

УЗАККА СОЗУЛГАН ТААСИРИ БАР ТИТИРӨӨ БАСАНДАТУУЧУ

Т.И. Иргибает¹, Б.Г. Амйрели²

⁽¹⁾ К.И.Сатпаев атындагы Казак улуттук илимий-техникалык университетинин «Курулуш жана курулуш материалдары» кафедрасынын лекторы, т.и.к., ш.Алматы, Казакстан Республикасы, tuleukhan@mail.ru

⁽²⁾ К.И.Сатпаев атындагы Казак улуттук илимий-техникалык университетинин «Курулуш жана курулуш материалдары» кафедрасынын магистранты, ш.Алматы, Казакстан Республикасы, bagdat_amirali@mail.ru

Аннотация. Макалада узакка созулган таасири бар титирөө басаңдатуучу каралат. Өнөр жай өндүрүшүнүн интенсификациясы жана жабдуулардын кубаттуулугун жогорулатуу имараттардын жана курулмалардын фундаменттерине жана башка курулуш конструкцияларына берилүүчү динамикалык жүктөрдүн олуттуу өсүшүнө алып келет, алар сезгич жабдууларга, технологиялык процесстерге жана тейлөөчү персоналга таасир этет. Ушуга байланыштуу конструкциялардын элементтери жана курулмалар, приборлордун жана жабдуулардын элементтерин титирөөдөн жана соккунун таасиринен коргоо маселеси актуалдуу болуп калат. Макалада Лагранж теңдемесинин жардамы менен бул системанын кыймылынын дифференциалдык теңдемелеринин алынышы негизделген. Илимий иштин максаты шок термелүүсүнүн теориясын иштеп чыгуу, аларды ар кандай динамикалык жүктөмдөрдүн астында конструкцияларды жана курулмаларды титирөөдөн коргоо маселелерин чечүүдө колдонуу болуп саналат.

Өзөктүү сөздөр: шок термелүүсү, сырткы аракет фазасы, контакт фазасы, массалык кыймыл, каршылык күчтөр, эркин термелүүлөр.

УДАРНЫЙ ГАСИТЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ С ДЛИТЕЛЬНЫМИ СОУДАРЕНИЯМИ

Т.И. Иргибает¹, Б.Г. Амйрели²

⁽¹⁾ лектор кафедры «Строительство и строительные материалы» Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, к.т.н., г.Алматы, Республика Казахстан, tuleukhan@mail.ru

⁽²⁾ магистрант кафедры «Строительство и строительные материалы» Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г.Алматы, Республика Казахстан, bagdat_amirali@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается ударный гаситель колебаний с длительными соударениями. Интенсификация промышленного производства и увеличение мощностей оборудования приводят к значительному росту динамических нагрузок, передаваемых на фундаменты и другие строительные конструкции здания и сооружений, воздействующих на чувствительное оборудование, технологические процессы и обслуживающий персонал. В этой связи актуальной становится проблема защиты элементов конструкций и сооружений, приборов и оборудования от вибрационных и ударных воздействий. В статье обосновано получение дифференциальных уравнений движения данной системы с помощью уравнения Лагранжа. Целью научной работы является развитие теории ударных гасителей колебаний, их приложение к решению задач виброзащиты конструкций и сооружений при различных динамических нагрузках.

Ключевые слова: ударный гаситель колебаний, фаза внешнего воздействия, фаза контакта, движения масс, сил сопротивления, свободные колебания.

IMPACT DAMPER WITH LONG-TERM IMPACTS

T.I. Irgibayev¹, B.G. Amirali²

⁽¹⁾ lecturer of the department "Construction and building materials" Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, candidate of technical sciences, Almaty, Republic of Kazakhstan, tuleukhan@mail.ru

⁽²⁾ master student of the department "Construction and building materials" Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan, bagdat_amirali@mail.ru

Abstract. *The article considers an impact vibration damper with long impacts. The intensification of industrial production and an increase in equipment capacity lead to a significant increase in dynamic loads transferred to foundations and other building structures of buildings and structures that affect sensitive equipment, technological processes and maintenance personnel. In this regard, the problem of protecting elements of structures and structures, instruments and equipment from vibration and shock effects becomes relevant. The article substantiates the derivation of differential equations of motion of this system using the Lagrange equation. The purpose of the scientific work is the development of the theory of shock vibration dampers, their application to solving problems of vibration protection of structures and structures under various dynamic loads.*

Keywords: *shock vibration damper, phase of external action, phase of contact, mass movement, resistance forces, free vibrations.*

Разработка средств и способов уменьшения уровня колебаний является одной из важнейших научно-технических проблем в различных областях техники - судостроении, авиастроении, транспортном машиностроении, строительстве и других. Для снижения уровня колебаний применяются различные средства и способы: пассивная и активная виброизоляция, балансировка и уравнивание возмущающих нагрузок механизмов, экранирование упругих волн, распространяющихся от источника вибрации, изменение соотношения между частотами возмущения и собственными частотами конструкции с целью отстройки от резонансов, демпфирующие покрытия, различные демпферы, разнообразные гасители колебаний, конструкционное демпфирование, жесткие и упругие ограничители хода и другие.

Способ определения периодических колебаний многомассовых систем, сопровождающихся соударениями некоторых масс, позволяет оценить влияние диссипативных сил в отдельных звеньях системы, что имеет важное практическое значение для решения задач теории ударного виброгашения, теории виброударных систем и динамики сооружений. Важным аспектом проектирования гасителей колебаний является задача оптимизации параметров и оценка их эффективности при различных динамических воздействиях. Полученные в работе численные результаты позволяют решать ряд задач подбора параметров ударных гасителей колебаний с вязким или частотно независимым трением при нестабильной частоте гармонических и импульсивных воздействий. Большое внимание уделяется поведению амплитудно-частотных и импульсно-частотных характеристик системы, по виду которых может быть дано заключение о возможности использования метода ударного виброгашения.

Рассматривается ударный гаситель колебаний с длительными соударениями.

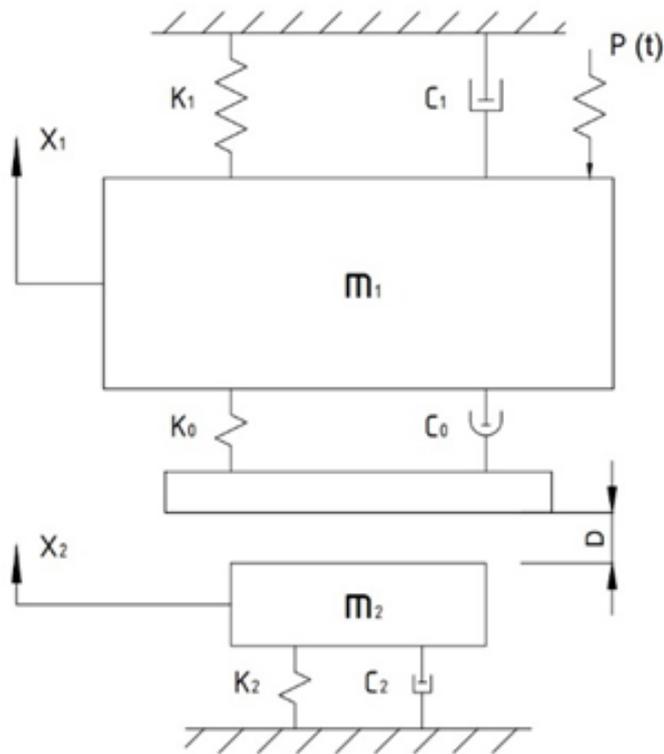


Рисунок 1 – Расчетные схемы данной задачи

$$P(t) = P_0 \sin(\theta t + \varepsilon)$$

Предлагается, что в пределах каждого периода изменения нагрузки движение масс сопровождается одним длительным соударением. ε – фаза внешнего воздействия, соответствующая началу совместного движения масс защищаемого объекта и гасителя при $t = 0$. Уравнения движения в пределах фазы отсутствия контакта:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + C_1 \dot{x}_1 + K_1 x_1 = -P_0 \sin(\theta t + \varepsilon) \\ m_2 \ddot{x}_2 + C_2 \dot{x}_2 + K_2 x_2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Обозначим:

$$\begin{aligned} K_1/m_1 = \omega_1^2; \quad K_2/m_2 = \omega_2^2; \quad C_1/m_1 = 2h_1; \quad C_2/m_2 = 2h_2; \\ K_0/K_1 = \beta_0; \quad C_0/C_1 = \alpha_0; \quad \omega_2/\omega_1 = S; \quad m_2/m_1 = \mu. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда система (1) принимает вид:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2h_1 \dot{x}_1 + \omega_1^2 x_1 = -\frac{P_0}{m_1} \sin(\theta t + \varepsilon) \\ \ddot{x}_2 + 2h_2 \dot{x}_2 + \omega_2^2 x_2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Составим уравнения движения системы в пределах фазы контакта; сначала при отсутствии сил сопротивления. Будем исходить из уравнения Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} = Q_i \quad (i = 1, 2) \quad (4)$$

Кинетическая энергия системы:

$$T = \frac{m_1 \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_2 \dot{x}_2^2}{2} \quad (5)$$

Потенциальная энергия системы:

$$\Pi = \frac{1}{2}K_1x_1^2 + \frac{1}{2}K_2x_2^2 + \frac{1}{2}K_0(x_2 - x_1 - D)^2 \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right) = m_1\ddot{x}_1; \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right) = m_2\ddot{x}_2; \quad \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0 \quad (i = 1,2)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x_1} = K_1x_1 - K_0(x_2 - x_1 - D); \quad \frac{\partial \Pi}{\partial x_2} = K_2x_2 + K_0(x_2 - x_1 - D).$$

т. о.

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + K_1x_1 + K_0(x_1 - x_2) = P(t) - K_0D \\ m_2\ddot{x}_2 + K_2x_2 + K_0(x_2 - x_1) = K_0D \end{cases}$$

С учетом сил сопротивления:

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + C_1\dot{x}_1 + C_0(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + K_1x_1 + K_0(x_1 - x_2) = -P_0 \sin(\theta t + \varepsilon) - K_0D \\ m_2\ddot{x}_2 + C_2\dot{x}_2 + C_0(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + K_2x_2 + K_0(x_2 - x_1) = K_0D \end{cases} \quad (7)$$

С учетом обозначений (2) получим:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2h_1\dot{x}_1 + 2h_1\alpha_0(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \omega_1^2x_1 + \beta_0\omega_1^2(x_1 - x_2) = -\frac{P_0}{m_1}\sin(\theta t + \varepsilon) - \beta_0\omega_1^2D \\ \mu\ddot{x}_2 + 2h_2\dot{x}_2\mu + 2h_1\alpha_0(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + \mu\omega_2^2x_2 + \beta_0\omega_1^2(x_2 - x_1) = \beta_0\omega_1^2D \end{cases} \quad (8)$$

Рассмотрим свободные колебания системы в пределах фазы контакта:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2h_1\dot{x}_1 + 2h_1\alpha_0(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \omega_1^2x_1 + \beta_0\omega_1^2(x_1 - x_2) = -\beta_0\omega_1^2D \\ \mu\ddot{x}_2 + 2h_2\dot{x}_2\mu + 2h_1\alpha_0(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + \mu\omega_2^2x_2 + \beta_0\omega_1^2(x_2 - x_1) = \beta_0\omega_1^2D \end{cases} \quad (9)$$

Частное решение системы уравнений (9) разыскиваем в виде:

$$x_1 = Ae^{\lambda t}; \quad x_2 = KAe^{\lambda t} \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получаем два уравнения относительно параметра К:

$$\begin{cases} (\lambda^2 + 2h_1\lambda + 2h_1\alpha_0\lambda + \omega_1^2 + \beta_0\omega_1^2) - (2h_1\alpha_0\lambda + \beta_0\omega_1^2)K = 0 \\ -(2h_1\alpha_0\lambda + \beta_0\omega_1^2) + (\mu\lambda^2 + 2\mu h_2\lambda + 2h_1\alpha_0\lambda + \mu\omega_2^2 + \beta_0\omega_1^2)K = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Отсюда:

$$K = \frac{\lambda^2 + 2h_1\lambda(1 + \alpha_0) + \omega_1^2(1 + \beta_0)}{2h_1\alpha_0\lambda + \beta_0\omega_1^2} = \frac{2h_1\alpha_0\lambda + \beta_0\omega_1^2}{\mu\lambda^2 + 2(\mu h_2 + h_1\alpha_0)\lambda + \mu\omega_2^2 + \beta_0\omega_1^2} \quad (12)$$

Из (12) следует уравнение относительно λ :

$$\begin{aligned} & [\lambda^2 + 2h_1\lambda(1 + \alpha_0) + \omega_1^2(1 + \beta_0)][\mu\lambda^2 + 2(\mu h_2 + h_1\alpha_0)\lambda + \mu\omega_2^2 + \beta_0\omega_1^2] - \\ & -(2h_1\alpha_0\lambda + \beta_0\omega_1^2)^2 = \\ & 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Перейдем к безразмерным параметрам:

$$\gamma = \frac{\lambda}{\omega_1}; \quad \beta_1 = \frac{h_1}{\omega_1}; \quad \beta_2 = \frac{h_2}{\omega_1}; \quad \frac{\omega_2}{\omega_1} = S \quad (14)$$

Тогда получим

$$\begin{aligned} & \mu\gamma^4 + 2[\mu\beta_1(1 + \alpha_0) + (\beta_2\mu + \beta_1\alpha_0)]\gamma^3 + [\mu(1 + \beta_0) + (\mu S^2 + \beta_0) + 4\beta_1(1 + \alpha_0) \\ & (\beta_2\mu + \beta_1\alpha_0) - 4\beta_1^2\alpha_0^2]\gamma^2 + [2(1 + \beta_0)(\beta_2\mu + \beta_1\alpha_0) + 2\beta_1(1 + \alpha_0)(\beta_0 + \mu S^2) - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -4\beta_1\beta_0\alpha_0]\gamma + [(1 + \beta_0)(\mu S^2 + \beta_0) - \beta_0^2] \\ = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Из решения уравнения (16) находим корни:

$$\begin{aligned} \gamma_{1,2} = \delta_1 \pm ip_1; \quad \gamma_{3,4} = \delta_2 \pm \\ ip_2; \end{aligned} \quad (16)$$

Из (12) находим комплексно-сопряженные величины:

$$\bar{K}_v = \eta_v + ix_v = \frac{\gamma_v^2 + 2\beta_1\gamma_v(1 + \alpha_0) + (1 + \beta_0)}{2\beta_1\alpha_0\gamma_v + \beta_0} \quad (17)$$

$$K_v = \sqrt{\eta_v^2 + x_v^2} \quad (18)$$

Частное решение неоднородного уравнения (9):

$$x_1^*(t) = D_1; \quad x_2^*(t) = D_2 \quad (19)$$

Подставляя (19) в (9), находим:

$$\begin{cases} \omega_1^2 D_1 + \beta_0 \omega_1^2 D_1 - \beta_0 \omega_1^2 D_2 = -\beta_0 \omega_1^2 D \\ \mu \omega_2^2 D_2 + \beta_0 \omega_1^2 D_2 - \beta_0 \omega_1^2 D_1 = \beta_0 \omega_1^2 D \end{cases}$$

$$D_1 = \frac{\beta_0^2 D + \beta_0^2 D - \mu S^2 \beta_0 D}{\beta_0 + \beta_0^2 + \mu S^2 + \mu S^2 \beta_0 - \beta_0^2} = \frac{-\mu S^2 \beta_0 D}{\mu S^2 (1 + \beta_0) + \beta_0};$$

$$D_2 = \frac{\beta_0 D (1 + \beta_0 - \beta_0)}{\mu S^2 (1 + \beta_0) + \beta_0} = \frac{\beta_0 D}{\mu S^2 (1 + \beta_0) + \beta_0};$$

т. о.

$$x_1^*(t) = \frac{-\mu S^2 \beta_0 D}{\mu S^2 (1 + \beta_0) + \beta_0}; \quad x_2^*(t) = \frac{\beta_0 D}{\mu S^2 (1 + \beta_0) + \beta_0} \quad (20)$$

В статье обосновано получение дифференциальных уравнений движения данной системы с помощью уравнения Лагранжа. Рассмотрены свободные колебания системы в пределах фазы контакта. Рассмотренный ударный гаситель колебаний с длительными соударениями имеет хорошие перспективы применения в строительстве, оно все же нуждается в дальнейших исследованиях и имеет много сложных практических вопросов, которые необходимо оценить и решить.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алимжанов А.М., Иргиев Т.И., Ахметжанова К.М.** Колебания фундамента с демпфером сухого трения и ударным гасителем колебаний. //Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития нефтяной промышленности Казахстана». – Алматы: КазНТУ, 2005.
2. **Дукарт А.В.** Способ построения периодических режимов движения много массовых виброударных систем и его приложение к расчету ударного гасителя колебаний с демпфированием //Проблемы машиностроения и надежности машин. - 1993. - № 3. - С. 16-22.
3. **Вайнберг Д.В., Писаренко Г.С.** Механические колебания и их роль в технике. –М.: Наука, 1965. - 276 с.
4. **Ананьев И.В., Колбин Н.М.** Физические основы ударного демпфирования механических колебаний //Научные труды вузов Литовской ССР. Вибротехника. – 1971. - № 2 (15). – С.203-225.
5. **Бабаков И.М.** Теория колебаний. - М.: ГИТТЛ, 1958. - 628 с.
6. **Дукарт А. В., Иргиев Т.И.** О применении ударных гасителей колебаний для виброзащиты фундаментов под машины //Тез. докл. научн.-техн. конф. «Молодые ученые - ускорению науч.-техн. прогр. и разв. науки». -Рудный: 1988. - С.65-66.
7. **Иргиев Т.И., Кумар Б.К., Сагадиева Г.Т.** Использование ударного гасителя для виброзащиты системы в виде ограничителя колебаний //Материалы международной научно-технической конференции «Достижения науки в области строительной механики и инженерных сооружений». – Алматы: КазАТК, 2005. - Т.2. - С.81-84.
8. **Ивович В.А., Онищенко В.Я.** Защита от вибрации в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1990. - 272 с
9. **Ишуткин В.И.** Экспериментальное исследование ударных виброгасителей //Тр. Омского машиностроительного института. - Омск: Обл. книжн. изд-во, 1958. - Вып.2. - С. 155-162.
10. **Иргиев Т.И., Кумар Б.К., Сагадиева Г.Т.** Исследование влияния параметров ударного гасителя колебаний на защищаемую систему //Сб. трудов междунар. конф. «Теоретические и экспериментальные исследования строительных конструкций». - КазГАСА, 2007. –С.75-77.