

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2016 Issue: 12 Volume: 44

Published: 25.12.2016 <http://T-Science.org>

SECTION 7. Mechanics and machine construction.

Andrey A. Pan'kov
Leading Researcher of
Scientific & Educational Center
for Aviation Composite Technologies
of State Perm National Research Polytechnic University
a_a_pankov@mail.ru

Aleksandr N. Anoshkin
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of Department of the mechanics
of composite materials and structures
of State Perm National Research Polytechnic University
anoshkin@pstu.ru

Pavel V. Pisarev
Ph.D., Department of the mechanics
of composite materials and structures
of State Perm National Research Polytechnic University
pisarev85@live.ru

ACOUSTIC RESONANCE IN THE CYLINDRICAL TWO-CHAMBER CELL WITH THE ELASTIC PERMEABLE MEMBRANE

Abstract: For the purpose of expansion of a resonant range of working frequencies of cells of sound-absorbing cellular panels the mathematical models of oscillatory acoustic processes in an open cylindrical two-chamber cell with a cross round partition or a membrane taking into account its permeability, elasticity and deflections caused by action of harmonious external acoustic pressure with the set circular frequency and amplitude are considered. In models the mass of air in the open first camera is concentrated in the top section or "piston" at an entrance to a cell; and energy dissipation we don't consider the mass of a membrane, air in the second camera yet. The system of the differential equations of the compelled fluctuations for finding of shift, increments of pressure in both cameras of a cell is received. Analytical solutions for pressure in open top and lower closed by membrane cameras are found and amplitude-frequency characteristics of various cells with a easily permeable rigid membrane, with an impenetrable rigid membrane and an impenetrable elastic membrane are calculated. For adaptation to a wide range of noise suppression for a cell with an impenetrable elastic membrane optimum resonant values of coefficient of flexural rigidity of a membrane as monotonously increasing function from the frequency of acoustic noise at an entrance to a cell are found.

Key words: aeroacoustics, resonant cell, membrane, compelled fluctuations, noise-absorbing, mathematical model.

Language: Russian

Citation: Pan'kov AA, Anoshkin AN, Pisarev PV (2016) ACOUSTIC RESONANCE IN THE CYLINDRICAL TWO-CHAMBER CELL WITH THE ELASTIC PERMEABLE MEMBRANE. ISJ Theoretical & Applied Science, 12 (44): 55-61.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-44-12> **Doi:**  <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.12.44.12>

АКУСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДВУХКАМЕРНОЙ ЯЧЕЙКЕ С УПРУГОЙ ПРОНИЦАЕМОЙ МЕМБРАНОЙ

Аннотация: С целью расширения резонансного спектра рабочих частот ячеек звукопоглощающих сотовых панелей рассмотрены математические модели колебательных акустических процессов в открытой цилиндрической двухкамерной ячейке с поперечной круглой перегородкой или мембраной с учетом ее проницаемости, упругости и прогибов, обусловленные действием гармонического внешнего акустического давления с заданной круговой частотой и амплитудой. В моделях масса воздуха в открытой первой камере сосредоточена в верхнем сечении или «поршне» у входа в ячейку; массы мембраны, воздуха во второй камере и диссипацию энергии пока не учитываем. Получена система дифференциальных уравнений вынужденных колебаний для нахождения смещения, приращений давлений в обеих камерах ячейки. Найдены аналитические решения для давлений в открытой верхней и нижней закрытой мембраной камерах и рассчитаны амплитудно-частотные характеристики различных ячеек с легко проницаемой жесткой мембраной, непроницаемой жесткой мембраной и непроницаемой упругой



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

мембраной. Для адаптации к широкому спектру шумоглушения для ячейки с непроницаемой упругой мембраной найдены оптимальные резонансные значения коэффициента изгибной жесткости мембраны как монотонно возрастающей функции от частоты акустического шума у входа в ячейку.

Ключевые слова: аэроакустика, резонансная ячейка, мембрана, вынужденные колебания, шумопоглощение, математическая модель.

Введение

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми Международной организацией гражданской авиации к нормам на шум авиационных двигателей [1, с.15; 2, с.40; 3, с. 25], возникает необходимость в разработке новых эффективных методов по снижению шума [4, с.26; 5, с.82; 6, с. 33; 7, с.3501; 8, с.9; 9, с.10; 10]. Изучение акустических свойств звукопоглощающих конструкций являются предметом исследований многих отечественных и зарубежных ученых. Перспективным путем решения данной задачи является использование резонансных звукопоглощающих сотовых панелей, устанавливаемых в канале воздухозаборника и во внешнем контуре двигателя. Принцип действия звукопоглощающих сотовых панелей основан на эффекте поглощения и рассеяния излучения отдельными резонансными ячейками. Акустическая шумовая волна входит через

отверстия (перфорации) в обшивке панели в ячейку и, после некоторой задержки внутри, выходит из нее в противофазе к шуму и гасит его благодаря эффекту деструктивной интерференции. Однако, эффективность работы резонансной ячейки ограничена узким спектром частот в окрестности одной резонансной частоты ячейки. Поэтому, актуальным является разработка резонансных ячеек с эффективным шумоглушением в широком диапазоне рабочих частот.

1. Общие соотношения

Для наглядности изложения, рассматриваем (рис.1,а) модель вынужденных колебаний без диссипации энергии, считая, что масса воздуха в 1-й открытой камере m сосредоточена в верхнем сечении «поршне» у входа в ячейку; массы мембраны и воздуха во 2-й камере пока не учитываем.

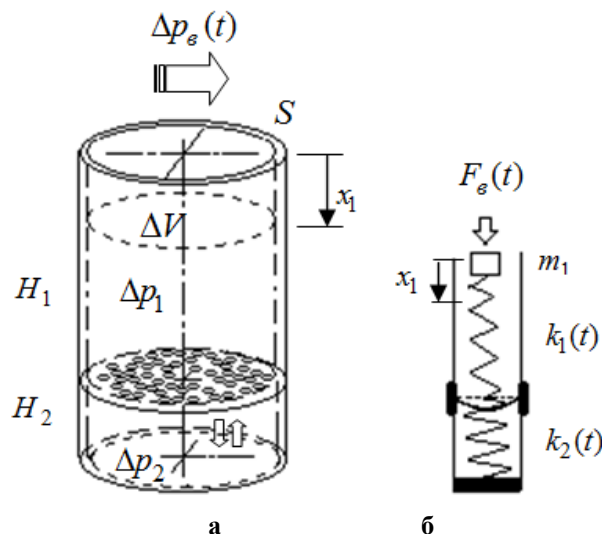


Рисунок 1 - Акустическая открытая двухкамерная ячейка с проницаемой мембраной (а), механическая колебательная система (б).

Основные параметры модели: смещение поршня $x_1(t)$, площадь S кругового поперечного сечения и мембраны, высоты 1-й H_1 и 2-й H_2 камер, приращения давлений акустической шумовой волны у входа в ячейку $\Delta p_g(t)$, в 1-й $\Delta p_1(t)$ и 2-й $\Delta p_2(t)$ камерах ячейки, проницаемость $\alpha(\omega)$ и изгибная податливость $\beta(\omega)$ мембраны, круговая частота ω , время t .

Модель (рис.1,а) соответствует одномассовой m_1 механической пружинной модели (рис.1,б) с переменными жесткостями $k_1 = k_1(t)$, $k_2 = k_2(t)$ с усилием внешнего вынуждающего воздействия $F_g(t)$.

Уравнение движения имеет вид:

$$F_g - F_1^* = m \ddot{x}_1, \quad (1)$$

где активная и реактивная силы

$$F_g = F_{g(a)} \sin \omega_g t, \quad F_1^* = \Delta p_1 S, \quad (2)$$

приращение давления в 1-й камере ячейки

$$\Delta p_1 = \frac{1}{\zeta_1} \left(x_1 - \alpha \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt - \beta (\Delta p_1 - \Delta p_2) \right), \quad (3)$$

с учетом коэффициентов акустических податливостей воздушных объемов камер ($i = \overline{1,2}$)

$$\zeta_i \equiv H_i / K, \quad (4)$$

объемный модуль упругости воздуха K , коэффициент изгибной податливости β мембраны. Из (3) выразим смещение

$$x_1 = \zeta_1 \Delta p_1 + \alpha \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt + \beta (\Delta p_1 - \Delta p_2), \quad (5)$$

после двойного дифференцирования (5) по времени

$$\ddot{x}_1 = (\ddot{\Delta p}_1)(\zeta_1 + \beta) + \alpha(\ddot{\Delta p}_1) - \alpha(\ddot{\Delta p}_2) - \beta(\ddot{\Delta p}_2), \quad (6)$$

и подстановки (6) в правую часть уравнения движения (1) получим дифференциальное уравнение с учетом (2).

$$(\ddot{\Delta p}_1)(\zeta_1 + \beta) + \alpha(\ddot{\Delta p}_1) - \alpha(\ddot{\Delta p}_2) - \beta(\ddot{\Delta p}_2) + \Delta p_1 S = F_{g(a)} \sin \omega_g t, \quad (7)$$

Приращение давления внутри нижней 2-й камеры ячейки

$$\Delta p_2(t) = K \Delta V_2 / V_2 = K(\delta_1 + \delta_2) / V_2,$$

или

$$\Delta p_2(t) = \frac{1}{\zeta_2} \left(\alpha \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt + \beta (\Delta p_1 - \Delta p_2) \right), \quad (8)$$

с учетом приходящего из 1-й во 2-ю камеру ячейки объема

$$\delta_1 \equiv \alpha S \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt, \quad (9)$$

и объема, обусловленного изгибом мембраны,

$$\delta_2 \equiv \beta S (\Delta p_1 - \Delta p_2), \quad (10)$$

отметим (10), что δ_2 - это объем, ограниченный изогнутой криволинейной поверхностью изначально плоской мембраны. Из (8) следует вид производной:

$$(\dot{\Delta p}_2) = \frac{1}{\zeta_2 + \beta} \left(\alpha (\dot{\Delta p}_1 - \dot{\Delta p}_2) + \beta (\dot{\Delta p}_1) \right) \quad (11)$$

и далее получим

$$\alpha \left((\dot{\Delta p}_1) - (\dot{\Delta p}_2) \right) = \zeta_2 (\ddot{\Delta p}_2) - \beta \left((\ddot{\Delta p}_1) - (\ddot{\Delta p}_2) \right)$$

или

$$\Delta p_1 = \frac{1}{\alpha} \left(\zeta_2 (\dot{\Delta p}_2) - \beta \left((\dot{\Delta p}_1) - (\dot{\Delta p}_2) \right) \right) + \Delta p_2 \quad (12)$$

с учетом ζ_2 (4).

2. Проницаемая жесткая мембрана ($\alpha \neq 0, \beta = 0$)

Для рассматриваемого случая имеем: уравнение движения (1), активная F_g и реактивная F_1^* силы (2), приращение давления в 1-й камере ячейки (3)

$$\Delta p_1 = \frac{1}{\zeta_1} \left(x_1 - \alpha \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt \right),$$

с учетом ζ_1 (4), объемный модуль упругости воздуха K , смещение (5)

$$x_1 = \zeta_1 \Delta p_1 + \alpha \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt, \quad (13)$$

и после двойного дифференцирования (13) по времени получим (6)

$$\ddot{x}_1 = \zeta_1 (\ddot{\Delta p}_1) + \alpha (\ddot{\Delta p}_1) - \alpha (\ddot{\Delta p}_2), \quad (14)$$

Приращение давления внутри нижней 2-й камеры ячейки (8)

$$\Delta p_2(t) = K \Delta V_2 / V_2 = K \delta_1 / V_2 = \frac{\alpha}{\zeta_2} \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt, \quad (15)$$

с учетом приходящего из 1-й во 2-ю камеру ячейки объема (9)

$$\delta_1 = \alpha S \int_0^t (\Delta p_1 - \Delta p_2) dt,$$

из (15) следует вид производной (11)

$$(\dot{\Delta p}_2) = \frac{\alpha}{\zeta_2} (\dot{\Delta p}_1 - \dot{\Delta p}_2),$$

и далее получим выражение (12)

$$\Delta p_1 = \frac{\zeta_2}{\alpha} (\dot{\Delta p}_2) + \Delta p_2, \quad (16)$$

с учетом ζ_2 (4). После подстановки (14) в уравнение движения (1)

$$m \ddot{x}_1 + \Delta p_1 S = F_{g(a)} \sin \omega_g t,$$

с учетом (13) получим дифференциальное уравнение (7)

$$(\ddot{\Delta p}_1) + 2\beta [(\dot{\Delta p}_1) - (\dot{\Delta p}_2)] + \omega_0^2 \Delta p_1 = f_0 \sin \omega_g t, \quad (17)$$

где коэффициенты:

$$\beta = \frac{\alpha}{2\zeta_1}, \quad \omega_0^2 = \frac{S}{\zeta_1 m}, \quad f_0 = \frac{F_{g(a)}}{\zeta_1 m} \quad (18)$$

Дифференциальное уравнение (17) преобразуем к виду:

$$\frac{\zeta_2}{\alpha} (\ddot{\Delta p}_2) + (\ddot{\Delta p}_2) + 2\beta \left[\frac{\zeta_2}{\alpha} (\dot{\Delta p}_2) + (\dot{\Delta p}_2) - (\dot{\Delta p}_2) \right] + \omega_0^2 \left(\frac{\zeta_2}{\alpha} (\dot{\Delta p}_2) + \Delta p_2 \right) = f_0 \sin \omega_g t,$$

или

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

$$\frac{\zeta_2}{\alpha}(\Delta p_2) + \left(1 + \frac{2\beta\zeta_2}{\alpha}\right)(\Delta p_2) + \left(\frac{\zeta_2\omega_0^2}{\alpha}\right)(\Delta p_2) + \omega_0^2\Delta p_2 = f_0 \sin \omega_0 t,$$

или

$$(\Delta p_2) + r(\Delta p_2) + p(\Delta p_2) + q\Delta p_2 = f \sin \omega_0 t, \quad (19)$$

$$r \equiv \alpha \left(\frac{1}{\zeta_1} + \frac{1}{\zeta_2} \right), \quad p \equiv \frac{S}{\zeta_1 m}, \quad q \equiv \alpha \frac{S}{\zeta_1 \zeta_2 m}, \quad f \equiv \alpha \frac{F_{\theta(a)}}{\zeta_1 \zeta_2 m}, \quad (20)$$

с учетом (4), (16), (18) и замен получим

$$\Delta p_1 = \frac{\zeta_2}{\alpha}(\Delta p_2) + \Delta p_2,$$

$$(\Delta p_1) = \frac{\zeta_2}{\alpha}(\Delta p_2) + (\Delta p_2),$$

$$(\Delta p_1) = \frac{\zeta_2}{\alpha}(\Delta p_2) + (\Delta p_2),$$

Искомое решение дифференциального уравнения (19)

$$\Delta p_2(t) = (\Delta p_2)_a \sin(\omega_0 t + \varphi_{p2}), \quad (21)$$

где установившаяся амплитуда $(\Delta p_2)_a$ вынужденных колебаний

$$(\Delta p_2)_a = \frac{f}{\sqrt{(q - r\omega_0^2)^2 + \left(\frac{\omega_0}{\alpha}\right)^2 (p - \omega_0^2)^2}}, \quad (22)$$

начальная фаза

$$\varphi_{p2} = \arctg\left(\frac{\omega_0(\omega_0^2 - p)}{\alpha(q - r\omega_0^2)}\right), \quad (23)$$

с учетом r, p, q, f (20).

Приращение давления в верхней камере ячейке Δp_1 (16) и смещение на входе в ячейку x_1 (13)

$$x_1 = \zeta_1 \Delta p_1 + \zeta_2 \Delta p_2 = \zeta_1 \left(\frac{\zeta_2}{\alpha}(\Delta p_2) + \Delta p_2 \right) + \zeta_2 \Delta p_2,$$

или

$$x_1 = \frac{\zeta_1 \zeta_2}{\alpha}(\Delta p_2) + (\zeta_1 + \zeta_2)\Delta p_2, \quad (24)$$

с учетом $\Delta p_2(t), \zeta_2$ (4), (15).

В результате приходим к искомым решениям для смещения на входе в ячейку:

$$x_1(t) = x_{1a} \sin(\omega_0 t + \varphi_{x1}), \quad (25)$$

с амплитудой

$$x_{1a} = (\Delta p_2)_a \sqrt{\alpha_{11}^2 + \alpha_{22}^2}, \quad (26)$$

и начальной фазой

$$\varphi_{x1} = \varphi_{p2} + \arctg\left(\frac{\alpha_{11}}{\alpha_{22}}\right), \quad (27)$$

и для приращения давления в верхней камере ячейки

$$\Delta p_1 = (\Delta p_1)_a \sin(\omega_0 t + \varphi_{p1}), \quad (28)$$

с амплитудой

$$(\Delta p_1)_a = (\Delta p_2)_a \sqrt{1 + \beta_{11}^2}, \quad (29)$$

и начальной фазой

$$\varphi_{p1} = \varphi_{p2} + \arctg\beta_{11}, \quad (30)$$

после подстановки полученного решения $\Delta p_2(t)$ (21) в (16), (24) с учетом (22) - (24) и обозначений

$$\alpha_{11} \equiv \zeta_1 \zeta_2 \omega_0 / \alpha, \quad \alpha_{22} \equiv \zeta_1 + \zeta_2,$$

$$\beta_{11} \equiv \zeta_2 \omega_0 / \alpha,$$

Отметим, что с учетом (29) отношение амплитуд приращений давлений во 2-й $(\Delta p_2)_a$ и 1-й $(\Delta p_1)_a$ камерах

$$\kappa \equiv \frac{(\Delta p_2)_a}{(\Delta p_1)_a} = 1 / \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0 H_2}{\alpha K}\right)^2},$$

монотонно убывающая функция $\kappa = \kappa(\omega_0) \in (0; 1)$ от частоты $\omega_0 \in (0; \infty)$.

Экстремальные значения амплитуды x_{1a} смещения (26) достигаются при частотах внешнего воздействия $\omega_{\theta(\text{рез})}$, являющихся корнями соответствующего алгебраического уравнения с учетом вида амплитуды приращения давления $(\Delta p_2)_a$ (22).

3. Непроницаемая упругая мембрана ($\alpha = 0, \beta \neq 0$)

Для ячейки с непроницаемой деформируемой мембраной из (6), (8) имеем для ускорения

$$\ddot{x}_1 = (\Delta p_1)(\zeta_1 + \beta) - \beta(\Delta p_2), \quad (31)$$

и для приращения давления во 2-й камере

$$\Delta p_2 = \kappa \Delta p_1, \quad (32)$$

где коэффициент прохождения через мембрану для амплитуды приращения давления

$$\kappa = \frac{\beta}{\zeta_2 + \beta}, \quad (33)$$

Из (31) с учетом (32) следует

$$\ddot{x}_1 = (\Delta p_1)(\zeta_1 + \beta) - \kappa\beta(\Delta p_1),$$

или

$$\ddot{x}_1 = (\zeta_1 + \beta - \kappa\beta)(\Delta p_1) \quad (34)$$

После подстановки (34) в уравнение движения (1) с учетом (2) получим дифференциальное уравнение

$$m(\zeta_1 + \beta(1 - \kappa))(\Delta p_1) + S\Delta p_1 = F_{\theta(a)} \sin \omega_0 t$$

или

$$(\Delta p_1) + \omega_0^{*2} \Delta p_1 = f_0 \sin \omega_0 t, \quad (35)$$

где коэффициенты

Impact Factor:

SISRA (India)	= 1.344	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	ПИИЦ (Russia)	= 0.234	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 1.042	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 2.031		

$$\omega_0^{*2} = \frac{S}{m(\zeta_1 + \beta(1-\kappa))}, \quad f_0 = \frac{F_{e(a)}}{m(\zeta_1 + \beta(1-\kappa))}$$

или

$$\omega_0^* = \frac{\omega_1}{\sqrt{1 + \kappa \frac{H_2}{H_1}}}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{SK}{mH_1}}, \quad f_0 = \frac{F_{e(a)}\omega_1^2}{S\left(1 + \kappa \frac{H_2}{H_1}\right)} \quad (36)$$

Искомое решение дифференциального уравнения (35) для приращения давления в 1-й камере

$$\Delta p_1(t) = (\Delta p_1)_a \sin \omega_e t, \quad (37)$$

где установившаяся амплитуда $(\Delta p_1)_a$ вынужденных колебаний

$$(\Delta p_1)_a = \frac{f_0}{\left|\omega_0^{*2} - \omega_e^2\right|},$$

или

$$(\Delta p_1)_a = \frac{(\Delta p_e)_a}{\left|1 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_0^*}\right)^2\right|}, \quad (\Delta p_e)_a = \frac{F_{e(a)}}{S}, \quad (38)$$

с учетом (36). Из условия резонанса $\omega_0^* = \omega_e$ имеем:

$$\frac{S}{m(\zeta_1 + \beta(1-\kappa))} = \omega_e^2,$$

резонансные значения коэффициента податливости мембраны:

$$\beta = \zeta_2 \left(\frac{S}{\omega_e^2 m} - \zeta_1 \right) / \left(\zeta_1 + \zeta_2 - \frac{S}{\omega_e^2 m} \right),$$

или

$$\beta = \zeta_2 \left(\left(\frac{\omega_1}{\omega_e} \right)^2 - 1 \right) / \left(1 + \frac{H_2}{H_1} - \left(\frac{\omega_1}{\omega_e} \right)^2 \right),$$

или в виде:

$$\beta = \zeta_2 \gamma / (1 - \gamma), \quad (39)$$

где

$$\gamma(\omega_e) = \frac{H_1}{H_2} \left(\left(\frac{\omega_1}{\omega_e} \right)^2 - 1 \right), \quad (40)$$

т.е. жесткость мембраны $1/\beta(\omega_e)$ возрастает с ростом частоты ω_e . Предельные случаи:

$$\omega_e \rightarrow \omega_{\min} \equiv \frac{\omega_1}{\sqrt{1 + \frac{H_2}{H_1}}}, \quad (41)$$

тогда $1/\beta \rightarrow 0$ (мягкая мембрана) и $\kappa \rightarrow 1$;

$$\omega_e \rightarrow \omega_{\max} \equiv \omega_1, \quad (42)$$

тогда $1/\beta \rightarrow \infty$ (жесткая мембрана) и $\kappa \rightarrow 0$; в результате, для частот $\omega_e \in (\omega_{\min}; \omega_{\max})$ выполняется условие резонанса, приводящего к $(\Delta p_1)_a \rightarrow \infty$ с учетом (33), (36), (38), (39).

4. Численный расчет

Проведем численный расчет зависимости коэффициента $\kappa^* \equiv (\Delta p_1)_a / (\Delta p_e)_a$ амплитуды приращения давления $(\Delta p_1)_a$ (16) в открытой 1-й камере ячейки (рис.1,а) от круговой частоты ω_e внешнего давления с учетом (36), (38), (40), принимая идеальные модельные зависимости от частоты ω_e для жесткости мембраны

$$1/\beta = \begin{cases} 0, & \omega_e \leq \omega_{\min} \\ \frac{K(1-\gamma)}{H_2\gamma}, & \omega_{\min} < \omega_e < \omega_{\max} \\ \infty, & \omega_e \geq \omega_{\max} \end{cases}, \quad (43)$$

или коэффициента прохождения через мембрану амплитуды давления $\alpha = 0.02$ [м²с/кг] для графика (—), $\alpha = 0$ для графиков (⊙), (△).

$$\kappa(\omega_e) = \begin{cases} 1, & \omega_e \leq \omega_{\min} \\ \gamma(\omega_e), & \omega_{\min} < \omega_e < \omega_{\max} \\ 0, & \omega_e \geq \omega_{\max} \end{cases}$$

с учетом γ (40), K (33), (41), ω_{\min} , ω_{\max} (42),

$$\beta = \frac{\kappa}{1-\kappa} \zeta_2$$

На рис.2 представлены результаты расчета зависимости коэффициента κ^* от частоты ω_e для цилиндрической двухкамерной ячейки с геометрическими размерами: высоты $H_1 = 10$ мм, $H_2 = 5$ мм, радиус сечения камер ячейки $R = 2$ мм;

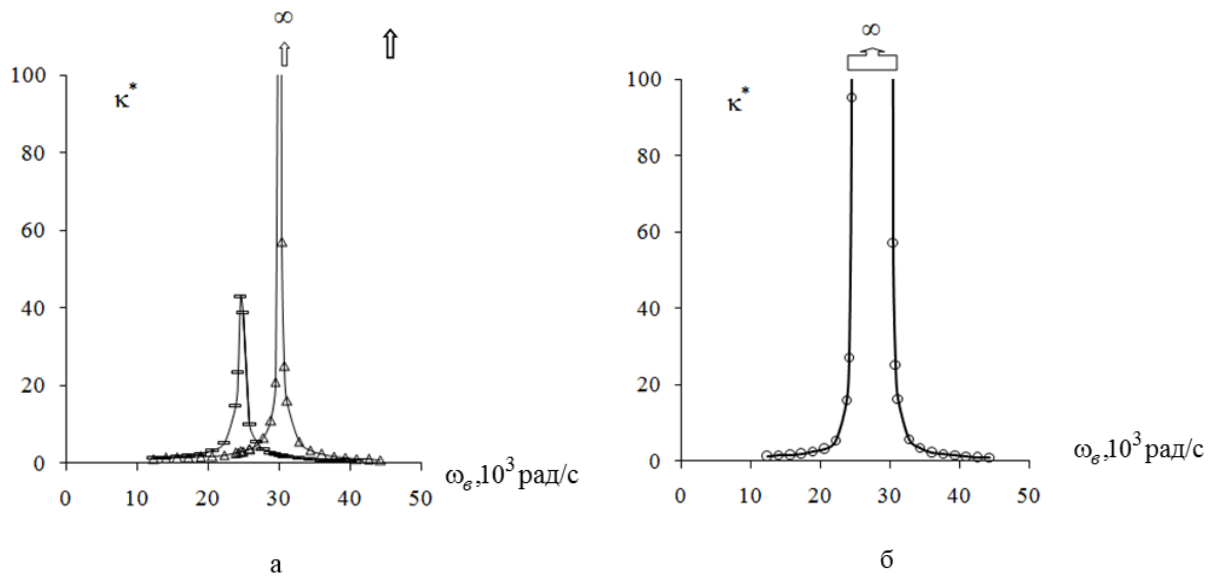


Рисунок 2 - Амплитудно-частотные характеристики двухкамерных ячеек с легко проницаемой жесткой мембраной (\square), непроницаемой жесткой мембраной (\triangle) (а) и непроницаемой упругой мембраной (\circ) (б)

Заключение

Таким образом в работе рассмотрены математические модели колебательных акустических процессов в открытой цилиндрической двухкамерной ячейке с поперечной круглой перегородкой или мембраной с учетом проницаемости, упругости и прогибов мембраны. Получена система дифференциальных уравнений (5), (7), (11) вынужденных колебаний для нахождения смещения x_1 , приращений давлений: $\Delta p_1(t)$ в 1-й открытой и $\Delta p_2(t)$ во 2-й закрытой камерах ячейки с учетом проницаемости и прогибов легкой мембраны с реологическими свойствами

от заданной круговой частоты ω_g внешнего давления. Получены решения для давлений в открытой верхней и нижней закрытой мембраной камерах и рассчитаны амплитудно-частотные характеристики различных ячеек с легко проницаемой жесткой мембраной (21) – (30), непроницаемой упругой (32), (33), (37), (38) и, как предельный случай, абсолютно жесткой непроницаемой мембраной. Для адаптации к широкому спектру шумоглушения ячейки с непроницаемой упругой мембраной найдены оптимальные резонансные значения коэффициента изгибной жесткости мембраны как монотонно возрастающей функции от частоты вынужденных колебаний (43).

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России по проекту № 1969 «Акустико-механическое моделирование перспективных звукопоглощающих контуров из полимерных композиционных материалов для авиационных двигателей».

References:

1. Munin AG, Kvitka VE (1973) Aviation acoustics. - Moscow: "Engineering", 1973, 448 p.
2. (1986) Aviation acoustics. In two parts. Part 1. Noise on the ground subsonic airliners and vertoletov. Ed. A.G. Munin. - Moscow: Mashinostroenie, 1986. 243 p.
3. Chigrin VS, Belova SE (2004) Design afterburners and output devices GTE / Rybinskii gosudarstvennyi aviatsionnyi tekhnicheskii universitet, 2004. 38 p.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 1.344	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	PIHII (Russia)	= 0.234	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 1.042	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 2.031		

- Baklanov VS, Postnov SS, Postnova EA (2007) The calculation of sound absorbing structures for modern aircraft engines // Mathematical modeling. 2007, Volume 19, number 8, p. 22-30.
- Pisarev PV, Pan'kov AA, Anoshkin AN (2015) Analiz vlijaniya formy rezonatora Gel'mgol'ca na akusticheskoe davlenie v model'nom kanale / Tezisy dokladov chetvertoj otkrytoj Vserossijskoj konferencii po ajeroakustike. - Central'nyj ajerogidrodinamicheskij institut im. prof. N.E.Zhukovskogo (29 sept. - 1 oct. 2015), p.81-82
- Mao Q, Pietrzko S (2010) Experimental study for control of sound transmission through double glazed window using optimally tuned Helmholtz resonators // Applied Acoustics, 2010, vol. 71, p. 32-38.
- Ho JH, Berkhoff A (2012) Comparisons between various cavity and panel noise reduction control methods in double-panel structures // The Journal of the Acoustical Society of America, 2012, vol. 131(4), p. 3501-3501.
- Jen-Hsuan Ho, Berkhoff A (2013) Development of dynamic loudspeakers modified as incident pressure sources for noise reduction in a double panel structure / ICSV20. Bangkok, Thailand, July, 2013, p. 7-11.
- Pan J, Guo J, Ayres C (2005) Improvement of sound absorption of honeycomb panels. Proceedings of Acoustics Busselton / Western Australian, Australia, November 2005, p. 9-11.
- (1991) Pat. US5041323 A United States of America, Rohr Industries, Inc. / Philip M. Rose, Jia Yu. -№ US 07 / 426.764, appl. 10.26.1989, publ. 20.08.1991

About the authors

Pan'kov Andrey A. (Perm, Russian Federation) - Leading Researcher of Scientific & Educational Center for Aviation Composite Technologies of State Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolski Ave., Perm, Russian Federation, e-mail: a_a_pankov@mail.ru).

Anoshkin Aleksandr N. (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of the mechanics of composite materials and structures of State Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolski Ave., Perm, Russian Federation, e-mail: anoshkin@pstu.ru).

Pisarev Pavel V. (Perm, Russian Federation) – Ph.D., Department of the mechanics of composite materials and structures of State Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolski Ave., Perm, Russian Federation, e-mail: pisarev@pstu.ru).

