

$$\sin k(t_m - T) = \sin\left(\frac{\pi}{2} - k\frac{T-t_1}{2}\right) = \cos\frac{k\tau}{2};$$

$$\sin k(t_m - t_1) = \sin\left(\frac{\pi}{2} + k\frac{T-t_1}{2}\right) = \cos\frac{k\tau}{2},$$

то

$$\varphi_m = -\frac{2\mu H}{kJ(\mu^2 - k^2)} \cos\left(\frac{k\tau}{2}\right).$$

На рис. 4 представлены графики амплитуды колебаний корпуса относительно инструмента, опирающегося на поверхность (а), и деформации пружин (б), скорость соударения корпуса с инструментом (в) и упругой силы прижима корпуса (г) в зависимости от коэффициента жесткости пружин.

Эти величины определяются по следующим формулам:

$$y_0 = l_0 \varphi_m; \quad y_1 = l \varphi_m; \quad \dot{y}_0 = l_0 \dot{\varphi}_y; \quad P_n = cy_1.$$

В точке, где коэффициент жесткости равен $6 \cdot 10^5$ Н/м, наблюдается резонанс.

Зазор между буртиком инструмента и корпусом (рис. 2) при использовании шайб, гасящих ударную нагрузку, составляет 5 мм. Для обеспечения амплитуды колебаний корпуса, не превышающей эту величину, коэффициент жесткости пружин должен быть больше $35 \cdot 10^4$ Н/м. При указанной жесткости скорость соударения корпуса с инструментом составляет 0,6 м/с, а максимальное значение силы прижима равно $2,88 \cdot 10^3$ Н. Для того чтобы уменьшить амплитуду колебаний корпуса, необходимо либо увеличивать жесткость пружин, либо давать им предварительный натяг. Первый путь опасен из-за возможности попадания в резонансную зону. Поэтому одной из дальнейших задач является исследование динамики корпуса механизма МО-10 с учетом предварительного натяга пружин.

Список литературы

1. Абдраимов Э.С., Фокин Ю.А., Каримов А.А., Эркебаев М.Б. Создание специализированной установки очистки бункеров приема угля ТЭЦ. Новые наукоемкие технологии и технологическое оборудование: Материалы конф., посвящ. I съезду инженеров Кыргызстана и 10-летию образования Инженерной академии Кыргызской Республики. Бишкек: Технология, 2001. С. 50–54.
2. Еремьянц В.Э., Арстанбек Алишер. Динамика кривошипно-коромысловой виброударной машины при очистке внутренних поверхностей бункеров. / Проблемы механики современных машин: Материалы VI международной конференции. Улан-Удэ, 2015.

References

1. Abdraimov E.S., Fokin Y.A., Karimov A.A., Erkebaev M.B. Creation of a specialized setting for cleaning CHP reception coal bunkers. / Novye naukoemkie tehnologii i tehnologicheskoe oborudovanie [New scientific technologies and technological equipment]. Bishkek, 2001.
2. Eremjants V.E. Alisher Arstanbek. Dynamics of the crank-rocker vibro-impact machine during the cleaning of the internal surfaces of bunkers. / Problemy mehaniki sovremennyh mashin [Mechanic problems of the modern machines]: Materials of the 6th international conference. Ulan-Ude, 2015.

УДК 539.411

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПОДАТЛИВОСТИ ОБЪЕКТА НА КОЭФФИЦИЕНТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПРИ УДАРЕ

Васильков Роман Евгеньевич, КРСУ, Кыргызстан, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, e-mail: termex21@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований коэффициента восстановления скорости шара при ударе по коробу и плите. Оценено влияние конструкционной податливости короба, на коэффициент восстановления скорости шара.

Ключевые слова: шар, короб, плита, удар, коэффициент восстановления.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE OBJECT'S CONSTRUCTIONAL COMPLIANCE INFLUENCE ON THE VELOCITY COLLISION COEFFICIENT AT AN IMPACT

Vasilkov Roman Evgenyevich, Kyrgyz-Russian Slavic university names by B. N. Yeltsin, Kyrgyz Republic, Bishkek, st. Kievskaja 44, e-mail: termex21@mail.ru

Research experimental results of the sphere velocity collision coefficient at an impact by the box and plane are shown. The box constructional collision influence on the sphere velocity collision coefficient is evaluated.

Key words: sphere, box, plate, impact, collision coefficient.

Проектирование виброударной техники для очистки внутренних поверхностей труб, бункеров, кузовов от различного рода отложений, требует знания коэффициента восстановления скорости бойка. Этот параметр необходим для задания режима работы машины, энергии и частоты ударов, а также при расчете размеров машины. Все очищаемые объекты обладают конструкционной податливостью, которая сильно влияет на значение коэффициента восстановления.

Для создания математической модели, позволяющей рассчитывать значение коэффициента восстановления, необходимо в ней учесть влияние конструкционной податливости обрабатываемого объекта на величину коэффициента. Поэтому задачей данной работы являлась экспериментальная оценка влияния конструкционной податливости короба на коэффициент восстановления скорости шара.

Эксперимент был выполнен на стенде (рисунок 1а) [1], состоящем из направляющей трубы 1 высотой 490, которая ставится вертикально с помощью треноги 2, на поверхность короба 3, твердость которой $66 \pm 0,8$ HRB. Размеры короба представлены на рисунке 1б. Короб жестко крепился к массивному основанию. В ходе эксперимента шар диаметром 27 мм, массой 78,43 г и с твердостью поверхности 65 HRC с помощью пинцета сбрасывался с верхнего торца трубы на поверхность короба.

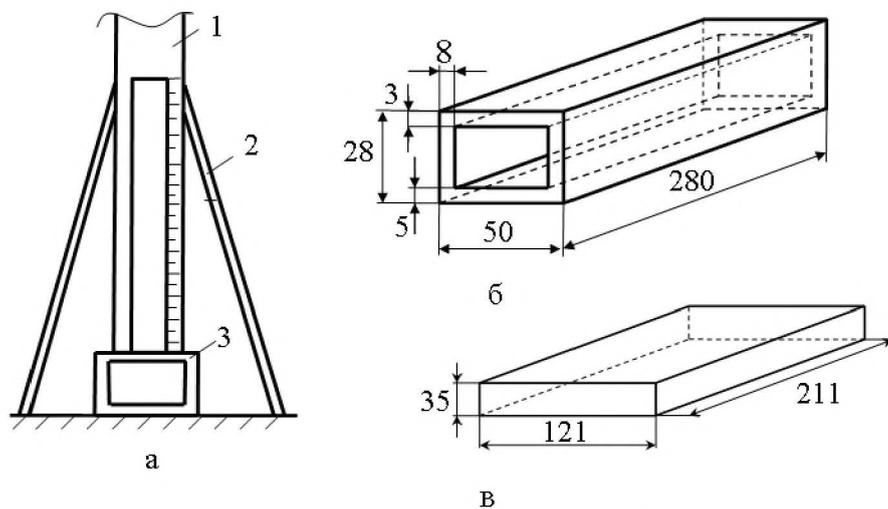


Рисунок 1. Экспериментальный стенд (а), короб (б) и плита (в).

При одном сбрасывании шара он наносил несколько повторных ударов, после которых подскакивал на некоторую высоту. Для определения высоты отскока в направляющей трубе 1 сделана прорезь и установлена шкала с ценой деления 1 мм. Высота отскока фиксировалась цифровой видеокамерой SONY DCR-DVD 308, после чего определялась просмотром видеозаписи определялась высота отскока. После каждого удара инструментальным микроскопом МПБ-2 измерялся диаметр отпечатка, оставленного шаром на поверхности короба, а также измерялась твердость отпечатка твердомером ТК-2М. При ударе по коробу было проведено 30 опытов, средние результаты которых представлены в таблице 1.

С использованием полученных значений высоты отскока шара по формуле:

$$V_- = \sqrt{2gh},$$

определялась его скорость в момент каждого удара, а затем рассчитывался коэффициент восстановления:

$$R = -V_+ / V_- = \sqrt{h/H},$$

где V_- , V_+ – соответственно скорости шара до и после удара; H и h – соответственно высота падения и высота отскока шара.

Для оценки влияния податливости короба на коэффициент восстановления эксперимент был повторён на плите (рисунок 2 в), закреплённой на том же жестком основании, что и короб. Твердость поверхности плиты составляла $64,1 \pm 1,8$ HRB и отличалась от твердости поверхности короба на 2 HRB, что лежит в пределах погрешности измерения прибора. Поэтому твердости короба и плиты можно считать одинаковыми. Как и для короба было проведено 30 опытов. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Результаты экспериментальных исследований

№ удара	Параметры	Короб с твердостью поверхности 64,1±1,8 HRB			Плита с твердостью поверхности 66 ± 0,8 HRB				
		V, м/с	R	d, мм	HRB после удара	V, м/с	R	d, мм	HRB после удара
1		3,1	0,619	2,17	73,2	3,1	0,522	2,83	82,4
2		1,920	0,689			1,618	0,628	2,04	80,3
3		1,333	0,747			1,016	0,728	1,6	

По табличным данным были построены диаграммы зависимости коэффициента восстановления скорости шара от его предударной скорости (рисунок 2).

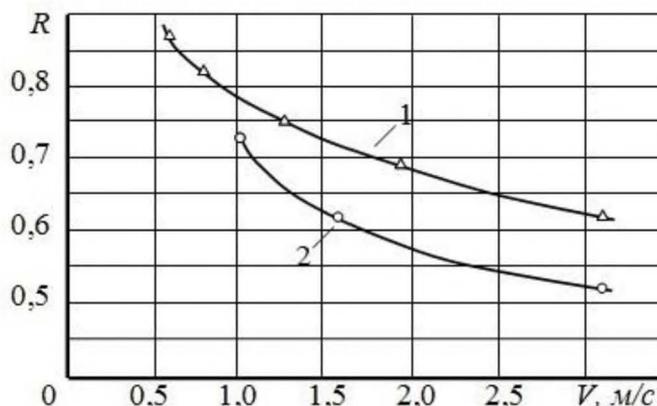


Рисунок 2. Диаграммы зависимости коэффициента восстановления скорости шара от предударной скорости: 1 – удар по коробу, 2 – удар по плите

Из полученных диаграмм видно, что характер изменения коэффициента восстановления в обоих случаях одинаков, но значения этого коэффициента при ударе по коробу выше. Причем эта разница уменьшается с уменьшением скорости удара. Например, при первом ударе по коробу коэффициент восстановления в 1,186 раз, при втором ударе в 1,097 раз, а при третьем ударе в 1,026 раз выше, чем при ударе по пластине. Отсюда следует, что при уменьшении скорости удара влияние податливости объекта на коэффициент восстановления сказывается меньше.

Увеличение коэффициента восстановления при ударе по коробу сопровождается уменьшением диаметра остаточного отпечатка на его поверхности, что свидетельствует об уменьшении пластических деформаций поверхности короба по сравнению с плитой. При скорости удара 3,1 м/с диаметр отпечатка на поверхности плиты в 1,3 раза больше, чем на поверхности короба. При этом твердость поверхности отпечатка на коробе возрастает на 9,1 единиц HRB, а на поверхности плиты – на 16,4 единиц HRB. Это различие является следствием конструкционной податливости поверхности короба.

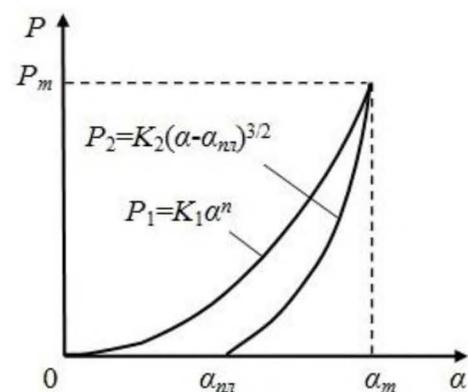


Рисунок 3. Уругопластическая контактная характеристика

Параллельно с экспериментальными исследованиями была сделана попытка теоретического описания исследуемого процесса. При этом для расчета уругопластических контактных деформаций использовалась методика, описанная в работах [2, 3].

В соответствии с этой методикой уругопластическая контактная характеристика описывалась диаграммой, представленной на рисунке 3. Она состояла из двух ветвей:

уругопластической ветви нагрузки, описываемой зависимостью:

$$P_1 = K_1 \alpha^n,$$

где P – контактная сила; α – местная контактная деформация; K_1, n – коэффициенты, определяемые по специальной методике [2–4], и уругой ветви разгрузки, описываемой формулой Герца:

$$P_2 = K_2 (\alpha - \alpha_{nl})^{3/2}; \quad K_2 = \frac{2E}{3(1 - \mu^2)} \sqrt{r},$$

α_{nl} – величина остаточной пластической деформации на поверхности короба или плиты; E , μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала шара и поверхности контртела; r – радиус шара.

С использованием этой характеристики находились диаметр отпечатка на поверхности короба d и величина энергии, затраченной на пластическую деформацию поверхности контртела A_{nl} [2, 3]:

$$d = 2\sqrt{r(\alpha_m + \alpha_{nl})}, \tag{1}$$

$$A_{nl} = \int_0^{\alpha_{nl}} P_1(\alpha)d\alpha - \int_{\alpha_{nl}}^{\alpha_m} P_2(\alpha)d\alpha = \frac{K_1}{n+1} \alpha_m^{n+1} - \frac{2}{5} K_2 (\alpha_m - \alpha_{nl})^{5/2} d\alpha, \tag{2}$$

где α_m – максимальная упругопластическая деформация поверхности короба или плиты.

В результате расчетов получено:

$$n = 1,252; K_1 = 8,528 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^n; K_2 = 2,075 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^{3/2}; \alpha_m = 0,055 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\alpha_{nl} = 0,045 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

При подстановке этих данных в формулы (1), (2) получены значения диаметров отпечатков, энергии, затраченной на пластическую деформацию, и коэффициента восстановления скорости. Эти данные представлены в таблице 2, где A_0 – кинетическая энергия шара в начальный момент удара.

Таблица 2

Расчетные значения диаметров отпечатков, энергии, затраченной на пластическую деформацию, и коэффициента восстановления скорости шара

Номер удара	Короб					Плита				
	V , м/с	d , мм	A_{nl} , Дж	A_0 , Дж	R	V , м/с	d , мм	A_{nl} , Дж	A_0 , Дж	R
1	3,1	2,785	0,098	0,380	0,625	3,1	2,774	0,097	0,380	0,621
2	1,920	2,251	0,042	0,146	0,608	1,618	2,079	0,029	0,103	0,600
3	1,333	1,909	0,020	0,070	0,60	1,016	–	–	–	–

Из полученных результатов следует, что при одинаковых скоростях удара на пластическую деформацию поверхности короба и плиты расходуется одинаковое количество энергии, которое составляет 25–29% от кинетической энергии шара перед ударом. Зависимости энергии, расходуемой на пластическую деформацию и диаметра отпечатка на ударяемой поверхности от скорости удара близки к линейной.

Сравнивая результаты расчета по модели (таблица 2) с экспериментальными результатами (таблица 1), можно отметить, что для плиты при скоростях удара 3,1; 1,618 м/с теоретическое значение диаметра отпечатка отличается от полученного экспериментально всего на 2%. Это подтверждает достоверность принятой модели для расчета пластических деформаций поверхности плиты.

Для короба при скорости удара 3,1 м/с это расхождение достигает 28%. Можно предполагать, что это является следствием того, что модель не учитывает конструкционную податливость короба.

Из таблицы видно, что при уменьшении скорости удара доля энергии, затраченной на пластическую деформацию, увеличивается, это справедливо как для короба, так и для пластины. Сравнивая энергию, затраченную на пластическую деформацию для короба и пластины, видно, что они отличаются не более чем на 1%.

Для коэффициента восстановления скорости шара при ударе по коробу со скоростью 3,1 м/с теоретические и экспериментальные результаты практически совпадают. Расхождения в них не превышают 1%. С уменьшением скорости удара от 3,1 до 1,3 м/с теоретические значения коэффициента восстановления уменьшаются, хотя и незначительно – на 4%, а экспериментальные значения, наоборот, возрастают на 20%.

Возрастание коэффициента восстановления с увеличением скорости удара наблюдается и в экспериментах при ударе по плите. Кроме этого, при скорости удара 3,1 м/с экспериментальное значение коэффициента восстановления намного меньше расчетного.

Все эти противоречия требуют продолжения как экспериментальных исследований для накопления статистических данных, так и поиска модели, адекватно отражающей влияние конструкционной податливости обрабатываемого объекта на коэффициент восстановления скорости при ударе.

Список литературы

1. Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э. Коэффициент восстановления скорости шара при ударе по поверхности короба. /Наука. Технологии. Инновации. Материалы Всероссийской конференции молодых ученых. В 10- частях. Часть 3. Новосибирск: НГТУ, 2013. С. 65–68.
2. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем. Учебное пособие в 2-х частях. Часть 1. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. – 324 с.
3. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем. Моделирование и методы расчета.– Saarbrücken, Germany: Palmarium academic publishing, 2012. – 586 с.

4. Дрозд М.С., Матлин М.М., Сидякин Ю.И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. – М.: Машиностроение, 1986. – 220 с.

References

1. Vasilkov R.E., Eremjanc V.E. Koefficient vosstanovlenija skorosti shara pri udare po poverhnosti koroba. /Nauka. Tehnologii. Innovacii. Materialy Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh. V 10-chastjah. CHast 3. Novosibirsk: NGTU, 2013. S. 65–68.
2. Eremjanc V.E. Dinamika udarnyh sistem. Uchebnoe posobie v 2-h chastjah. CHast 1. Bishkek: Izd-vo KRSU, 2011. – 324 s.
3. Eremjanc V.E. Dinamika udarnyh sistem. Modelirovanie i metody rascheta. – Saarbrücken, Germany: Palmarium academic publishing, 2012. – 586 s.
4. Drozd M.S., Matlin M.M., Sidjakin JU.I. Inzhenernye raschety uprugoplasticheskoj kontaktnoj deformacii. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 220 s.

УДК 534.1

ПОВТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН ДЕФОРМАЦИЙ НА ПЛАСТИНУ В СИСТЕМЕ «БОЕК-ВОЛНОВОД-ПЛАСТИНА»

Еремьянц Виктор Эдуардович, д.т.н., профессор, Ню Виктория Валерьевна, аспирант, Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызстан, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, e-mail: eremjants@inbox.ru, vniu14@yandex.com

Рассмотрены волновые процессы, протекающие в ударной системе «боек-волновод-пластина», выявлены их особенности и исследовано влияние параметров системы на эффективность передачи энергии бойка через волновод в пластину.

Ключевые слова: боек, волновод, пластина, волны деформации, передача энергии

ITERATIVE INFLUENCE OF REFLECTED STRAIN WAVES ON THE PLATE IN THE “STRIKER-TOOL-PLATE” SYSTEM

Yeremyanc Victor Eduardovich, Doct.tech.Scin., professor, Niu Victoria Valerievna, graduate student, Kyrgyz-Russian Slavic university, Kyrgyzstan, 720000, Bishkek, a street is Kyiv 44, e-mail: eremjants@inbox.ru, vniu14@yandex.com

Wave processes passing in the “striker-tool-plate” impact system are considered. Features of the processes were determined. Influence of the system parameters on the striker’s energy transfer through the tool effectiveness was analyzed.

Keywords: striker, tool, plate, strain waves, energy transfer.

В статье рассматривается ударная система машины для виброударной очистки поверхностей, состоящая из бойка, который наносит удар по инструменту, опирающемуся на пластину. Инструмент играет роль волновода, по которому энергия удара передается от машины к пластине в виде продольных волн деформаций.

В предшествующих работах [1, 2] установлено, что с точки зрения уменьшения напряжений в элементах ударной системы «боек-волновод-пластина» наиболее рациональной является система, в которой диаметры и длины бойка и волновода одинаковы. Такие системы характерны для гидравлических машин ударного действия. При одинаковых диаметрах и материале бойка и волновода при ударе в последнем генерируется начальная волна деформации с постоянными усилиями P_0 (рисунок 1а). Длительность этой волны T равна периоду собственных колебаний бойка: $T = 2l/a$, где l – длина бойка, a – скорость распространения волны деформации в нём. В этом случае при ударе вся энергия бойка передается в волновод, т.е. коэффициент передачи энергии бойка в волновод равен единице.

Волна деформации прямоугольной формы обеспечивает передачу по волноводу большей энергии удара без его разрушения по сравнению с волнами другой формы такой же длительности. При равных длинах бойка и волновода усилия в контактом сечении волновода и пластины имеют непрерывный характер при действии на него последовательных волн, совершающих колебания в инструменте, что повышает эффективность передачи энергии удара в пластину. В дальнейшем будем рассматривать только такие системы.

Задачей данной работы являлось описание особенностей взаимодействия волновода с пластиной при многократном отражении продольных волн деформаций от его концов.

Условимся волны, распространяющиеся по волноводу в сторону пластины, называть прямыми волнами