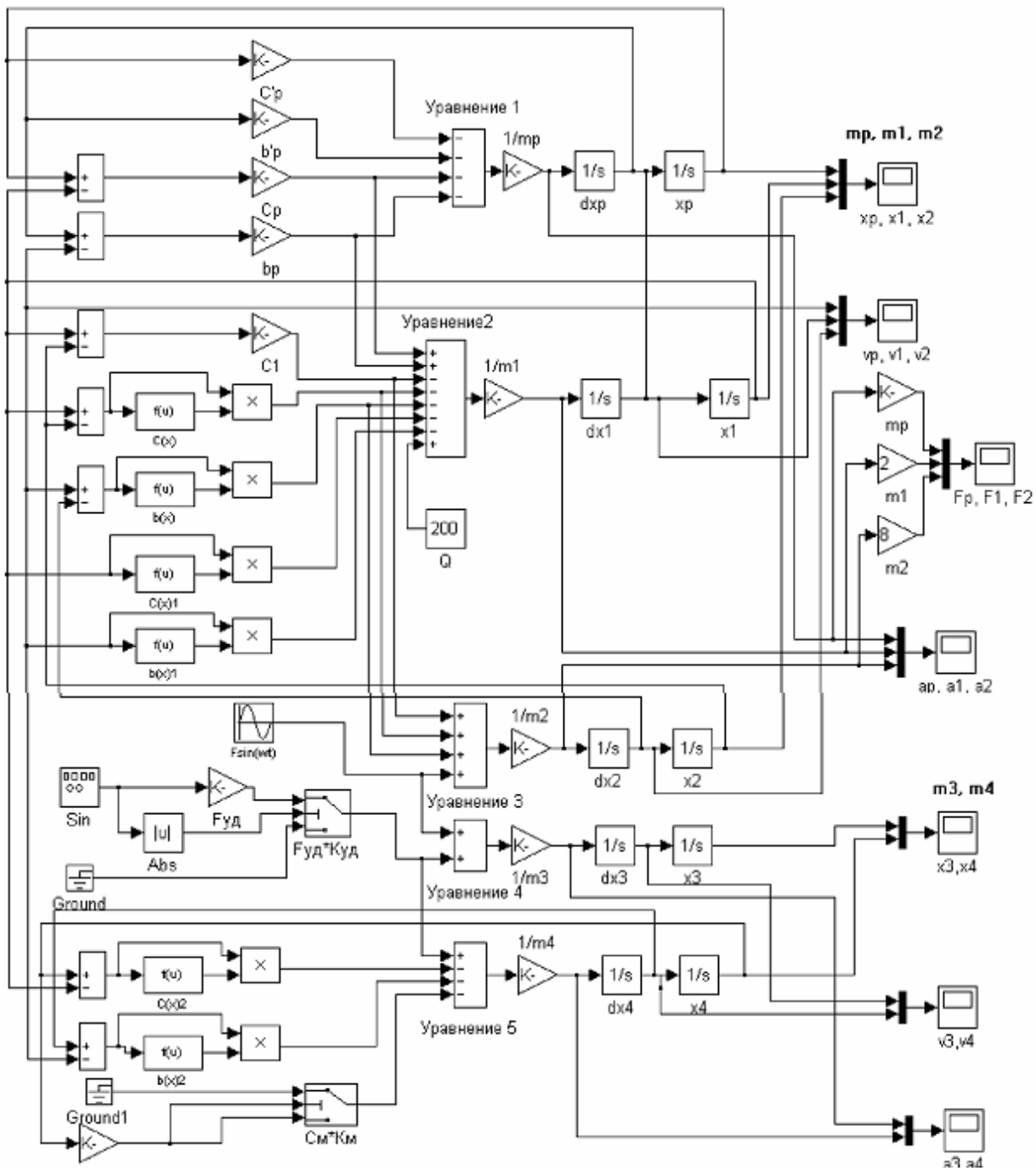


Рисунок 2. – Блок-схема имитационного моделювання робочого процесу ручної ударної машини з пропонуваною новою віброзахисною системою на основі ККВ

На рис. 3 представлені результати порівняльної оцінки рівней віброскорості ручної ударної машини серійної конструкції (крива 1) з санітарними нормами (крива 2) і значеннями, отриманими в результаті моделювання для ударної машини з пропонуваною віброзахисною системою (крива 3), а на рис. 4 – результати порівняльної оцінки рівней віброускорення.

Уровні віброскорості в різних полосах середнегеометричних частот спектра мають велику варіабельність. Розположення

пиковых значений виброскорости значительно в области низких частот (16 – 31,5 Гц), а также в области средних и высоких частот (кроме частоты 1000 Гц). Уровни колебательной скорости на 3 – 11 дБ превышают допустимые нормами величины.

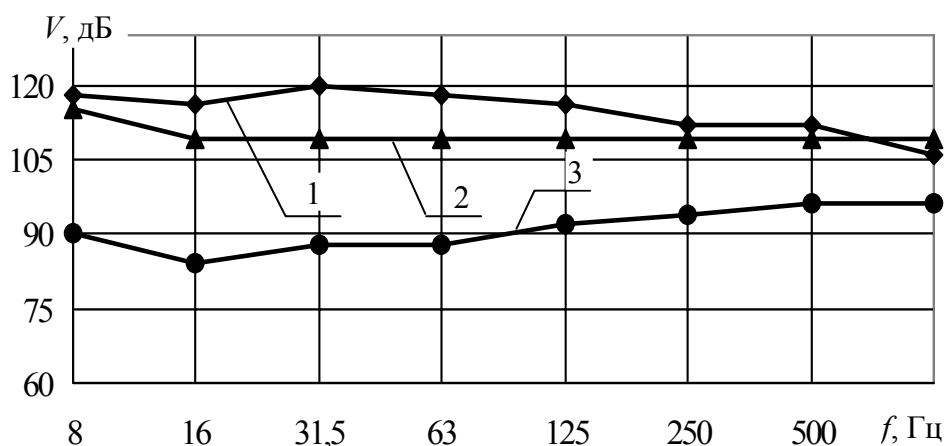


Рисунок 3. – Сравнительная оценка уровней виброскорости исследуемых образцов ручных ударных машин

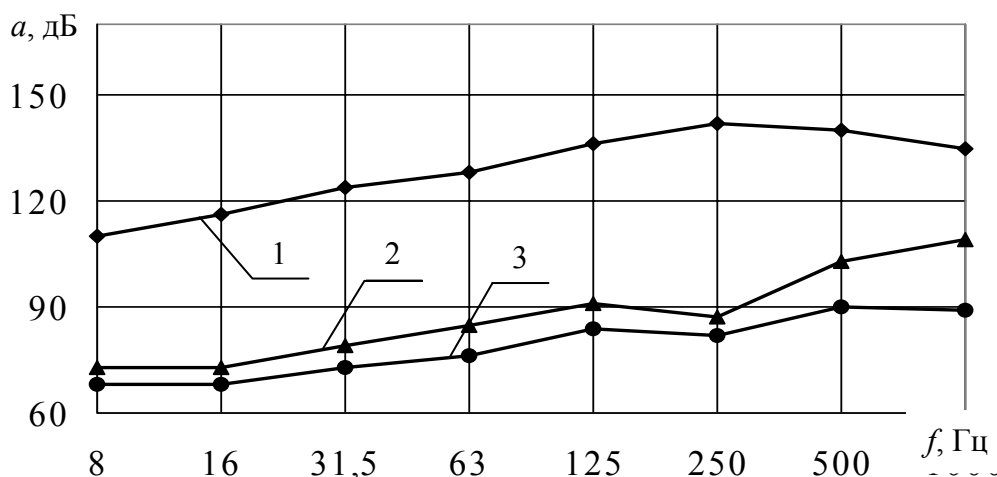


Рисунок 4. – Сравнительная оценка уровней виброускорения исследуемых образцов ручных ударных машин

Анализ полученных зависимостей показывает, что после внедрения предлагаемой новой системы виброзащиты параметры виброскорости и виброускорения ниже санитарных норм. Уровень виброскорости ударной машины с виброзащитной системой на 13 – 34 дБ ниже предельно допустимого значения, а уровень виброускорения на 3-36 дБ также меньше допустимых значений, что говорит о значительном уменьшении параметров вибрации.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, в разработанной имитационной модели рабочего процесса ручной ударной машины с предлагаемой новой конструкцией виброзащитной системы на основе ККВ учтены реальные упруго-демпфирующие характеристики виброизоляторов.

В результате проведенного исследования было установлено, что применение предлагаемой системы виброзащиты позволяет снизить параметры вибрации во всем диапазоне значений среднегеометрических частот октавных полос согласно санитарным нормам при действии локальной вибрации.

В дальнейшем имитационная модель будет использоваться для теоретического исследования влияния параметров упруго - демпфирующих элементов конструкции виброзащитной системы на эффективность снижения вибрационных нагрузок.

Список источников:

1. Рутковский А.Ю., Мулов Д.В., Коробейников Ю.В. Новая конструкция виброзащитной системы ручной ударной машины // Сб. науч. трудов ДонГТУ, вып.22.-Алчевск: ДонГТУ. – 2006. – С. 33-38.
2. Рутковский А.Ю., Мулов Д.В. Математическая модель рабочего процесса ручной ударной машины с виброзащитной системой // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 14, серія: гірничо-електромеханічна. – Донецк: ДонНТУ. – 2007. – С. 201-206.
3. Рутковский А.Ю., Мулов Д.В. Экспериментальные исследования упруго-демпфирующий свойств кольцевых канатных виброизоляторов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 16, серія: гірничо-електромеханічна. – Донецк: ДонНТУ. – 2008. – С. 198-203.
4. Рутковский А.Ю., Мулов Д.В. Динамические испытания кольцевых канатных виброизоляторов // Сб. науч. трудов ДонГТУ, вып.30.-Алчевск: ДонГТУ. – 2010. – С. 78-86.
5. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.Е. MATLAB 7 (Самоучитель) – М:ИТ Пресс, 2006. – 464 с.

**О.Ю. Рутковський, Д.В. Мулов.** Імітаційне моделювання робочого процесу ручної ударної машини з віброзахисною системою на основі кільцевих канатних віброізоляторів. Проведено імітаційне моделювання робочого процесу ручної ударної машини з запропонованою новою конструкцією віброзахисної системи основним елементом якої є кільцевий канатний віброізолятор. У моделі враховані експериментальні дані пружно-демпфуючих властивостей віброізоляторів, які використовуються.

**віброзахисна система, жорсткість, демпфування коливань, віброізолятор, частота**

**A.Yu. Rutkovsky, D.V. Mulov.** Imitating modeling of the manual percussive machine with vibration-proof system on the basis of ring rope vibroinsulators working process. Imitating modeling of the manual percussive machine with an offered new design vibration-proof system with ring rope vibroinsulator as basic element working process is spent. The experimental data about applied vibroinsulators elastic-damping properties are considered in model.

**vibration-proof system, vibroinsulator, stiffness, vibration damping, frequency**

Стаття надійшла до редколегії 09.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В.Корнеев

© А.Ю.Рутковский, Д.В.Мулов, 2010