

К ПРОВЕРКЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РЕЗОНАНСА В ПОЛУОГРАНИЧЕННЫХ ОБЛАСТЯХ

В [1–6] впервые теоретически обнаружено и объяснено явление высокочастотного резонанса в полуограниченных упругих средах с неоднородностями. Установлено, что причиной резонансов является локализация вибрационного процесса в окрестности неоднородности. Сформулированы в различных формах условия локализации вибрационного процесса в упругом слое для таких типов неоднородностей, как полости – трещины и жесткие включения, в частности, для штампов, когда включения выходят на границу. Найдены асимптотические представления для размеров как плоских, так и круглых полостей – трещин и включений, обеспечивающих локализацию вибрационного процесса, без которой высокочастотный резонанс невозможен.

В настоящей работе с помощью численных методов, позволяющих с заданной точностью решать смешанные задачи для сред с неоднородностями, проведен анализ одной из задач, рассмотренных в [1–5]. Именно, рассмотрена задача о вибрации массивного круглого штампа на упругом слое, контактирующего со средой без трения.

Изучена волновая картина для частот ω выше критической ω^* , т. е. в той области, в которой по теории Образцова – Воровича – Бабешко должен существовать эффект локализации вибрационного процесса. В качестве критерия его появления принято отсутствие сдвига фаз при колебании штампа.

Расчеты не только подтвердили существование локализации, а следовательно и резонансов в закрытой области, но также показали и очень высокую точность асимптотических формул, характеризующих размеры штампов, приводящих к локализации вибрационного процесса. Таким образом, другим путем получено подтверждение существования явления высокочастотного резонанса в полуограниченных областях.

Изложим сказанное более детально. Рассматривается задача о колебании штампа массы m , контактирующего без трения с поверхностью упругого слоя, с жестко заделанной нижней гранью. Вертикальные перемещения $w e^{-i\omega t}$ определяются выражением

$$w = F / (P_1 - \omega^2 m), \quad P_1 = P / w, \quad P = 2\pi \int_0^a \sigma_z(r) r dr \quad (1)$$

Здесь F – главный вектор сил, приложенных к штампу, P_1 – динамическая контактная жесткость слоя, P – главный вектор контактных напряжений σ_z , a – радиус штампа, ω – круговая частота колебаний.

Все размерные величины отнесены к толщине слоя h , скорости S -волн v_s , плотности ρ или к выраженным через данные три единицам измерения.

Контактная жесткость $P_1 = |P_1| e^{i\theta}$ характеризуется амплитудой $|P_1|$ и фазой θ . Необходимым условием возможности возникновения неограниченных резонансов является обращение в нуль фазы: $\theta = 0$. В этом случае резонанс наблюдается при $m\omega^2 = |P_1|$.

В [5] показано, что условие $\theta = 0$ в диапазоне существования одной бегущей волны реализуется при определенной ширине полосового штампа. Аналогичное асимптотическое представление для радиуса кругового круглого штампа, обеспечивающего выполнение условия $\theta = 0$ имеет вид [4]:

$$a_m = [\pi(m + 1/4) - \arg K_0^+(z_1)] / z_1 + O(m^{-1}), \quad m \rightarrow \infty \quad (2)$$

Здесь z_1 – первый (вещественный) нуль символа ядра интегрального уравнения $K(u)$; выражения $K(u)$, $K_0^+(u)$ даны в [4].

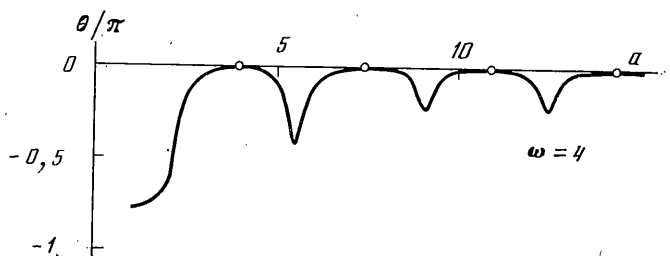
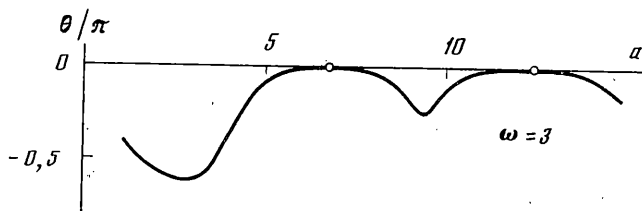
Для расчетов по формуле (1) использован пакет программ¹, позволяющий с высокой точностью определить величину контактной жесткости P_1 для круглого штампа. На фигуре приведены графики зависимости θ от a для упругого слоя с коэффициентом Пуассона $\nu = 0,48$ в диапазоне существования одной бегущей волны $1,57 < \omega < 4,4$. Значение a_m , которые даются формулой (2), нанесены кружочками.

Видно, что с ростом a происходит чередование безрезонансных и резонансных зон, причем период появления резонансов совпадает с тем, который дается формулой (2). Отметим также, что в достаточно широкой окрестности резонанса $\theta \approx 0$. Для этих значений a возможен хоть и ограниченный, но очень острый резонанс перемещений.

Понять физическую природу возникновения чисто упругой реакции слоя помогает анализ линий тока энергии, отдаваемой колеблющимся штампом в слой. Результаты расчетов² показывают, что хотя вдали от источника в случае одной бегущей

¹ См. Глушков Е. В., Глушкова Н. В. Динамическая реакция упругого слоя; сопоставление точного и приближенного подходов. Краснодар, КГУ. 1989. 38 с. – Деп. в ВИНИТИ 07.04.89, № 2250–В89.

² См. Глушков Е. В., Глушкова Н. В., Кириллова Е. В. Линии тока энергии в упругом слое. Краснодар, КГУ. 1989. 39 с. – Деп. в ВИНИТИ 07.04.89, № 2249–В89.



волны линии тока энергии, осредненной за период колебаний, строго горизонтальны, вблизи поток энергии, излучаемый штампом вниз, отражаясь от нижней грани слоя, образует замкнутый вихрь энергии. В случае, когда $\theta=0$, вертикальный размер данного вихря, очевидно, становится равным толщине слоя и отток энергии на бесконечность, обуславливающий наличие демпфирующей составляющей его реакции, прекращается. Как и в диапазоне $\omega < \omega^*$ реакция слоя становится такой же, как и у тела конечных размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабешко В. А., Ворович И. И., Образцов И. Ф. Явление высокочастотного резонанса в полуограниченных телах с неоднородностями // Изв. АН СССР. МТТ. 1990. № 3. С.
2. Образцов И. Ф., Ворович И. И., Бабешко В. А. Явление высокочастотного резонанса в полуограниченных телах с неоднородностями // Динамические задачи механики сплошной среды: Тез. докл. Региональной конф. Краснодар: Кубан. ун-т, 1988. Ч. 2. С. 26.
3. Babeshko V. A., Obratsov I. Ph., Vorovich I. I. The peculiarity of vibration process localization in Semi-restricted regions. Материалы симпозиума по распространению упругих волн и ультразвуковым неразрушающим методам контроля. Боулдер, США, 1989.
4. Образцов И. Ф., Бабешко В. А. О некоторых особенностях колебания полуограниченных областей // Докл. АН СССР. 1989. Т. 305. С. 306–309.
5. Бабешко В. А. Высокочастотный резонанс массивного штампа // Докл. АН СССР. 1989. Т. 306. № 6. С. 1328–1332.
6. Бабешко В. А. К проблеме динамического разрушения трещиноватых слоистых тел // Докл. АН СССР. 1989. Т. 307. № 2. С. 324–328.

Краснодар

Поступила в редакцию
20.II.1990

УДК 539.3

© 1990 г.

И. В. АНДРОНОВ, Б. П. БЕЛИНСКИЙ

О ПОТОКАХ ЭНЕРГИИ В ОКРЕСТНОСТИ КОНЦА ТРЕЩИНЫ В ИЗГИБНО КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ПЛАСТИНЕ

Установлено отсутствие поглощения и излучения энергии концом трещины в упругой изгибно колеблющейся пластине при наличии особенности перерезывающих сил. Исследовано сложное перераспределение потоков энергии у конца трещины. Приведены рассчитанные в старшем приближении линии токов.

При исследовании статических и динамических задач теории тонких пластин отмечено, что поперечные силы у концов трещин или тонких включений имеют, вооб-