

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕЁ

Мачихо Д.В., Сакевич В.Н.

УО «Витебский государственный технологический университет»

При разработке ультразвуковых технологий для достижения положительного эффекта часто возникает необходимость создания определенного спектра колебаний в объектах различного технологического назначения [1]. В данной работе экспериментально изучены спектры колебаний стержневой конструкции после импульсного воздействия на неё как периодическими, так и одиночными импульсами.

На рисунке 1 представлена схема стержневой конструкции, разработанной для проведения исследований. В металлический корпус в виде трубчатого цилиндра вкле-

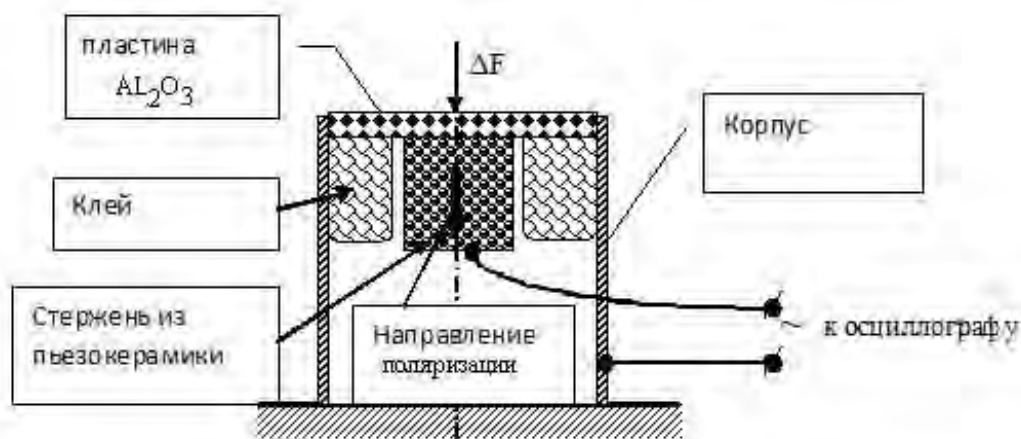


Рис. 1. Схема стержневой конструкции

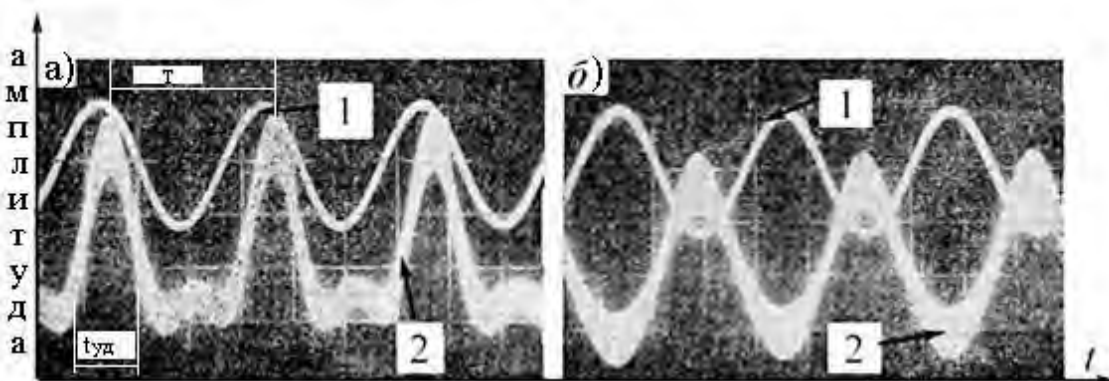


Рис. 2. Осциллограммы колебательных режимов стержневой системы при периодическом внешнем воздействии: а — ударный режим воздействия, б — безударный, 1- сигнал с генератора возбуждения колебаний ультразвукового преобразователя, 2 — колебания стержневой системы

ена эпоксидным клеем металлизированная с одной стороны круглая пластинка из Al_2O_3 толщиной 2 мм. Металлизированная сторона пластины с помощью пайки соединялась с корпусом, а затем пластину жестко фиксировали с корпусом эпоксидным клеем. К металлизированной стороне пластины приклеивали токопроводящим клеем стер-

жень длиной 6,5мм круглого поперечного сечения из пьезокерамического материала цирконата титаната свинца (ЦТС 850), поляризованного, как показано на рисунке 1. Периодическое воздействие на пластину из Al_2O_3 осуществляли торцом волновода ультразвукового преобразователя с частотой $f=18$ кГц или периодом - $T = 56 \cdot \mu\text{с}$ [1]. На рисунке 2 приведены осциллограммы колебательных режимов стержневой системы. Анализ осциллограмм показывает, что периодическое воздействие на пластину можно осуществить в двух режимах.

Первый режим – виброударный (рис.2,а), когда воздействие торца волновода ультразвукового преобразователя на стержневую систему осуществлялось с разрывом контакта взаимодействующих элементов. Кривая 2 на такой осциллограмме представляла собой сигнал, возникающий при ударе торцом волновода ультразвукового преобразователя по пластине и последующих затухающих собственных колебаниях стержневой системы. При таких режимах время удара торцом волновода ультразвукового преобразователя по пластине стержневой системы составляло $t_{\text{уд}} = 0,46 T = 26$ мкс.

Второй режим – безударный (рис.2,б), когда воздействие торца волновода ультразвукового преобразователя на стержневую систему осуществлялось в безотрывном режиме в зоне контакта взаимодействующих элементов. В режимах виброударного типа (рис. 2, а) сила взаимодействия носит импульсный характер с частотой равной частоте колебаний ультразвукового преобразователя и шириной импульса равной времени удара $t_{\text{уд}}=26$ мкс. Спектр колебаний стержневой конструкции согласно теореме сложения [2] будет представлен двумя частотами - частотой $f=18$ кГц виброударных колебаний равной частоте колебаний торца волновода ультразвукового преобразователя и частотой $f_0 = 156$ кГц собственных продольных колебаний стержня. При безотрывном режиме движения взаимодействующих элементов в зоне контакта (рис.2,б) колебания в стержневой системе осуществлялись с частотой равной частоте колебаний ультразвукового преобразователя. В обоих случаях основной спектр колебаний являлся дискретным. Отметим, что между периодическими сигналами и их частотными спектрами существует взаимно-однозначное соответствие: периодический сигнал полностью определяет её частотные спектры и, наоборот, имея частотные спектры, можно определить, какому периодическому сигналу они принадлежат [2].

Воздействие на стержневую конструкцию одиночным импульсом создавалось следующим образом. На поверхности параллелепипеда из оргстекла с размерами 400x400x120 мм фокусировался короткий лазерный импульс с длиной волны излучения $\lambda= 0,53$ мкм и длительностью импульса $\tau=6$ нс. Генерируемый при этом в оргстекле акустический импульс имел N-образную форму, его длительность была менее 1 мкс, и фронт распространения представлял собой полусферу. С противоположной стороны параллелепипеда в центре к нему приклеивалась стержневая конструкция. Сигнал от параллелепипеда из оргстекла на стержень передавался через пластину из Al_2O_3 . Сигналы со стержневой конструкции поступали на аналого-цифровой преобразователь, имеющий частоту дискретизации 100 МГц и управляемый персональным компьютером. Для получения спектральных характеристик использовалась программа анализатора спектров в пакете программ MATLAB. На рисунке 3 представлена осциллограмма регистрируемого сигнала, а на рисунке 4 его спектральная характеристика (амплитудно-частотная).

Как видно из рисунка 4 спектр от одиночного импульса является сплошным и занимает достаточно широкую частотную область в пределах от 60 кГц до 600 кГц при собственной частоте продольных колебаний стержня $f_0 = 156$ кГц. Вторая особенность колебаний стержневой конструкции от воздействия одиночного импульса это ярко выраженные резонансы порядка 8 видов различных форм колебаний, которые возникают в стержневой конструкции. На спектральной характеристике (рис. 4) резонансы раз-

личных форм колебаний отображаются в виде локальных максимумов сигнала и пронумерованы цифрами в порядке возрастания частоты.

Непериодические (стохастические) сигналы также характеризуются непрерывным, сплошным спектром частот, в то время как периодические — дискретным или линейчатым спектром. Если последовательность повторяющихся импульсов непериодична, то связи между спектрами установить нельзя, но если импульсы одинаковы и повторяются беспорядочно, то такая связь существует [2].

Вопрос о соотношении между длительностью импульса Δt и шириной его спектра Δf имеет громадное практическое значение. Известно, что чем короче импульс, тем

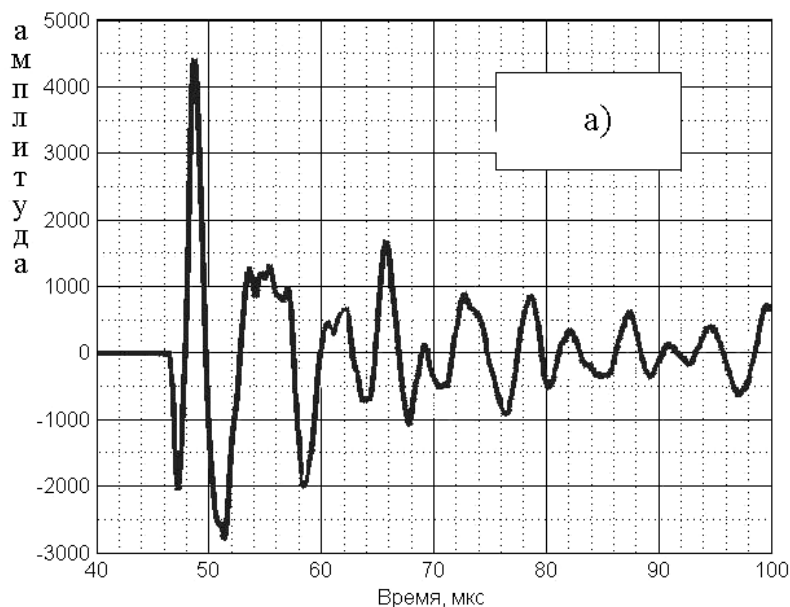


Рис. 3. Осциллограмма колебательных режимов стержневой системы при воздействии одиночным импульсом

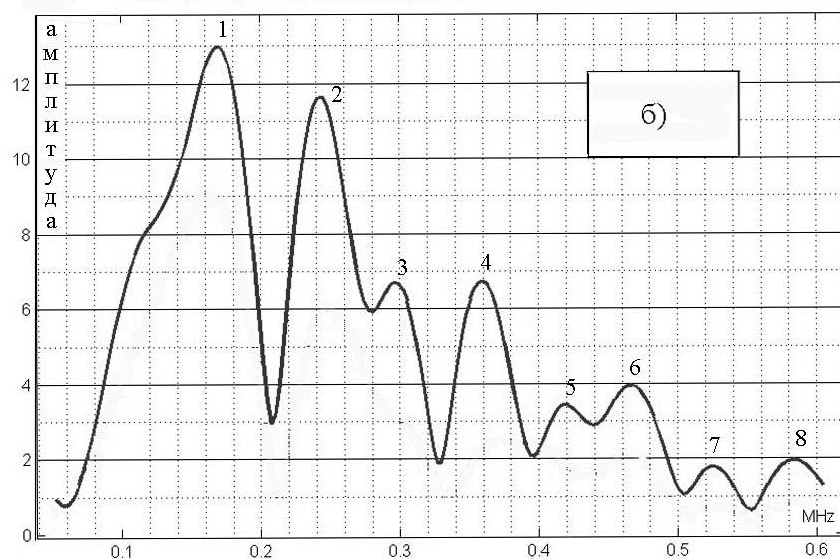


Рис. 4. Спектральная характеристика стержневой системы при воздействии одиночным импульсом

шире его спектр, в частности, бесконечно короткий импульс имеет бесконечно протяженный спектр с равной плотностью [2]. В инженерной практике принимают в первом приближении независимо от формы сигнала: $\Delta t \cdot \Delta f \approx 1$ [2].

Оценим максимальную ширину спектра при длительности импульса $\Delta t = t_{уд} = 26$ мкс при воздействии одиночным импульсом с длительностью равной времени удара при виброударном взаимодействии: $\Delta f \approx 10^6/26 \approx 38,5$ кГц. Как видим, что при воздействии одиночным импульсом с длительностью импульса $\Delta t = t_{уд} = 26$ мкс мы не сможем получить весь спектр колебаний, который представлен на рис. 4. Чтобы в стержневой системе проявились все резонансы, отмеченные на рис. 4, время удара должно быть порядка 2 мкс или $T/28$ и ударное воздействие не должно быть периодическим. В этом случае в сплошном спектре частот с разной плотностью найдутся резонансные частоты, на которые отреагирует стержневая система всеми 8 резонансами.

Встает вопрос, какой сигнал ударного воздействия считать периодическим, а какой нет. На практике должно быть так, чтобы период ударного воздействия $T_{уд}$ был больше времени необходимого для полного затухания возникших колебаний $\tau_{зат}$ от предыдущего воздействия. Время полного затухания $\tau_{зат}$ определяется следующим соотношением [3]: $\tau_{зат} = 1/(f_0 d)$, где $d = \pi/Q$ - логарифмический декремент затухания колебаний в стержневой системе, Q - её добротность. Для пьезоматериала из цирконата титаната свинца (ЦТС 850) $Q = 80$ [4]. После вычислений получим оценку для времени полного затухания возникших колебаний в стержневой системе: $\tau_{зат} = 163,2$ мкс. Условие на период ударного воздействия, при котором стержневой системой периодическое ударное воздействие будет восприниматься, как одиночные импульсы будет следующее: $T_{уд} > 163,2$ мкс. Соответственно получается максимальная частота ударного периодического воздействия, при которой стержневая система периодическое воздействие будет воспринимать как одиночные импульсы и спектр частот будет сплошным определится как $f_{уд} \leq 6,1$ кГц.

Таким образом, для получения в изделии сплошного спектра колебаний необходимо на него воздействовать одиночными ударными импульсами с частотой $f_{уд} \leq 6,1$ кГц либо непериодическими, а стохастическими ударными импульсами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев, В.В. *Ультразвуковые виброударные процессы* / В.В. Артемьев, В.В. Клубович, В.Н. Сакевич. - Мн.: БНТУ, 2004. - 258 с.
2. Харкевич, А.А. *Спектры и анализ* – Серия: "Классика инженерной мысли: радиотехника". Изд-во: ЛИБРОКОМ, 2009. – 240 с.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Логарифмический_декремент_колебаний
4. <http://www.symmetron.ru/suppliers/apc/>