

Научная статья

УДК 621.01

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-366-375>

EDN: GPTMAY



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЗОНАНСНОГО ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В.Г. Зедгенизов ✉, С.Х. Файзов

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия✉ ответственный автор
vzedgenizov@bk.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью данной статьи является подтверждение результатов исследований резонансного вибрационного оборудования для уплотнения бетонных смесей, полученных на математической модели. Объектом исследований является колебательная система резонансного вибрационного оборудования, состоящая из двух масс, связанных между собой упругим и диссипативным элементом. Кроме того, первая масса через упругий и диссипативный элемент соединена с неподвижным основанием.

Материалы и методы. В исследованиях использованы основные положения теории подобия и статистической обработки экспериментальных данных. Необходимое количество повторных опытов устанавливалось статистическим путем, а воспроизводимость эксперимента проверялась по критерию Кохрена.

Результаты. Разработаны критерии и индикаторы подобия процессов, протекающих в системе резонансного вибрационного оборудования, предложены формулы перехода от параметров природы к параметрам физической модели. Представлена техническая характеристика физической модели.

В ходе эксперимента получены осциллограммы перемещений вибратора и рабочего органа, которые сдвинуты друг относительно друга на угол $\pi/2$. При этом амплитуда колебаний вибратора существенно превосходит амплитуду колебаний рабочего органа.

Обсуждение и заключение. Представленные зависимости амплитуд, полученных на математической и физической модели, качественно повторяют друг друга. В исследованном диапазоне изменения частоты вынуждающей силы максимальная ошибка составляет 12%. Это подтверждает результаты, полученные на математической модели резонансного вибрационного оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: физическая модель, критерии подобия, статистическая обработка экспериментальных данных

Статья поступила в редакцию 01.04.2024; одобрена после рецензирования 13.05.2024; принята к публикации 04.06.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Зедгенизов В.Г., Файзов С.Х. Результаты исследований резонансного вибрационного оборудования для уплотнения бетонных смесей на физической модели // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 3. С. 366-375. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-366-375>

© Зедгенизов В.Г., Файзов С.Х., 2024

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-366-375>

EDN: GPTMAY

RESEARCH RESULTS OF RESONANT VIBRATION EQUIPMENT FOR COMPACTION OF CONCRETE MIXTURES ON A PHYSICAL MODEL

Viktor G. Zedgenizov ✉, Sorbon H. Fayzov
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian
✉ corresponding author
vzedgenizov@bk.ru

ABSTRACT

Introduction. The purpose of this article is to confirm the results of research on resonant vibration equipment for compacting concrete mixtures obtained using a mathematical model. The object of research is an oscillatory system of resonant vibration equipment consisting of two masses interconnected by elastic and dissipative elements. In addition, the first mass is connected to a fixed base through elastic and dissipative elements.

Materials and methods. The main provisions of the theory of similarity and statistical processing of experimental data are used in the research. The required number of repeated experiments was determined statistically, and the reproducibility of the experiment was verified by the Cochran criterion. Results. The criteria and indicators of similarity of processes occurring in the system of resonant vibration equipment have been developed, formulas for the transition from the parameters of nature to the parameters of the physical model have been proposed. The technical characteristics of the physical model are presented.

During the experiment, oscillograms of the movements of the vibrator and the working body which are shifted relative to each other by an angle of $\pi/2$ were obtained. At the same time, the amplitude of vibrations of the vibrator significantly exceeds the amplitude of vibrations of the working body.

Discussions and conclusions. The presented dependences of the amplitudes obtained on mathematical and physical models qualitatively repeat each other. In the studied frequency range of the driving force, the maximum error is 12%. This confirms the results obtained on the mathematical model of resonant vibration equipment.

KEYWORDS: physical model, similarity criteria, statistical processing of experimental data

The article was submitted 01.04.2024; approved after reviewing 13.05.2024; accepted for publication 04.06.2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Zedgenizov V.G., Fayzov S.H. Research results of resonant vibration equipment for compaction of concrete mixtures on a physical model. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (3): 366-375. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-366-375>

© Zedgenizov V.G., Fayzov S.H., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы научных исследований включают в себя системный анализ, математическое моделирование, проведение экспериментальных исследований. Широкое распространение получило математическое моделирование как наиболее удобное средство изучения самых разнообразных объектов и процессов. Его преимущества неоспоримы: экономичность (в части сбережения ресурсов реальной системы), возможность моделирования гипотетических, то есть не реализованных в природе объектов, изучение режимов опасных или трудновоспроизводимых процессов и др. [1].

Однако надежность результатов моделирования во многом зависит от принятых допущений, используемых методов расчета и других факторов. Поэтому для проверки адекватности результатов математического моделирования необходимо их экспериментальное подтверждение.

Цель исследований – подтверждение результатов, полученных на математической модели резонансного вибрационного оборудования [2, 3, 4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения экспериментальных исследований разработана физическая модель резонансного вибрационного оборудования.

Научно-методической основой разработки физических моделей является теория подобия, которая дает возможность установить подобие или разработать способы его достижения^{1,2,3}. Подобными являются такие физические системы, у которых подобны все характеризующие их параметры: векторные величины геометрически подобны, а скалярные – пропорциональны в соответствующих точках пространства и в соответствующие моменты времени^{4,5,6}. Подобие характеризуется пропорциональностью всех величин, определяющих их качественную и количественную сторону [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Для установления подобия разработаны критерии подобия процессов, протекающих в подсистеме «резонансное вибрационное оборудование»:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{L_i}{l_i}; \Pi_2 = \alpha_i; \Pi_3 = wt; \Pi_4 = Aw; \Pi_5 = \frac{\rho l^3}{m}, \\ \Pi_6 &= \frac{Aw^2 m}{P}; \Pi_7 = \frac{Awk}{P}; \Pi_8 = \frac{Ac}{P}; \Pi_9 = \frac{mr^2 w^3}{N}, \end{aligned}$$

где L_i и l_i – определяющий линейный размер натурального образца и модели, м; α_i – угловой размер, рад; w – угловая скорость, рад/с; t – время, с; A – амплитуда колебаний, м; ρ – плотность материала изделия, кг/м³; m – масса, кг; P – усилие, Н; k – коэффициент демпфирования, Нс/м; c – жесткость упругого элемента, Н/м; N – мощность, Вт; r – эксцентриситет, м.

Под индикаторами подобия понимаются отношения масштабов сходственных величин (сил, масс и т.п.). Равенство индикаторов подобия означает моделирование сходственных параметров процесса в одном масштабе.

Независимые индикаторы подобия выбираются произвольным образом:

$$k_l = 2; k_\alpha = 1; k_t = 1; k_\rho = 1; k_g = 1.$$

Это означает, что линейные размеры физической модели уменьшены в два раза, а угловые остаются без изменения; моделирование предполагается проводить в реальном времени и в условиях земного тяготения, материал модели остается тот же, что и у оригинала.

Тогда зависимые индикаторы подобия определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} k_w &= \frac{1}{k_t}; k_A = \frac{1}{k_w}; k_m = k_\rho k_l^3; \\ k_P &= k_A k_w^2 k_m; k_k = \frac{k_P}{k_A k_w}; k_c = \frac{k_P}{k_A}; \\ k_N &= k_m k_l^2 k_w^3. \end{aligned} \quad (13)$$

¹ Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. М.: Высш. школа, 1981. 335 с.

² Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. 423 с.

³ Вишневский А.С., Балаганский И.А. Критерии подобия для ударных процессов // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 1998. № 1. С. 151–153.

⁴ Гухман А.А. Введение в теорию подобия. М.: Высш. шк., 1973. 296 с.

⁵ Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. 423 с.

⁶ Хазанович Г.Ш., Ляшенко Ю.М. Критерии подобия при физическом моделировании рабочих процессов погрузочно-транспортных модулей // Моделирование. Теория, методы и средства. Материалы международной научно-практической конференции. 2001. С. 29–33.

Формулы перехода от параметров натуры к параметрам модели представлены в таблице 1.

Таблица 1
Формулы перехода от параметров натуры к параметрам модели
Источник: составлено авторами.

Table 1
Formulas for the transition from nature parameters to model parameters
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Наименование параметра	Формула перехода
1	Линейный размер	$l_m = l_n / k_l$
2	Угловой размер	$\alpha_m = \alpha_n$
3	Угловая скорость	$w_m = w_n$
4	Амплитуда	$A_m = A_n$
5	Масса	$m_m = m_n / k_l^3$
6	Усилие	$P_m = P_n / k_l^3$
7	Демпфирование	$k_m = k_n / k_l^3$
8	Жесткость	$c_m = c_n / k_l^3$
9	Мощность	$N_m = N_n / k_l^5$

По формулам перехода разработана и изготовлена лабораторная установка (рисунок 1), технические характеристики которой представлены в таблице 2.

Таблица 2
Технические характеристики лабораторной установки
Источник: составлено авторами.

Table 2
Technical characteristics of the laboratory installation
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Наименование параметра	Модель	Натурный образец
1	Масса рабочего органа, кг	50	400
2	Масса вибратора, кг	12,5	100
3	Коэффициент жесткости рабочего органа, кН\м	165 000	1 320 000
4	Коэффициент жесткости вибратора, кН\м	21 250	170 000
5	Коэффициент демпфирования вибратора, Нс\м	380	3040
6	Статический момент дебалансов, кгм	0,05	0,8
7	Амплитуда колебаний рабочего органа, мм	1,0	1,0
8	Частота колебаний, рад\с	130	130
9	Мощность, кВт	0,375	12

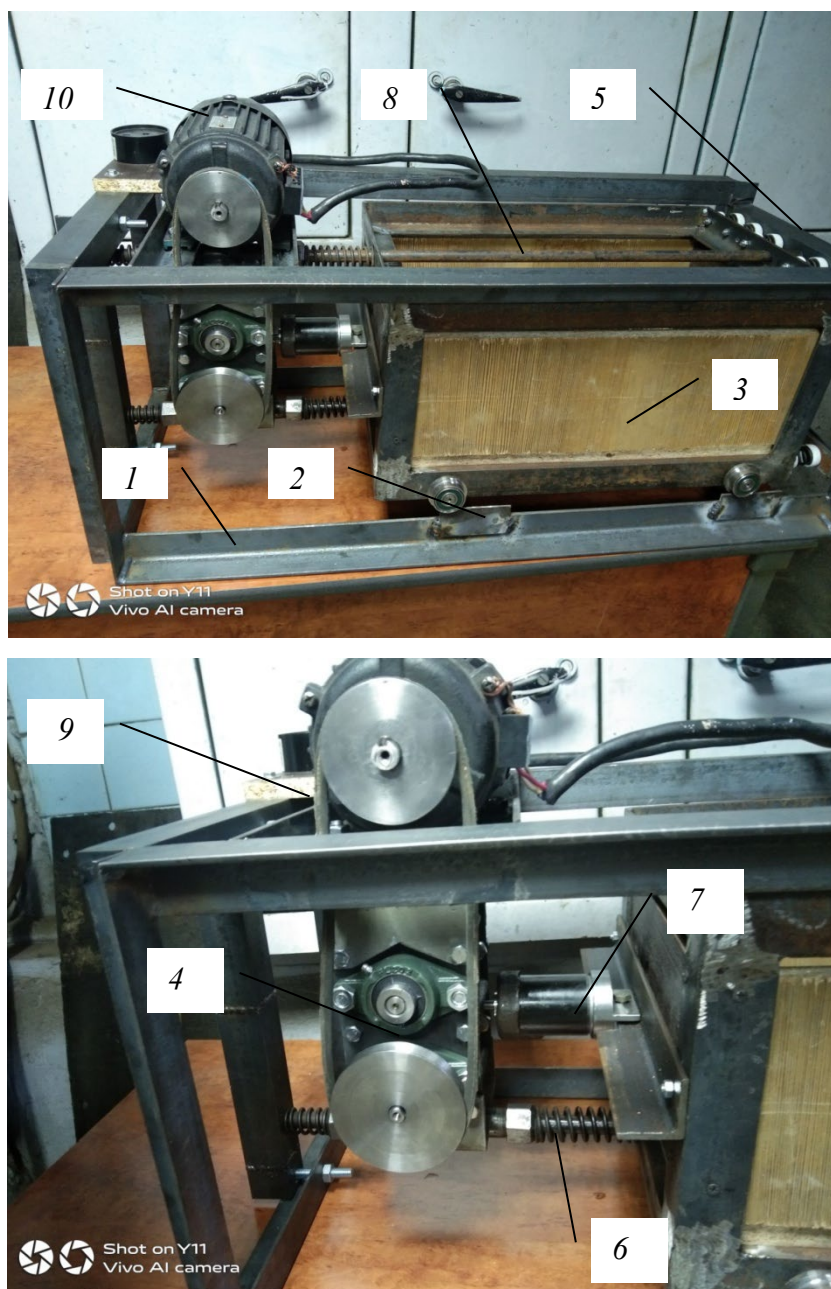


Рисунок 1 – Лабораторная установка:
 1 – рама; 2, 8 – направляющие; 3 – тележка; 4 – вибратор;
 5, 6 – упругие элементы; 7 – демпфер; 9 – клиноременная передача;
 10 – электродвигатель
 Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Laboratory installation:
 1 – frame; 2, 8 – guides; 3 – trolley; 4 – vibrator;
 5, 6 – elastic elements; 7 – damper; 9 – V-belt transmission;
 10 – electric motor
 Source: compiled by the authors.

Установка состоит из рамы 1, внутри которой на направляющих 2 установлена тележка 3 и дебалансный вибратор направленного действия 4. Тележка 3, с одной стороны, через упругие элементы 5 связана с рамой 1, с другой – через упругие элементы 6 и демпфер 7 соединяется с дебалансным вибратором 4, который перемещается по направляющим 8. Направляющие 8 жестко связаны с рамой 1. Дебалансный вибратор 4 приводится в действие клиноременной передачей 9 от электродвигателя 10, который управляется частотным регулятором.

Установка позволяет изменять угловую скорость дебалансного вибратора за счет скорости вращения электродвигателя, вынуждающую силу вибратора, – путем набора сменных дебалансов, жесткость упругих элементов 5 – одновременно установленным их количеством, массу тележки 3 – количеством засыпаемого в тележку песка.

Результаты экспериментов должны обладать достаточной надежностью, которая при

моделировании зависит не только от степени соответствия модели натурному образцу, но и метода измерений, измерительной аппаратуры, квалификации экспериментатора^{7, 8}.

Методика проведения эксперимента предполагает установление зависимости амплитуд колебаний рабочего органа и вибратора от частоты вынуждающей силы. Для этого при помощи частотного преобразователя изменялось число оборотов приводного электродвигателя в диапазоне от 500 об/мин до 1100 об/мин с интервалом в 100 об/мин. Остальные параметры оставались неизменными.

Необходимое количество повторных опытов устанавливалось статистическим путем, а воспроизводимость эксперимента проверялась по критерию Кохрена [16].

Эксперименты проводились с использованием современной регистрирующей аппаратуры: шасси National instruments Hispeed USB Carrier NI USB-9162 для модулей С-серии; модуль (регистратор) ввода С-серии NI 9234; вибропреобразователь AP85-100 (рисунок 2).

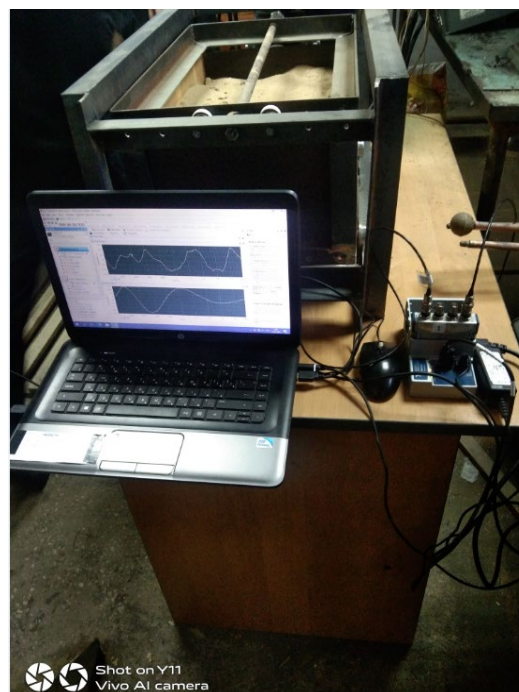


Рисунок 2 – Регистрирующая аппаратура
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Recording equipment
Source: compiled by the authors.

⁷ Кравченко Н.С., Ревинская О.Г. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме: учебное пособие. Изд. 2-е; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. 121 с.

⁸ Завадский Ю. В. Методика статистической обработки экспериментальных данных. М.: МАДИ, 1973. 97 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунке 3 показан пример осциллограммы колебаний рабочего органа и дебалансно-го вибратора.

Из примера видно, что перемещения масс сдвинуты относительно друг друга на угол $\pi/2$, а амплитуда колебаний вибратора существен-

но превосходит амплитуду колебаний рабоче-го органа.

Результаты экспериментов по определе-нию амплитуды колебаний рабочего органа от угловой скорости вибратора представлены в таблице 3.

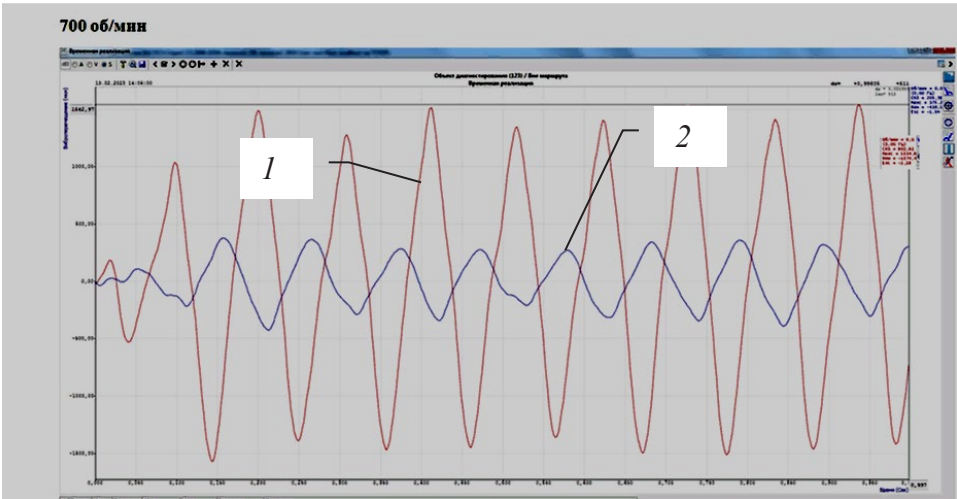


Рисунок 3 – Пример осциллограммы колебаний рабочего органа и дебалансного вибратора:
1 – амплитуда колебаний вибратора; 2 – амплитуда колебаний рабочего органа
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – An example of an oscillogram of vibrations of a working body and a non-balanced vibrator:
1 – The amplitude of vibrations of the vibrator; 2 – the amplitude of vibrations of the working body
Source: compiled by the authors.

Таблица 3
Результаты экспериментов
Источник: составлено авторами.

Table 3
Experimental results
Source: compiled by the authors.

№	Угловая скорость вибратора, рад/с	Амплитуда колебаний рабочего органа, мм			Математическое ожидание, мм	Дисперсия
	X_k	y_1	y_2	y_3		
1	52	0,13	0,07	0,22	0,14	0,0057
2	61	0,37	0,43	0,3	0,37	0,0085
3	70	0,64	0,6	0,7	0,65	0,0026
4	78	0,8	0,8	0,89	0,83	0,0027
5	87	0,9	0,82	0,97	0,9	0,0057
6	96	1	0,9	1,05	0,98	0,0059
7	104	1	1,1	1	1,03	0,0034
8	113	1	1,06	0,95	1	0,003
Итого:					0,74	0,038

Здесь X_k – угловая скорость вибратора, рад/с;
 y_i – амплитуда колебаний рабочего органа, мм.

Критерий Кохрена:

$$G = \frac{S_{k\max}^2}{S_{\Sigma}^2} = \frac{0,0085}{0,038} = 0,22.$$

Табличное значение критерия Кохрена при уровне значимости $\alpha=0,05$ и степени свободы $f=2$ составляет $G_{\text{табл}}=0,87$. Условие $G < G_{\text{табл}}$ выполняется – эксперимент воспроизводим.

Аналогичные результаты получены при статистической обработке амплитуды колебаний вибратора.

По результатам экспериментов на физической модели получены зависимости амплитуды колебаний рабочего органа и дебалансного вибратора от угловой скорости вибратора (рисунк 4).

Из графика следует, что представленные зависимости амплитуд, полученных на математической и физической модели, качествен-

но повторяют друг друга. В исследованном диапазоне изменения частоты вынуждающей силы максимальная ошибка составляет 12%. Это подтверждает результаты, полученные на математической модели резонансного вибрационного оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе теории подобия процессов, протекающих в системе резонансного вибрационного оборудования, разработанных критериев предложены формулы перехода от параметров натуры к параметрам физической модели.

Исследования, выполненные на физической модели резонансного вибрационного оборудования, подтверждают результаты математического моделирования. Максимальная ошибка составляет 12%.

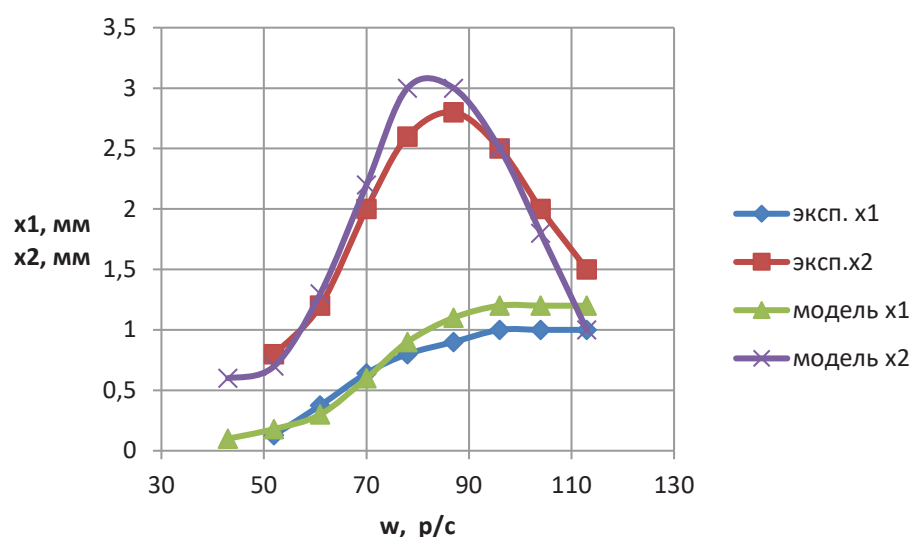


Рисунок 4 – Сравнение результатов экспериментальных и имитационных исследований
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Comparison of the results of experimental and simulation studies
Source: compiled by the authors.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новосельцев В.Н. Достоинства и недостатки математического моделирования // Фундаментальные исследования. 2004. № 6. С. 121–122.
2. Зедгенизов В.Г., Файзов С.Х. Исследование влияния основных параметров двухмассовой колебательной системы на ее динамические характеристики // iPolytech Journal. 2022. Т. 26, № 2. С. 164–172.
3. Зедгенизов В.Г., Файзов С.Х. Типоразмерный ряд резонансного вибрационного оборудования для уплотнения бетонных смесей и методика расчета его основных параметров // Вестник СибАДИ. 2023; 20(5): 540–547. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-540-547>. EDN: CHGYRA
4. Зедгенизов В.Г., Файзов С.Х. Влияние точки приложения вынуждающей силы в двухмассовой колебательной системе на ее энергоэффективность // Вестник СибАДИ. 2023; 20(1): 12–23. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-1-12-23>
5. Сайтов В.И., Чупров В.В. Критерии подобия процесса дробления горных пород несвободным ударом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 3. С. 351–353.
6. Тургунбаев М.С. Критерии подобия процесса разрушения грунта, содержащего обломочно-каменное включение // Известия вузов Кыргызстана. 2016. № 11–1. С. 47–51.
7. Сайтов В.И. Условия подобия процессов разрушения горных пород при дроблении // Известия вузов. 1986. № 10. С. 59–63.
8. Соболева Н.С., Ефремов А.К. О подобии процессов при упругопластическом ударе // Машиностроение и компьютерные технологии. 2019. № 2. С. 1–12.
9. Федоренко И.Я., Пирожков Д.Н. Критерии подобия гидродинамических моделей вибрирующего слоя сыпучего материала // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2005. № 1(17). С. 105–108.
10. Пирожков Д.Н. Критерии подобия в динамике вибрирующего слоя // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 4(12). С. 100–103.
11. Недоступ А.А. Критерии и масштабы динамического подобия физических процессов рыболовства // Известия КГТУ. 2013. № 28. С. 227–235.
12. Козлов И.В., Пещеренко С.Н. Критерии подобия лопастных насосов // Вестник Пермского университета. Физика. 2019. № 3. С. 5–11.
13. Сайтов В.И. Условия подобия процессов разрушения горных пород при дроблении и измельчении // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 1(110). С. 25–28.
14. Тюкалов Д.Е., Данилов А.М. Формирование критериев динамического подобия модели реальному объекту // Молодой ученый. 2015. № 4(84). С. 278–280.
15. Нешев С.С., Молчанов В.Ф., Сальников А.Ф. Применение теории подобия при проектировании РДТТ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2012. № 33. С. 66–76.

16. Кошкин С.В., Соколов А.Л. Обработка и анализ результатов эксперимента и проверка гипотез // Специальная техника и технологии транспорта. 2020. № 5. С. 280–285.

REFERENCES

1. Novoseltsev V.N. Advantages and disadvantages of mathematical modeling. *Fundamental Research*. 2004; 6: 121–122. (in Russ.)
2. Zedgenizov V.G., Fayzov S.H. Influence of the main parameters of a dual-mass oscillation system on its dynamic characteristics. *iPolytech Journal*. 2022; 26(2): 164–172. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-2-164-172>
3. Zedgenizov V.G., Faizov S.Kh. Type series of resonant vibration equipment for concrete mixtures compaction and its main parameters calculation method. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20(5): 540–547. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-540-547>. EDN: CHGYRA
4. Zedgenizov V.G., Faizov S.Kh. Impact of force application point in two-mass oscillation system on its energy efficiency. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20(1): 12–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-1-12-23>
5. Saitov V.I., Chuprov V.V. Criteria for the similarity of the process of crushing rocks by a non-free blow. *Mining informational and analytical bulletin*. 2006; 3: 351–353. (in Russ.)
6. Turgunbaev M.S. Criteria for the similarity of the process of destruction of soil containing clastic-stone inclusions. *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana*. 2016; 11-1: 47–51. (in Russ.)
7. Saitov, V. I. Conditions for the similarity of rock destruction processes during crushing. *Izv. University*. 1986; 10: 59–63. (in Russ.)
8. Soboleva N.S., Efremov A.K. On the similarity of processes during elastoplastic impact. *Masinstroenie i komp'uternye tehnologii*. 2019; 2: 1–12. (in Russ.)
9. Fedorenko I.Ya., Pirozhkov D.N. Similarity criteria of hydrodynamic models of a vibrating boiling layer of bulk material. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2005; 1(17): 105–108. (in Russ.)
10. Pirozhkov D.N. Similarity criteria in the dynamics of the vibrating boiling layer. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2003; 4(12): 100–103. (in Russ.)
11. Nedostup A.A. Criteria and scales of dynamic similarity of physical processes of fishing. *Izvestija KGTU*. 2013; 28: 227–235.
12. Kozlov I.V., Peverenko S.N. Criteria of similarity of vane pumps. *Vestnik Permskogo universiteta. Fizika*. 2019; 3: 5–11. (in Russ.)
13. Saitov V.I. Conditions of similarity of processes of rock destruction during crushing and grinding. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2015; 1(110): 25–28. (in Russ.)

14. Tyukalov D.E., Danilov A.M. Formation of criteria for dynamic similarity of a model to a real object. *Molodoj uchenyj*. 2015; 4(84): 278–280. (in Russ.)

15. Neshev S.S., Molchanov V.F., Salnikov A.F. Application of the theory of similarity in the design of RDTT. *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*. 2012; 33: 66–76. (in Russ.)

16. Koshkin S.V., Sokolov A.L. Processing and analysis of experimental results and hypothesis testing. *Special'naja tehnika i tehnologii transporta*. 2020; 5: 280–285. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Зедгенизов В.Г. Разработаны критерии и индикаторы подобия процессов, протекающих в системе резонансного вибрационного оборудования, предложены формулы перехода от параметров натуры к параметрам физической модели, общие выводы по работе.

Файзов С.Х. Проведение экспериментальных исследований, статистическая обработка данных, общие выводы по работе.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Zedgenizov V.G. Criteria and indicators of similarity of processes occurring in the system of resonant vibration equipment development, formulas for the transition from the parameters of nature to the parameters of the physical model statement, general conclusions of the work.

Faizov S.K. Experimental research, statistical data processing, general conclusions of the work.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зедгенизов Виктор Георгиевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5141-0876>, **SPIN-код:** 9565-419, e-mail: vzedgenizov@bk.ru

Файзов Сорбон Хатамович – аспирант кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4428-9999>, e-mail: sorbon2018@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor G. Zedgenizov – Dr. of Sci., Professor, Professor of the Construction, Road Machines and Hydraulic Systems Department, Irkutsk National Research Technical University (664074, Irkutsk, 83 Lermontova str.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5141-0876>, **SPIN-cod:** 9565-419, e-mail: vzedgenizov@bk.ru

Sorbon Kh. Faizov – Postgraduate student of the of Construction, Road Machines and Hydraulic Systems Department Irkutsk National Research Technical University (664074, Irkutsk, 83 Lermontova str.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4428-9999>, e-mail: sorbon2018@mail.ru