

УДК 539.3

О.С. Погорелова, канд. фіз.-мат. наук
Т.Г. Постнікова, канд. техн. наук

ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СПОСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ УДАРУ В ВІБРОУДАРНИХ СИСТЕМАХ З ТВЕРДИМ ТА М'ЯКИМ ОБМЕЖНИКАМИ

Аналізується можливість моделювання удару граничними умовами з використанням коефіцієнта відновлення і нелінійною силою контактної взаємодії у віброударних системах із твердим і м'яким обмежниками коливань. Показано, що в системах із твердим обмежником можуть бути застосовані обидва способи моделювання удару, у той час як у системах з м'яким обмежником удар варто моделювати нелінійною силою контактної взаємодії й описувати її відповідно до закону Герца.

Питання моделювання удару в віброударних системах є одним з визначальних. Існують різні способи такого моделювання. Найбільш розповсюдженим є спосіб, в якому удар моделюється граничними умовами з використанням коефіцієнту відновлення. Виявляється, що такий підхід не завжди дає якісні результати [1]. Другий спосіб полягає у введенні нелінійної сили контактної взаємодії, яка діє лише під час удару і, взагалі кажучи, може бути описана різними законами [1]. В [1] виконаний аналіз застосування цих способів для однієї віброударної системи. Подивимось тепер, як ці два способи можуть бути використані для віброударних систем різних типів.

В літературі пропонуються принципи класифікації віброударних систем за різними аспектами [2], одним із яких є тип обмежника коливань. Саме цей аспект пов'язаний з можливими способами моделювання удару. Розглядалося два типи віброударних систем – системи з твердим та з м'яким обмежником коливань. Взагалі кажучи, чіткого критерію визначення, який обмежник можна вважати твердим, а який м'яким, немає. Вирішальним тут є коефіцієнт жорсткості; швидкоплинність удару та його сила обумовлюються жорсткістю тіл, які контактують. Вважається, що в системах з твердим обмежником тривалість удару є безмежно малою і коефіцієнт відновлення має постійне значення, тому удар може бути змодельований граничними умовами з використанням коефіцієнту відновлення.

В системах з м'яким обмежником, навпаки, припущення про миттєвість удару не відповідає дійсності. В своїх попередніх роботах ми

довели, що в таких системах моделювання удару граничними умовами з використанням коефіцієнту відновлення не відтворює реальну картину руху віброударної системи, удар слід моделювати лише нелінійною силою контактної взаємодії [1].

В статті порівнюються ці два способи моделювання удару для двомасових віброударних систем з двома ступнями вільності з твердим та м'яким обмежником. Її твердження базуються на результатах, що були отримані раніше [1,3-7]. Але в цій статті проблема висвітлюється з дещо іншого боку, і її висновки в якійсь мірі є підсумком попередніх досліджень.

На рис. 1 приведені схеми моделей віброударних систем. На основне тіло з масою m_1 першої системи і на нижнє тіло другої діє періодична збурююча сила $F(t) = F_0 \cos(\omega t + \varphi)$.

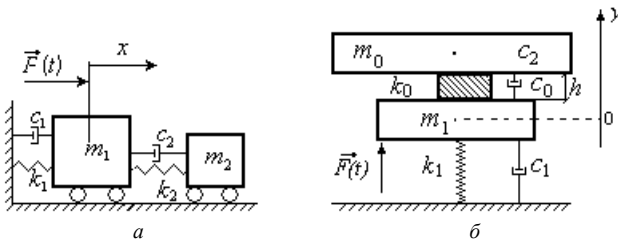


Рис. 1

Перша модель з твердим обмежником відповідає схемі тіла з ударним гасителем коливань, друга модель з м'яким обмежником – віброударному майданчику для формовання бетонних виробів та ущільнення бетонних сумішей. Докладно ці моделі описані в [7], там же приведені рівняння їхнього руху.

При моделюванні удару 1-им способом усталений одноударний режим коливань визначається такими граничними умовами: вважається, що удар одного тіла о друге відбувається в момент часу $t=0$, тобто

$$x_1(0) = x_2(0).$$

Швидкість першого тіла в момент до удару позначається \dot{x}_{1-} , у цей момент друге тіло має швидкість \dot{x}_{2-} .

Швидкість першого тіла \dot{x}_{1+} та другого тіла \dot{x}_{2+} після удару зв'язані зі швидкостями цих тіл до удару співвідношеннями [2]:

$$\begin{aligned}\dot{x}_{1+} &= \frac{(1-R\chi)\dot{x}_{1-} + \chi(1+R)x_{2-}}{1+\chi}, \\ \dot{x}_{2+} &= \frac{(1+R)\dot{x}_{1-} + (\chi-R)\dot{x}_{2-}}{1+\chi},\end{aligned}\quad (1)$$

де $\chi = \frac{m_2}{m_1}$, R – коефіцієнт відновлення, що може приймати значення в діапазоні від 0 до 1: $0 \leq R \leq 1$. При $R=1$ має місце абсолютно пружний удар, значення $R=0$ відповідає пластичному ударові.

Моделюючи удар таким чином, прямим чисельним інтегруванням рівнянь руху отримуємо для першої моделі з твердим обмежником картину руху, яка представлена на рис. 2 – переміщення обох тіл системи та їхні фазові траєкторії. Бачимо, що режим коливань усталений одноударний, швидкість тіл під час удару змінюється стрибком, на графіку переміщень добре видно, як друге (приєднане) тіло під час удару відскакує від першого (основного) тіла.

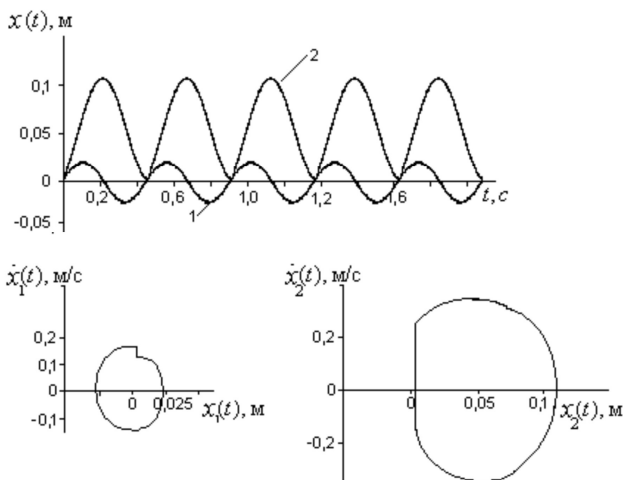


Рис. 2

Моделюючи удар цим способом для другої моделі з м'яким обмежником, одержуємо інший результат. На рис. 3 представлені переміщення форми і стола майданчика при $R=1$. Після проходження перехідного періоду режим коливань близький до усталеного, але він все ж не усталений, про що свідчать фазові траєкторії, які побудовані для процесу без перехідного періоду (рис. 3).

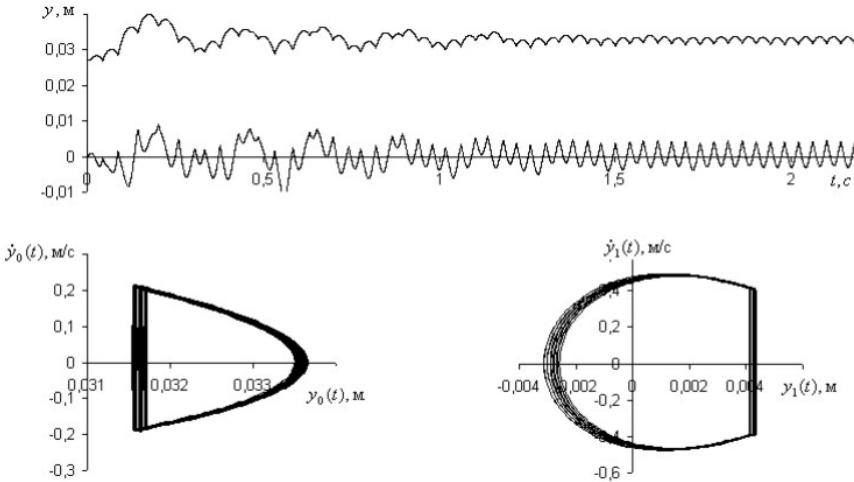


Рис. 3

Значення максимальних напіврозмахів коливань без врахування перехідного періоду відповідно дорівнюють 1,057 мм та 3,733 мм, що більше реальних величин (2–2,5 мм) [8,9]. Використання коефіцієнта відновлення, який менше 1 ($R=0,9$ і менше) не дозволяє отримати реалістичну картину руху стола майданчика та форми.

Таким чином, в системі з м'яким обмежником моделювання удару граничними умовами з використанням коефіцієнту відновлення не дає картини руху, що відповідає дійсності.

При моделюванні удару 2-им способом до розгляду вводиться нелінійна сила контактної взаємодії, яка діє лише під час удару, вона змінюється відповідно закону Герца [10]:

$$F_{\text{кон}}(t) = K\alpha(t)^{3/2}, \quad (2)$$

де $\alpha(t) = h - (y_0 - y_1)$ – відносне зближення тіл,

$$K = \frac{4}{3} \frac{q}{(\delta_0 + \delta_1)\sqrt{A+B}}, \quad \delta_0 = \frac{1-\mu_0^2}{E_0\pi}, \quad \delta_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1\pi}, \quad (3)$$

μ_i і E_i – коефіцієнти Пуасона та модулі Юнга для обох тіл, A , B і q – константи, які характеризують місцеву геометрію зони контакту.

Моделюючи удар цим способом, прямим чисельним інтегруванням рівнянь руху отримуємо для першої моделі з твердим обмежником

картину руху, яка представлена на рис. 4 – переміщення обох тіл системи, їхні фазові траєкторії та контактну силу.

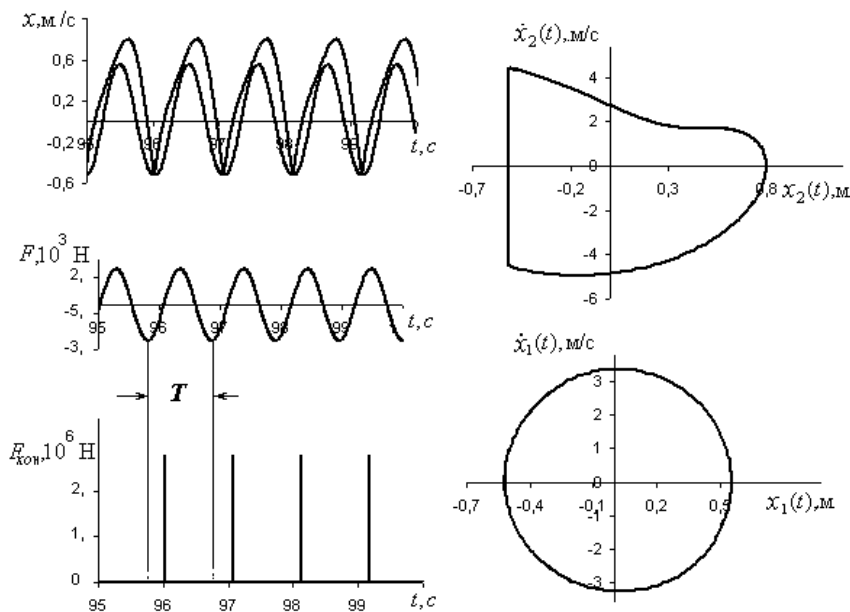


Рис. 4

Для другої моделі з м'яким обмежником картина руху представлена на рис. 5. Для обох моделей одержуємо усталений одноударний T -періодичний режим коливаль. Графіки контактної сили наочно демонструють миттєвість удару для моделі з твердим обмежником і достатню тривалість удару для моделі з м'яким. Для обох моделей отримуємо результат, який відображає дійсну картину руху.

Висновки

Моделювання удару нелінійною силою контактної взаємодії має ряд переваг в порівнянні з моделюванням граничними умовами з використанням коефіцієнту відновлення. По-перше, цей метод дозволяє отримати повну картину руху тіл віброударної системи на всій часовій осі включаючи період удару. По-друге, він не потребує окремого розглядання задач про зовнішній і внутрішній удари. По-третє, він дозволяє одержати закон зміни контактної сили та її максимальну

величину. По-четверте, користування цим методом дає можливість докладніше врахувати механічні властивості контактуючих тіл: в формулу контактної сили (2,3) входять модулі Юнга, коефіцієнти Пуасона обох тіл та константи, що характеризують місцеву геометрію зони контакту.

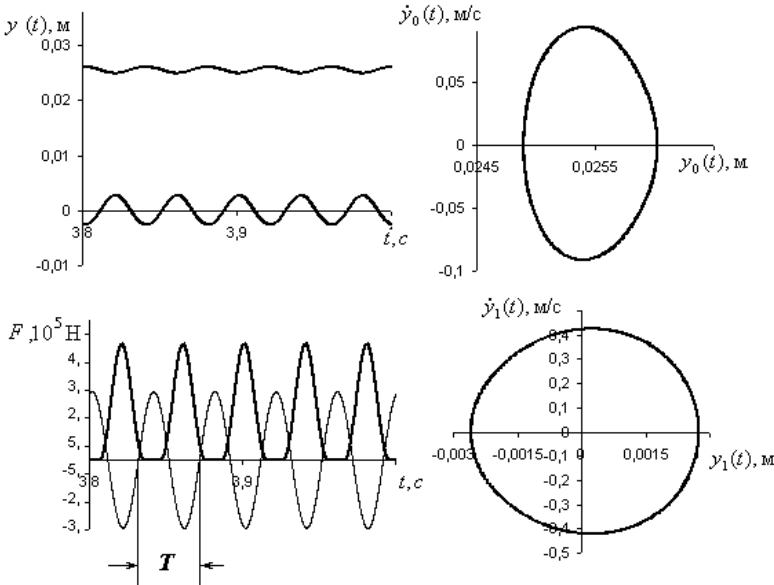


Рис. 5

В віброударних системах з твердим обмежником можуть бути застосовані обидва способи моделювання удару. Як один, так і другий дають результат, який відповідає дійсній картині руху системи. В віброударних системах з м'яким обмежником удар слід моделювати нелінійною силою контактної взаємодії. Застосування моделювання граничними умовами з використанням коефіцієнту відновлення в таких системах не дає реальної картини її руху.

Певного критерію твердості чи м'якості обмежника коливань не існує. Цей критерій визначається тривалістю удару, наскільки миттєвим можна його вважати. Тому здається доцільним в віброударних системах з будь-яким обмежником застосовувати моделювання удару нелінійною силою контактної взаємодії та описувати її законом Герца.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баженов В.А., Погорелова О.С., Постникова Т.Г., Гончаренко С.Н.* Сравнительный анализ способов моделирования контактного взаимодействия в виброударных системах //Пробл. прочности. - 2009. - №4. – С. 69-77.
2. *Barbara Blazejczyk-Okolewska, Krzysztof Czolczynski, Tomasz Kapitaniak* Classification principles of types of mechanical systems with impacts – fundamental assumptions and rules// European Journal of Mechanics. - 2004. № 23 - P.517–537.
3. *Баженов В.А., Погорелова О.С., Постникова Т.Г., Лукьянченко О.А.* Численные исследования динамических процессов в виброударных системах при моделировании удара силой контактного взаимодействия// Пробл. прочности. - 2008. - №6. – С. 82-90.
4. *Погорелова О.С., Постникова Т.Г., Гончаренко С.М.* Чисельні дослідження режимів коливань віброударних систем при моделюванні удару силою контактної взаємодії // Опір матеріалів і теорія споруд: Наук.-техн.збірник - К.:КНУБА. 2006.-Вип.78.- С.14-23.
5. *Баженов В.А., Погорелова О.С., Постникова Т.Г.* Влияние конструктивных параметров виброударной системы на ее динамику //Пробл. прочности. - 2009. –(здана до друку).
6. *Погорелова О.С., Постникова Т.Г.* Вплив параметра зовнішнього навантаження на динамічну поведінку виброударної системи з ударом о м'який обмежник // Опір матеріалів і теорія споруд: Наук.-техн.збірник - К.:КНУБА. 2009.-Вип.84 – С. 77-88.
7. *Погорелова О.С., Постникова Т.Г.* Порівняння динамічної поведінки виброударних систем різних типів // Опір матеріалів і теорія споруд: Наук.-техн.збірник - К.:КНУБА. 2010.–(здана до друку)..
8. Гусев Б.В., Зазимко В.Г. Вибрационная технология бетона. – Киев: Будівельник, 1991. – 160 с.
9. Рекомендации по вибрационному формированию железобетонных изделий//НИИЖБ. – М., 1986. – 78 с.
10. *Гольдсмит В.* Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел.– М.:Стройиздат, 1965. –448 с.

Отримано 29.06.10

Погорелова О.С., Постникова Т.Г.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ УДАРА В ВИБРОУДАРНЫХ СИСТЕМАХ С ТВЕРДЫМ И МЯГКИМ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ

Анализируется возможность моделирования удара граничными условиями с использованием коэффициента восстановления и нелинейной силой контактного взаимодействия в виброударных системах с твердым и мягким ограничителями колебаний. Показано, что в системах с твердым ограничителем могут быть применены оба способа моделирования удара, в то время как в системах с мягким ограничителем удар следует моделировать нелинейной силой контактного взаимодействия и описывать ее в соответствии с законом Герца.

Pogorelova O.S. Postnikova T.G.

DIFFERENT METHODS OF IMPACT SIMULATION IN VIBROIMPACT SYSTEMS WITH HARD AND SOFT LIMITING STOPS

The possibility of impact simulation by the limiting conditions with the use of restitution coefficient and by the nonlinear contact interaction force in the vibroimpact systems with hard and soft limiting stops is analysed. It is shown that in the systems with a hard limiting stop both methods of impact modelling can be applied, while in the systems with a soft limiting stop it is necessary to simulate the impact by the nonlinear contact interaction force and to describe it by Hertz law.