

где A_0 – кинетическая энергия боя в начальный момент удара.

Подставляя в эту формулу функции (8), (9) и учитывая, что

$$P_0^2 T / C = A_0,$$

после вычисления интегралов найдем:

$$\frac{A_{r21}}{A_0} = q^4 (\tau_1 - 1) + \frac{1}{p} \left[D_1 (1 - e^{-p(\tau_1-1)}) + \frac{1}{2} D_2 (1 - e^{-2p(\tau_1-1)}) + D_3 (1 - (p(\tau_1 - 1) + 1) e^{-p(\tau_1-1)}) - \frac{1}{4} D_4 (1 - (2p(\tau_1 - 1) + 1) e^{-2p(\tau_1-1)}) + \frac{1}{4} D_5 (1 - (2p^2(\tau_1 - 1)^2 + 2p(\tau_1 - 1) + 1) e^{-2p(\tau_1-1)}) \right];$$

$$\frac{A_{r22}}{A_0} = q^2 (2 - \tau_1) + \frac{2(1-q)}{p} \left[q (e^{-p(\tau_1-1)} - e^{-p}) + \frac{1-q}{4} (e^{-2p(\tau_1-1)} - e^{-2p}) \right],$$

где

$$D_1 = 2q^2(1-q)(q + e^{-p}); \quad D_2 = (1-q)^2(q + e^{-p})^2;$$

$$D_3 = 2q^2(1-q)^2; \quad D_4 = -2(1-q)^2 D_1; \quad D_5 = (1-q)^4.$$

На рисунке 4б показаны графики зависимости (19), где кривые 1, 2 соответствуют значениям Θ , равным 0,5; 1,0. Из них следует, что с учетом второго действия волн деформаций на пластину коэффициент передачи энергии удара существенно выше, чем при первом действии, и во всем диапазоне v_0 от 1,6 до 3,0 превышает 0,9. При этом с изменением параметра Θ от 0,5 до 1,0 различие в этих коэффициентах незначительное. Это дает основание расширить рациональный диапазон значений этого параметра, приняв в качестве рационального диапазон от 0,5 до 1,0.

Полученные результаты могут быть использованы при создании и совершенствовании гидравлических ударных механизмов для виброударной очистки поверхностей.

Список литературы

1. Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. М.: Наука. 1985. – 356 с.
2. Ню В.В. Удар упругим цилиндрическим бойком по стержню, опирающемуся на пластину // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Материалы 5-й международной конф. молодых ученых. Бишкек: Научная станция РАН. 2013. – С. 226–231.
3. Ню В.В. К эффективности использования энергии удара при очистке пластин гидравлическими виброударными механизмами // Современные проблемы теории машин. 2015, №3. Новокузнецк: СибГИУ.

References

1. Alimov O.D., Manzhosov V.K., Eremjants V.E. Udar. Rasprostranenie voln deformatsii v udarnykh sistemakh. [Blow. Strain waves spreading in impact systems]. M.: Nauka. 1985. – 356 p.
2. Niu V.V. Udar uprugim tsilindricheskim boikom po sterzhnyu, opirayushemusya na plastinu. [Blow with the elastic cylindrical striker at the leaned on the plate tool] Materialy 5-i mezhdunarodnoi konferentsii molodykh uchenykh [Materials of the 5th young scientists' international conference]. Bishkek: Nauchnaya stantsiya RAN. 2013. – P. 226–231.
3. Niu V.V. K effektivnosti ispolzovaniya energii udara pri ochildke plastin gidravlichesкими vibroudarnymi mekhanizmami [To the effectiveness of impact energy use under the process of plates cleaning by hydraulic vibro-impact mechanisms]. Sovremennye problemy teorii mashin 2015, №3 [Contemporary problems of machines' theory 2015 №3]. Novokuznetsk: SibGIU.

УДК 534.1

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ УДАРА НА НАПРЯЖЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ УДАРА В СИСТЕМЕ "БОЕК-ВОЛНОВОД-ПЛАСТИНА"

Ню Виктория Валерьевна, аспирант, Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызстан, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, e-mail: yniu14@yandex.com

Установлены зависимости усилий в контакте волновода с пластиной, коэффициента жесткости контакта волновода с пластиной, напряжений, возникающих в элементах системы и коэффициента передачи энергии удара в пластину от скорости удара бойком по волноводу.

Ключевые слова: боек, волновод, пластина, удар, волны деформации, напряжения, передача энергии.

THE INFLUENCE OF IMPACT VELOCITY ON STRESSES AND IMPACT ENERGY TRANSFER EFFICIENCY IN THE “STRIKER-TOOL-PLATE” SYSTEM

Niu Victoria Valerievna, graduate student, Kyrgyz-Russian Slavic university, Kyrgyzstan, 720000, Bishkek, a street is Kyiv 44 e-mail: vniu14@yandex.com

Dependences of tool and plate contact forces, tool and plate contact coefficient of rigidity, stresses that appear in the system’s elements and impact energy transfer to plate coefficient on impact velocity.

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

В предыдущей статье [1], помещенной в данном сборнике, проведен анализ процесса взаимодействия волновода с пластиной с учетом многократного отражения продольных волн деформаций от торцов волновода. Для усилий в контактном сечении волновода и пластины при первом действии на неё прямой волны, распространяющейся по волноводу, получено:

$$P_{k1}(t) = P_0(1-q) \left[1 - \exp\left(\frac{4\tau}{\Theta(1-q)}\right) \right]; \quad P_0 = -0,5CV_0, \quad (1)$$

где P_0 – усилия в волне деформации, генерируемой в волноводе при ударе по нему бойком ударной машины; C – ударная жесткость бойка и волновода, $C = \rho_1 aS$; ρ_1 – плотность материала бойка и волновода; a – скорость распространения волны деформации в волноводе; S – площадь его поперечного сечения; V_0 – скорость бойка в начальный момент удара;

$\tau = t/T$, t – текущее время; T – период колебаний волновода;

$$T = \frac{2l}{a}; \quad q = \frac{\chi v^2 - 1}{\chi v^2 + 1}; \quad \chi = \frac{\pi\sqrt{3(1-\mu_1^2)}}{16}; \quad v = \frac{d}{\delta_1}; \quad p = \frac{4}{\Theta(1-q)}; \quad \Theta = \frac{E_1 S}{lc}, \quad (2)$$

d , l – соответственно диаметр и длина волновода; δ_1 – толщина пластины; E_1 , μ_1 – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала волновода и пластины; c – коэффициент жесткости контакта волновода с пластиной.

Усилия P_0 определяют величину напряжений в волне деформаций, распространяющейся по волноводу, а усилия P_k определяют напряжения, возникающие в пластине. Эти напряжения наибольшие в конце обработки, когда пластина свободна от шлака, и определяются по формуле:

$$\sigma_n = \frac{2\chi V_0 \rho_1 a_1}{(1-\mu_1)} (1+q) \left[1 - \frac{\Theta}{4} (1-q) \left(1 - \exp\left(\frac{4}{\Theta(1-q)}\right) \right) \right], \quad (3)$$

Коэффициент передачи энергии удара в пластину при первом действии на неё прямой волны деформации описывается зависимостью [1]:

$$\eta_1 = 1 - q^2 - 0,5\Theta(1-q)^2 \left[q(1 - e^{-p}) + 0,25(1-q)(1 - e^{-2p}) \right]. \quad (4)$$

На первый взгляд, усилия P_0 , P_k и напряжения в пластине (3) пропорциональны скорости удара. При этом коэффициент передачи энергии удара в пластину (4) вроде бы и не зависит от скорости удара. Но на самом деле это не так.

Дело в том, что для описания контактной характеристики волновода и пластины в работе [1] принята линеаризованная модель Герца, в которой коэффициент жесткости c зависит от контактной силы и определяется методом последовательных приближений по формуле [2]:

$$c = 1,25K^{2/3} P_{km}^{1/3}, \quad (5)$$

где P_{km} – максимальное значение контактной силы,

$$K = \frac{2E_1}{3(1-\mu^2)} \sqrt{r}; \quad P_{km} = P_0(1-q) \left[1 - \exp\left(\frac{4}{\Theta(1-q)}\right) \right], \quad (6)$$

r – радиус контактной поверхности волновода с пластиной.

С увеличением скорости удара возрастает контактная сила P_{km} . В результате этого увеличивается коэффициент жесткости c . Но в выражение для контактной силы (5) входит параметр Θ , который, как следует из последнего соотношения (2), также зависит от коэффициента жесткости c .

Отсюда следует, что связь контактной силы и напряжений в пластине со скоростью удара нелинейная. При этом эффективность передачи энергии удара в пластину (4) также зависит от параметра Θ , а следовательно, и от скорости удара. Установление этих зависимостей и являлось задачей данной работы.

В качестве примера, как и в работе [1], рассматривался случай, когда длины бойка и инструмента и их диаметры равны. Принималось, что в начале обработки толщина слоя отложений в четыре раза больше толщины пластины. При этом $v_c = 1,6$; $q = -0,0926$. В конце обработки, когда пластина свободна от отложений, $v_c = 3,0$; $q = 0,49$. Остальные исходные данные следующие: $E_1 = 20,4 \cdot 10^{10}$ Па; $\mu_1 = 0,3$; $\rho_1 = 7850$ кг/м³.

Результаты расчета контактной силы при различных скоростях удара приведены в таблице 1. Из них следует, что эта сила растет пропорционально скорости удара. Например, при $v_c = 1,6$ при увеличении скорости удара от 1 до 10 (в десять раз) контактная сила во столько же раз, а при $v_c = 3,0$ – в 10,2 раза. Это является следствием того, что экспоненциальный член в выражении (6) пренебрежимо мал по сравнению с единицей. В этом случае можно считать, что контактная сила не зависит от коэффициента жесткости контактной характеристики и пропорциональна скорости удара.

На рисунке 1 показаны диаграммы зависимости от скорости удара параметров c и Θ для двух значений параметра v , соответствующих началу обработки пластины ($v_c = 1,6$, кривые 1) и окончанию обработки ($v_c = 3,0$, кривые 2).

На рисунке 1 видно, что с ростом скорости удара коэффициент жесткости контакта волновода с пластиной возрастает в степени $1/3$, а параметр Θ – уменьшается в такой же степени. Это следует и из формул (4), (2), в соответствии с которыми при линейной зависимости контактной силы от скорости параметры c и Θ изменяются в степени $1/3$.

Интересно отметить, что в работе [1] в качестве рациональных значений параметра Θ рекомендованы значения от 1,0 до 0,5. На рисунке видно, что такие значения параметр Θ приобретает при скорости удара большей 5 м/с. Отсюда следует, что с точки зрения повышения эффективности ударной системы следует стремиться к увеличению скорости удара, насколько это позволяет прочность пластины.

Таблица 1

Влияние скорости удара на усилия и напряжения в контакте инструмента с пластиной

	V , м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$v = 1,6$	P_k , Н	2053	4107	6161	8215	10268	12322	14376	16429	18483	20537
	σ , МПа	28,4	60,3	93,0	126,1	159,6	193,3	227,2	261,3	295,4	329,7
$v = 3,0$	P_k , Н	7077	14339	21586	28824	36057	43286	50513	57738	64961	72184
	σ , МПа	45,6	97,2	150,3	204,3	258,8	313,7	368,9	424,4	480,1	536,0

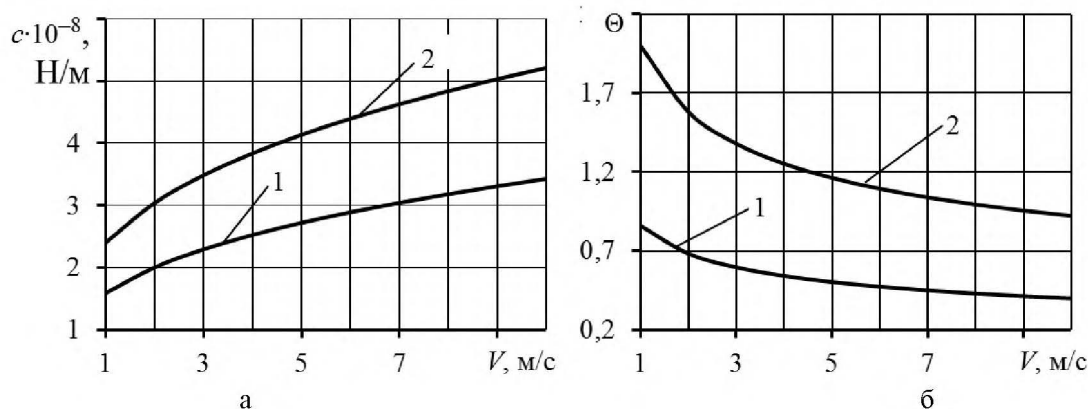


Рисунок 1. Влияние скорости удара бойком по волноводу на контактную жесткость (а) и параметр Θ (б)

На рисунке 2 приведены диаграммы зависимостей от скорости удара напряжений на поверхности пластины (а) и коэффициента передачи энергии первой прямой волны деформации в пластину (б) при тех же двух значениях параметра v_c , что и на рисунке 1.

Из формул (3), (4) видно, что параметр Θ влияет на максимальные напряжения в пластине и коэффициент передачи энергии удара в пластину. Это влияние показано в таблице 2. С увеличением скорости

удара от 1 до 10 м/с, в 5 раз, напряжения возрастают в 11,6 и 11,8 раз. То есть напряжения растут более интенсивно по сравнению со скоростью удара, хотя эта разница невелика и лежит в пределах 10%. Поэтому в предварительных расчетах можно считать, что напряжения растут пропорционально скорости удара. При необходимости уточнения зависимости напряжений от скорости удара можно в формуле (3) с погрешностью, не превышающей 1%, вместо V_0 принять:

$$V = V^{1,074}$$

Например, если при скорости удара 1 м/с напряжения в пластине, при v_c равном 3,0, составляли 45,6 МПа, то при скорости 10 м/с они будут составлять:

$$45,6 \cdot 5^{1,074} = 256,8 \text{ МПа}.$$

Это значение отличается от указанного в таблице (258,8 МПа) всего на 0,77%.

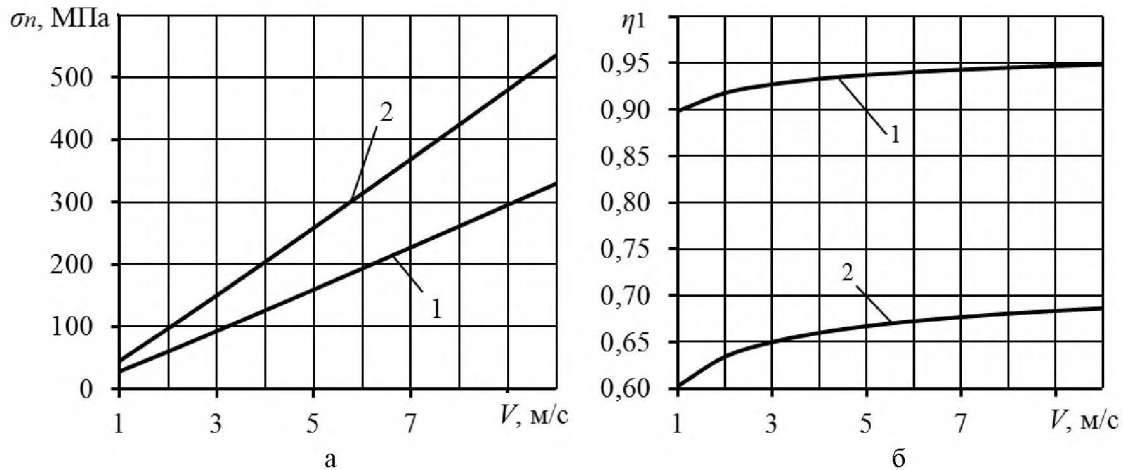


Рисунок 2. Влияние скорости удара бойком по волноводу на коэффициент передачи энергии удара в пластину

Влияние скорости удара на эффективность передачи энергии в пластину проявляется сильнее при малых скоростях (рисунок 2б), и с увеличением скорости удара оно уменьшается. Например, с увеличением скорости удара от 1 до 5 м/с коэффициент передачи энергии возрастает на 4,4% при $v_c = 1,6$ и на 10,8% при $v_c = 3,0$. С увеличением скорости удара от 5 до 10 м/с возрастание коэффициента передачи энергии составляет соответственно 1 и 3%.

Учитывая, что в виброударных машинах скорости удара бойком по волноводу составляют от 5 до 10 м/с, можно принять, что в этом диапазоне скорость удара влияет на коэффициент передачи энергии незначительно.

Список литературы

1. Еремьянц В.Э., Ню В.В. Повторное действие отраженных волн деформаций на пластину в системе «боек-волновод-пластина». Статья в данном сборнике.
2. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем. Моделирование и методы расчета. Palmarium academic publishing, Saarbrücken, Германия, 2012. – 586 с.
3. Ню В.В. Напряженное состояние пластины при её очистке гидравлическими виброударными механизмами. Машиноведение: Сборник научных трудов. НАН КР Институт машиноведения. – Бишкек: Илим, 2014. – С. 70–75.

References

1. Eremjants V.E., Niu V.V. Iterative influence of reflected strain waves on the plate in the “striker-tool-plate” system. The report from current journal.
2. Eremjants V.E. Dinamika udarnykh sistem. Modelirovanie i metody rascheta [Dynamics of impact systems. Modelling and computing method]. Palmarium academic publishing, Saarbrücken, Germany, 2012. – 586 p.
3. Niu V.V. Napryazhennoe sostoyanie plastiny pri ee ochestke gidravlicheskimi vibroudarnymi mekhanizmami [Stree condition of the plate under cleaning process by hydraulic vibro-impact mechanisms]. Mashinovedenie: Sbornik nauchnykh trudov. NAN KR Institut machinovedeniya. – Bishkek: Ilim, 2014. – P. 70–75.