



Научная статья
УДК 621.879.31
EDN: GARLWJ
DOI: 10.21285/1814-3520-2023-3-482-489

Результаты исследований ударного механизма с повышенной энергией единичного удара на физической модели

В.Г. Зедгенизов^{1✉}, Т.А. Сенотрусова²

^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме. Цель экспериментальных исследований – подтверждение теоретических результатов, полученных на математической модели двухмассной ударной системы. Объектом исследования является физическая модель двухмассной ударной системы, которая исключает передачу реактивной составляющей на базовую машину. Модель состоит из корпуса, инерционной массы, упругого элемента, ударной части. В рабочем положении сжатый упругий элемент располагается между инерционной массой и ударной частью и удерживается от разъединения собачками. Высоту разъединения ударной массы определяет положение хомута, который разъединяет в свободном падении движущиеся ударную часть и инерционную массу. В исследованиях использованы основные положения теории подобия, теории планирования и обработки результатов эксперимента. В качестве независимого фактора принята высота разъединения инерционной массы и ударной части; функцией отклика служит энергия единичного удара, которая определяется по диаметру отпечатка конуса ударной части на деревянной основе. На основании метода анализа физических законов составлены критерии подобия ударного механизма, предложены зависимые и независимые индикаторы, а также формулы перехода от параметров натурности к параметрам модели. По результатам исследований установлено, что суммарная площадь продувочных отверстий должна быть не менее половины поперечного сечения корпуса физической модели. Получена зависимость диаметра отпечатка конуса ударной части на деревянной основе от энергии удара. Подтверждена адекватность математической модели, описывающей процессы, происходящие в ударном устройстве. Показано, что максимальное расхождение результатов математического и физического моделирования рабочего процесса ударного механизма с повышенной энергией единичного удара составило 18%. Таким образом, проведенные исследования подтвердили результаты, полученные на математической модели ударного механизма. Дальнейшие исследования следует направить на доработку физической модели, позволяющей регистрировать зависимость высоты отскока инерционной массы от параметров ударного механизма.

Ключевые слова: ударный механизм, критерии подобия, энергия единичного удара, адекватность

Для цитирования: Зедгенизов В.Г., Сенотрусова Т.А. Результаты исследований ударного механизма с повышенной энергией единичного удара на физической модели // iPolytech Journal. 2023. Т. 27. № 3. С. 482–489. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-3-482-489>. EDN: GARLWJ.

MECHANICAL ENGINEERING

Original article

Investigation of high-energy impact system using a physical model

Viktor G. Zedgenizov^{1✉}, Tatiana A. Senotrusova²

^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The aim of the experimental research is to validate the theoretical findings obtained from a mathematical model of a two-mass impact system. The research object is a physical model of a two-mass impact system, designed to prevent the transfer of the reactive component to the tool carrier. The model includes a housing, inertial mass, elastic member and impact part. In the operating position, a compressed elastic member is placed between the inertial mass and the impact part, held together by dogs. The height at which the impact part detaches from the inertial mass is determined by the position of the clamp, which separates the moving impact part and inertial mass during free fall. The study involved the fundamental principles of similarity theory, planning theory and data processing. The height at which the impact part detaches

from the inertial mass and the impact part is taken as an independent factor, while the energy of a single impact serves as the response function, determined by the diameter of the cone impression delivered by the impact part onto a wooden base. Based on the analysis of physical laws, similarity criteria for the impact mechanism were established, along with dependent and independent indicators, and transfer equations from real parameters to model parameters were derived. The research findings indicate that the total area of air holes should be at least half of the cross-sectional area of the housing for a physical model. The relationship between the diameter of the cone impression on the wooden base and the impact energy was determined. The adequacy of the mathematical model describing the processes in the impact device was confirmed, with a maximum discrepancy of 18% between the results of mathematical and physical modelling of the operating process for the impact mechanism characterised by an increased energy of a single impact. Therefore, the research results validate the results obtained from the mathematical model of the impact mechanism. Further studies should focus on refining the physical model to record the rebound height of the inertial mass as a function of the parameters of the impact mechanism.

Keywords: percussion mechanism, similarity criteria, single impact energy, adequacy

For citation: Zedgenizov V.G., Senotrusova T.A. Investigation of high-energy impact system using a physical model. *iPolytech Journal*. 2023;27(3):482-489. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-3-482-489>. EDN: GARLWJ.

ВВЕДЕНИЕ

Энергия единичного удара оказывает решающее влияние на эффективность процесса разрушения прочных материалов [1–6]. Нарастание энергии традиционным способом приводит к существенному увеличению массово-габаритных характеристик машин. В случае применения аккумуляторов энергии фактором, ограничивающим дальнейшее повышение энергии единичного удара, выступает реактивная составляющая, которая в момент удара передается на базовую машину [7, 8].

В [9–11] предложена оригинальная схема двухмассной ударной системы, которая исключает передачу реактивной составляющей на базовую машину. Разработана и реализована в среде Matlab-Simulink математическая модель системы, получены зависимости скорости снаряда, энергии единичного удара, высоты отскока инерционной массы от основных параметров ударной системы.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подтверждение теоретических результа-

тов, полученных на математической модели двухмассной ударной системы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях использованы основные положения теории подобия, теории планирования и обработки результатов эксперимента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Научно-методической основой разработки физических моделей является теория подобия, которая дает возможность установить подобие или разработать способы его достижения. 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. Подобие характеризуется пропорциональностью всех величин, определяющих их качественную и количественную стороны^{2,3} [12, 13].

$$\Pi_1 = \frac{L_i}{l_i}; \Pi_2 = \alpha_i; \Pi_3 = \frac{\rho l^3}{m}; \Pi_4 = \frac{mg}{cl}; \Pi_5 = \frac{cl}{P}; \Pi_6 = \sqrt{2gH}; \Pi_7 = \frac{mV^2}{2},$$

где L_i и l_i – определяющий линейный размер натурального образца и модели, м; α_i – угловой размер, рад; ρ – плотность материала инструмента, кг/м³; m – величина инерционной массы, кг; g – ускорение свободного падения,

м/с²; c – жесткость упругого элемента, Н/м; P – усилие, Н; H – высота подъема ударной части, м; V – скорость удара, м/с. Независимые индикаторы подобия:

$$k_l = 5; k_\alpha = 1; k_\rho = 1; k_g = 1.$$

$$\text{Тогда: } k_m = k_\rho k_l^3; k_c = \frac{k_m k_g}{k_l}; k_P = k_c k_l; k_V = k_g k_l^{0.5}; k_E = k_m k_V^2.$$

В зависимости от характера исходной информации используются различные методы получения критериев подобия. Широкое применение получил метод анализа физических законов, на основе которого составлены критерии подобия ударного механизма [10–12]:

Формулы перехода от параметров натурности к параметрам модели представлены в табл. 1.

Таблица 1. Формулы перехода от параметров натурности к параметрам модели

Table 1. Formulas of nature parameters transition to model parameters

№	Наименование параметра	Формула перехода
1	Линейный размер	$l_m = l_n/k_l$
2	Угловой размер	$\alpha_m = \alpha_n$
3	Масса	$m_m = m_n/k_l^3$
4	Жесткость	$c_m = c_n/k_l^2$
5	Сила	$P_m = P_n/k_l^3$
6	Скорость	$V_m = V_n/k_l^{0.5}$
7	Энергия единичного удара	$E_m = E_n/k_l^4$

При помощи теории подобия формируются системы безразмерных соотношений – критерии подобия [14–18]. Полученные результаты использованы при изготовлении физической модели ударного устройства (рис. 1), которая состоит из корпуса 1, инерционной массы 2, упругого элемента 3, ударной части 4.

В рабочем положении сжатый упругий элемент 3 располагается между инерционной массой 2 и ударной частью 4 и удерживается от разъединения собачками 5. Высоту разъединения ударной массы определяет положение хомута 6, который разъединяет в свободном падении движущиеся ударную часть 4 и инерционную массу 2. Основные параметры физической модели представлены в табл. 2.

Таблица 2. Основные параметры физической модели

Table 2. Basic parameters of the physical model

№	Наименование параметра	Значение
1	Величина инерционной массы, кг	7,2
2	Масса ударной части, кг	4,8
3	Жесткость упругого элемента, Н/м	7000
4	Высота подъема, м	0,36
5	Высота разъединения, м	0,06; 0,18; 0,3

Физическая модель позволяет варьировать независимым фактором – высотой разъединения инерционной массы и ударной части за счет установки хомута в соответствующее положение. Функцией отклика служит энергия единичного удара, которая определяется величиной отпечатка конуса ударной части на деревянном основании.



Рис. 1. Физическая модель ударного устройства:
1 – корпус; 2 – инерционная масса; 3 – упругий элемент;
4 – ударная часть; 5 – собачки; 6 – хомут
Fig. 1. Physical model of the percussion device: 1 – case;
2 – inertial mass; 3 – elastic element; 4 – percussion part;
5 – catches; 6 – clamp

³Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособ. М.: Высш. шк., 1981. 335 с.

⁴Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. способ. для студентов высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1994. 432 с.

Таблица 3. Результаты пробных экспериментов
Table 3. Results of trial experiments

№	хк	у1	у2	у3	$m_k = \frac{1}{n} \sum y_i$	$S^2_k = \sum \frac{(y_i - m_k)^2}{n - 1}$
1	0	34	38	35	35,7	4,34
2	4	40	38	42	40	4
3	8	39	40	42	40,3	1,74
Σ	–	–	–	–	116	10,08

Методика предполагает проведение двух серий экспериментов: пробных и основных

Целью пробных экспериментов являлось определение влияния сопротивления воздуха в закрытом корпусе на энергию единичного удара. Для этого с помощью тарировочного устройства последовательно производилось сбрасывание ударной части массой 12 кг с высоты 1,5 м без продувочных отверстий 3 в корпусе 1, затем с четырьмя и восемью отверстиями (рис. 2). Число параллельных опытов равнялось трем. Результаты пробных экспериментов представлены в табл. 2.

Величина доверительной вероятности:

$$\delta = t \sqrt{\frac{S^2_{\Sigma}}{n}},$$

где t – критерий Стьюдента; S^2_{Σ} – дисперсия эксперимента; n – число параллельных опытов.

Табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и степени свободы $f = 2$ составляет $t_{\text{табл}} = 4,3$.

$$\delta = 4,3 \sqrt{\frac{10,8}{3}} = 7,87 \text{ мм.}$$

Доверительный интервал:

$$30,83 < d < 46,57.$$

Фрагмент пробного эксперимента представлен на рис. 3.

Целью *основных* экспериментов являлось установление зависимости энергии единичного удара от высоты разъединения инерционной массы и ударной части. Высота разъедине-

ния устанавливалась на уровне 0,06 м; 0,18 м и 0,3 м. Число параллельных опытов равнялось трем. Результаты пробных экспериментов представлены в табл. 3.

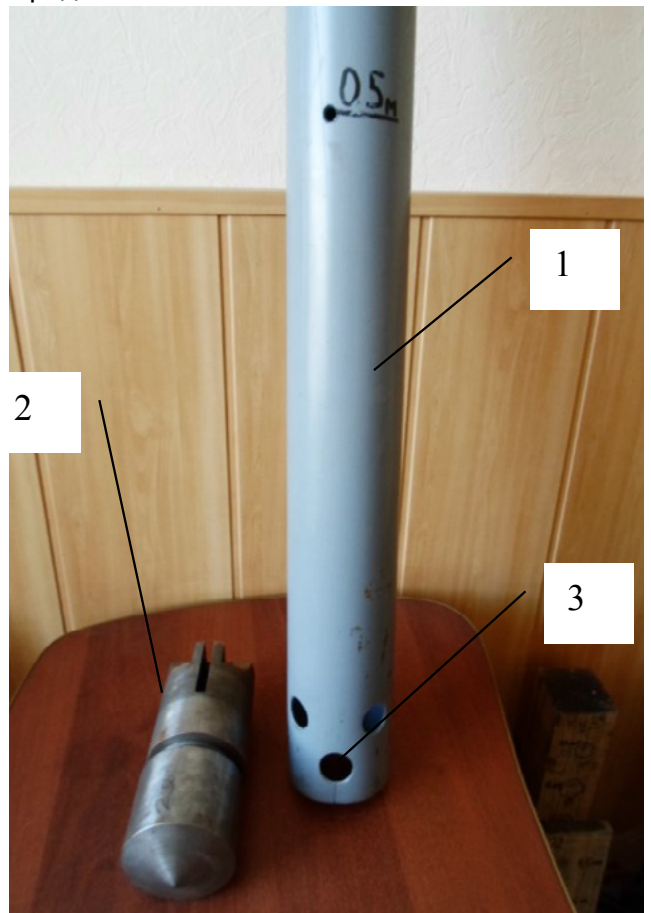


Рис. 2. Тарировочное устройство: 1 – корпус; 2 – ударная часть; 3 – продувочные отверстия
Fig. 2. Calibration device: 1 – case; 2 – percussion part; 3 – purge holes

Таблица 4. Результаты основных экспериментов
Table 4. Results of the main experiments

№	хк	у1	у2	у3	$m_k = \frac{1}{n} \sum y_i$	$S^2_k = \sum \frac{(y_i - m_k)^2}{n - 1}$
1	0,06	28	30	29	29	1
2	0,16	29	31	30	30	1
3	0,3	32	31	32	31,7	0,335
Σ	–	–	–	–	–	2,335

Критерий Кохрена: $G = \frac{S_{kmax}^2}{S_{\Sigma}^2} = \frac{1}{2,335} = 0,42$



Рис. 3. Фрагмент пробного эксперимента
Fig. 3. A fragment of a trial experiment



Рис. 4. Фрагмент основного эксперимента
Fig. 4. A fragment of the main experiment

Сравнение результатов эксперимента с результатами, полученными на математической модели, показывает их удовлетворительную сходимость (рис. 7). Максимальное расхождение составляет 18%.

Таким образом, результаты экспериментов на физической модели подтвердили теоретические выкладки, полученные на математической

модели двухмассной ударной системы.

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, поэтому эксперимент воспроизводим.

Фрагмент основного эксперимента представлен на табл. 4. Три верхних отпечатка – результаты тарировки, три нижних – результаты эксперимента.

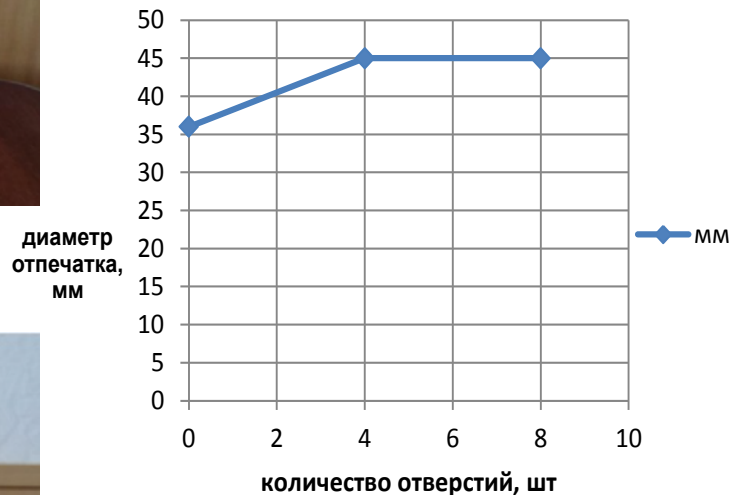


Рис. 5. Зависимость диаметра отпечатка от количества продувочных отверстий
Fig. 5. Dent diameter vs the number of purge holes

Отсюда следует заключение о том, что отношение площади поперечного сечения корпуса к суммарной площади продувочных отверстий должно быть:

$$\frac{S_{\text{кор}}}{S_{\text{отв}}} \leq 2,$$

где $S_{\text{кор}}$ – площадь поперечного сечения корпуса, м^2 ; $S_{\text{отв}}$ – суммарная площадь продувочных отверстий, м^2 .

На рис. 6 представлена зависимость диаметра отпечатка от энергии удара. Зависимость является нелинейной и наилучшим образом описывается уравнением [19, 20]:

$$d = -0,0007E^2 + 0,2917E + 15,$$

где d – диаметр отпечатка, мм; E – энергия удара, Дж.

Нелинейность объясняется тем, что с увеличением энергии удара увеличиваются глубина погружения и площадь контакта ударной части с основанием.

По результатам пробных экспериментов получена зависимость диаметра отпечатка от количества продувочных отверстий (рис. 5).

Из графика следует, что четыре продувочных отверстия суммарной площадью 38,44 см² существенно снижают сопротивление воздуха и увеличивают энергию удара на 20%. Дальнейшее увеличение количества продувочных отверстий не дает положительного результата.

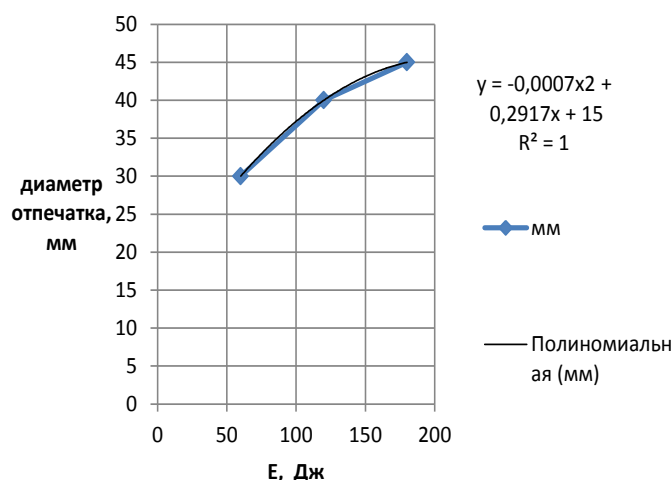


Рис. 6. Зависимость диаметра отпечатка от энергии удара
Fig. 6. Dent diameter vs impact energy

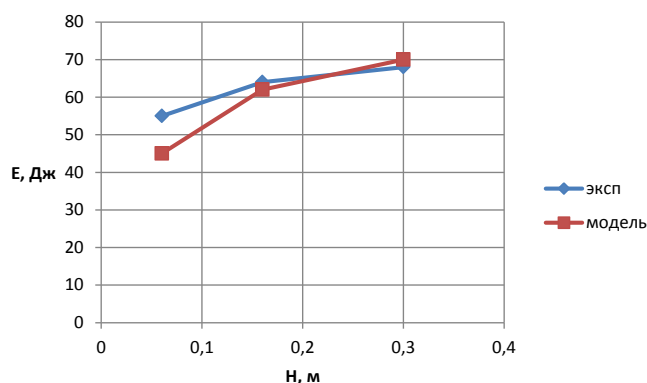


Рис. 7. Зависимость энергии удара от высоты разведения инерционной массы и ударной части
Fig. 7. Impact energy vs the separation height of the inertial mass and the percussion part

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований:

- установлено, что суммарная площадь продувочных отверстий должна быть не менее половины поперечного сечения корпуса;
- получена зависимость диаметра отпечатка на деревянной основе от энергии удара;
- подтверждена адекватность математической модели, описывающей процессы, происходящие в ударном устройстве. Максимальное расхождение составило 18%.

Список источников

1. Барон Л.И., Веселов Г.М., Коняшин Ю.Г. Экспериментальные исследования процессов разрушения горных пород ударом. М.: АН СССР, 1962. 217 с.
2. Афанасьев А.И. Энергоэффективность машин ударного действия // Горное оборудование и электромеханика. 2002. № 9. С. 37–39.
3. Галдин Н.С. Определение основных параметров рабочего органа ударного действия при разрушении грунта // Строительные и дорожные машины. 2006. № 6. С. 37–39.
4. Чупров И.В. Взаимосвязь удельной энергии разрушения горной породы с энергией единичного удара // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2006. № 5. С. 66–69.
5. Геллер Ю.А. Факторы, влияющие на процесс разрушения грунтового и горного массива // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27. № 5. С. 17–25. <https://doi.org/10.21209/2227924520212751725>.
6. Мельников А.В. Анализ работы молота с пружинным аккумулятором энергии при разрушении негабаритов горных пород // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 11. С. 43–47.
7. Зедгенизов В.Г., Аль-саккаф Халед Саед Таха. Результаты исследования рабочего процесса ударника для разрушения негабаритов горных пород на математической модели // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 7. С. 18–22.
8. Аль-саккаф Халед Саед Таха. Типоразмерный ряд ударников для разрушения негабаритов горных пород // Авиационное машиностроение и транспорт Сибири: матер. III Всерос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 11–12 апреля 2013 г.). Иркутск: ИрГТУ, 2013. С. 381–386.
9. Зедгенизов В.Г., Сенотрусова Т.А. Исследование влияния основных параметров на характеристики ударной системы с повышенной энергией удара // Вестник машиностроения. 2021. № 12. С. 31–34. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-12-31-34>.
10. Пат. № 2762133, Российская Федерация, E21C 37/00. Способ взвода и разгона снаряда и установка ударного действия для его реализации / В.Г. Зедгенизов, Д.В. Кокоуров, Т.А. Сенотрусова; заявитель и патентообладатель Иркутский национальный исследовательский технический университет. Заявл. 25.02.2021; опубл. 16.12.2021. Бюл. № 35.
11. Zedgenizov V.G., Kokourov D.V., Senotrusova T.A. Mathematical modeling of the percussion mechanism with a single impact energy increase // Materials Science and Engineering: Iop Conference Series. 2021. P. 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1061/1/012042>.
12. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. М.: Высш. шк., 1973. 296 с.

13. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. 423 с.
14. Сайтов В.И., Чупров В.В. Критерии подобия процесса дробления горных пород несвободным ударом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 3. С. 351–353. EDN: HZOEXV.
15. Вишневецкий 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. EDN: TOWQVH.
16. Тургунбаев М.С. Критерии подобия процесса разрушения грунта, содержащего обломочно-каменное включение // Известия ВУЗов Кыргызстана. 2016. № 11-1. С. 47–51. EDN: WWXAIT.
17. Соболева Н.С., Ефремов А.К. О подобии процессов при упругопластическом ударе // Машиностроение и компьютерные технологии. 2019. № 2. С. 1–12. EDN: BGOJKS. <https://doi.org/10.24108/0219.0001459>.
18. Усков И.Б., Глобус А.М., Онищенко В.Г. Физическое моделирование и подобие // Агрофизика от А.Ф. Иоффе до наших дней: сб. ст. СПб.: ООО «Издательство «Алфавит», 2002. С. 84–107. EDN: YSRNYY.
19. Кошкин С.В., Соколов А.Л. Обработка и анализ результатов эксперимента и проверка гипотез // Специальная техника и технологии транспорта. 2020. № 5. С. 280–285.
20. Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В. Моделирование систем: монография. Симферополь: АРИАЛ, 2016. 236 с.

References

1. Baron L.I., Veselov G.M., Konyashin Yu.G. *Experimental studies of impact-caused rock destruction processes*. Moscow: USSR Academy of Sciences; 1962, 217 p. (In Russ.).
2. Afanasiev A.I. Energy efficiency of impact machines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2002;9:37-39. (In Russ.).
3. Galdin N.S. Determining the main parameters of the working body of impact action under soil destruction. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny = Construction and road building machinery*. 2006;6:37-39. (In Russ.).
4. Chuprov I.V. Relationship between the specific energy of rock destruction and the single impact energy. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Gornyj zhurnal*. 2006;5:66-69. (In Russ.).
5. Geller Yu. Factors affecting the process of soil and rock massif destruction. *Vestnik Zabajkalskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of ZabGU*. 2021;27(5):17-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.21209/2227924520212751725>.
6. Melnikov A.V. Analysis of operation of a spring energy accumulator hammer under oversized rock destruction. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2008;11:43-47. (In Russ.).
7. Zedgenizov V.G., Al-sakkaf Khaled Saed Taha. Results of studying striker's operation for oversize rocks destruction on a mathematical model. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2013;7:18-22. (In Russ.).
8. Al-sakkaf Khaled Saed Taha. Striker size range for oversized rock destruction. *Aviamashinostroenie i transport Sibiri: materialy III Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Aircraft engineering and transport of Siberia: materials of the 3rd All-Russian scientific and practical conference*. Irkutsk, 11–12 April 2013. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2013, p. 381-386. (In Russ.).
9. Zedgenizov V.G., Senotrusova T.A. Research of the main parameters effect on characteristics of a striker system with increased impact energy. *Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research*. 2021;12:31-34. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-12-31-34>.
10. Zedgenizov V.G., Kokourov D.V., Senotrusova T.A. *The method of projectile triggering and acceleration and the percussion installation for its implementation*. Patent RF, 2762133; 2021. (In Russ.).
11. Zedgenizov V.G., Kokourov D.V., Senotrusova T.A. Mathematical modeling of the percussion mechanism with a single impact energy increase. In: *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2021;012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1061/1/012042>.
12. Guhman A.A. *Introduction to the theory of similarity*. Moscow: Vysshaya shkola; 1973, 296 p. (In Russ.).
13. Sedov L.I. *Methods of similarity and dimension in mechanics*. Moscow: Nauka; 1987, 423 p. (In Russ.).
14. Saitov V.I., Chuprov V.V. Similarity criteria of the crushing rock process by non-free impact. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining informational and analytical bulletin*. 2006;3:351-353. EDN: HZOEXV
15. Vishnevskij A.S., Balaganskij I.A. Similarity criteria for shock processes. In: *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Collected scientific papers of the Novosibirsk State Technical University*. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University; 1998, no. 1. p. 151-153. EDN: TOWQVH.
16. Turgunbaev M.S. Similitude parameters of process of destruction of the soil containing detrital and stone inclusion. *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana*. 2016;11-1:47-51. (In Russ.). EDN: WWXAIT.
17. Soboleva N.S., Efremov A.K. Elastic-plastic shock processes similarity. *Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii*. 2019;2:1-12. EDN: BGOJKS. <https://doi.org/10.24108/0219.0001459>.
18. Uсков I.B., Globus A.M., Onishchenko V.G. Physical modeling and similarity. *Agrofizika ot A.F. Ioffe do nashih dnei: sbornik statej = Agrophysics from A.F. Ioffe to the present day: collected articles*. St Petersburg: ООО "Izdatel'stvo "Alfavit"; 2002, p. 84-107. EDN: YSRNYY.
19. Koshkin S.V., Sokolov A.L. Processing and analysis of experimental results and testing of hypotheses. In: *Spezial'naya tekhnika i tekhnologii transporta = Special Equipment and Transport Technologies*. 2020;5:280-285. (In Russ.).
20. Chemodurov V.T., Litvinova E.V. *System modeling: monograph*. Simferopol: ARIAL; 2016, 236 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зедгенизов Виктор Георгиевич,

д.т.н., профессор,
профессор кафедры строительных, дорожных машин
и гидравлических систем,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия
✉ vzedgenizov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5141-0876>

Сенотрусова Татьяна Александровна,

аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия
v03@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5141-0876>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 26.03.2023 г.; одобрена после рецензирования 15.05.2023 г.; принята к публикации 08.07.2023 г.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor G. Zedgenizov,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Road Construction
Machinery and Hydraulic Systems,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia
✉ vzedgenizov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5141-0876>

Tatiana A. Senotrusova,

Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia
v03@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5141-0876>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 26.03.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 08.07.2023.