

УДК 534.8

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЭФФЕКТИВНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ СОСТАВНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В. Г. АБАКУМОВ*, А. Г. ТРАПЕЗОН**, К. А. ТРАПЕЗОН*

*Национальный технический университет Украины "КПИ", Киев

**Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев

Получено 27.11.2009

Проанализированы особенности выбора эффективных конфигураций составных акустических концентраторов и получены соотношения для расчета их основных технических параметров. Показано, что метод симметрий позволяет найти новые профили концентраторов, обеспечивающие более высокую эффективность при усилении продольных колебаний в составе технологических ультразвуковых систем. Полученные результаты могут быть полезны при расчете акустических конструкций переменной жесткости, работающих в резонансных режимах.

Проаналізовані особливості вибору ефективних конфігурацій складених акустичних концентраторів і отримані співвідношення для розрахунку їхніх основних технічних параметрів. Показано, що метод симетрій дозволяє знайти нові профілі концентраторів, які забезпечують більш високу ефективність при підсиленні поздовжніх коливань у складі технологічних ультразвукових систем. Отримані результати можуть бути корисними при розрахунку акустичних конструкцій змінної жорсткості, які працюють у резонансних режимах.

The paper deals with analyzing of peculiarities of choosing of the efficient configurations for composite acoustic thickeners and deriving of relations for calculation of their basic technical parameters. The symmetry method has been shown to allow finding of new thickener profiles that provide higher efficiency when amplifying the longitudinal vibrations of the devices included in the technological ultrasonic systems. The obtained results may occur useful for designing of acoustic structures with variable flexibility working in resonant modes.

ВВЕДЕНИЕ

В состав многих ультразвуковых колебательных систем входят активные акустические элементы в виде стержней, пластинок или балок переменной жесткости. Основное их назначение – передача амплитуд колебательных перемещений ультразвуковых излучателей на объект воздействия с одновременным их увеличением. Поскольку резонансные колебательные системы являются системами ограниченной акустической мощности, то необходимость концентрации акустической энергии в зоне ее потребления неизбежна и очевидна. В промышленных системах в качестве концентраторов акустической энергии продольных колебаний чаще всего применяются стержни переменного диаметра, закон изменения которого в конечном итоге и определяет эффективность работы устройства. Широкое применение акустические концентраторы нашли в установках ультразвуковой очистки (в составе обрабатывающих ультразвуковых станков), в комплексах для получения химических аэрозолей, при биологической очистке – уничтожении микроорганизмов, в экспериментальной медицине (ультразвуковые хирургические инструменты) и т. д.

Ввиду несомненной актуальности этой тематики целесообразно провести обоснование выбо-

ра наиболее эффективных конструкций акустических концентраторов. Исходя из ряда технологических требований, на практике зачастую применяются составные (комбинированные) концентраторы, состоящие из участков постоянного и переменного поперечных сечений [1]. Поэтому в данной статье рассматриваются как простые, так и составные конфигурации акустических концентраторов.

1. ВОЛНОВОЕ УРАВНЕНИЕ И ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

Волновое уравнение, определяющее формы собственных колебаний стержня переменного поперечного сечения, имеет вид [2–4]

$$W'' + 2\frac{D'}{D}W' + k^2W = 0 \quad (1)$$

или

$$W'' + \frac{F'}{F}W' + k^2W = 0,$$

где W – амплитуда собственных колебаний стержня; D – текущий диаметр его поперечного сечения (мы считаем стержень телом вращения); $F = \pi D^2/4$ – площадь поперечного сечения; $k = \omega/c$ – волновое число или собственное значение задачи; $\omega = 2\pi f$ – круговая собственная частота колебаний; f – линейная частота; $c = \sqrt{E/\rho}$ –

скорость распространения продольной волны в материале стержня; E – модуль упругости; ρ – плотность; l – длина стержня. Штрихи обозначают производные по безразмерной переменной продольной координате x/l .

Граничные условия для стержня со свободными концами $x = \alpha$ и $x = \beta$ имеют вид

$$W'(x = \alpha) = W'(x = \beta) = 0, \quad \beta - \alpha = 1. \quad (2)$$

Эффективность работы концентратора в виде стержня переменного сечения обеспечивается таким выбором закона $D(x)$, чтобы коэффициент усиления $M = W(\alpha)/W(\beta)$, определяемый отношением амплитуд перемещений на его свободных концах, был максимально возможным. Одновременно необходимо обеспечить ограничение механических напряжений в опасных сечениях уровнями, лежащими ниже предела усталости материала концентратора.

2. НЕКОТОРЫЕ ИЗВЕСТНЫЕ СЛУЧАИ

2.1. Концентратор катеноидальной формы $D(x) = D_0 \text{ch}(mx)$

Анализируя профиль концентратора катеноидальной формы (рис. 1), следует учитывать, что коэффициент m должен удовлетворять условию $m < k$, обеспечивающему величину коэффициента усиления колебаний $M > 1$ [1].

Решение уравнения (1) и его производная в данном случае имеют вид

$$W(x) = \frac{1}{\text{ch } mx} [B \sin \lambda x + A \cos \lambda x], \quad (3)$$

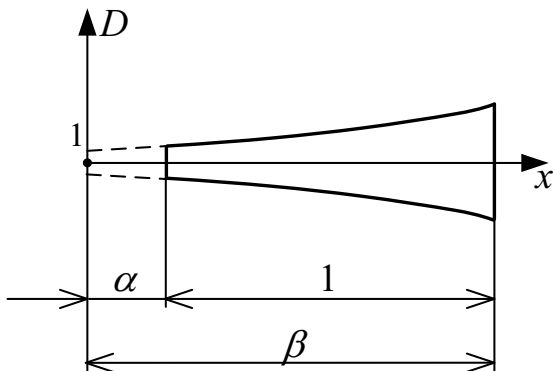


Рис. 1. Схема концентратора катеноидальной формы

$$W'(x) = \frac{1}{\text{ch}^2 mx} \times [B(\lambda \text{ch } mx \cos \lambda x - m \text{sh } mx \sin \lambda x) - A(m \text{sh } mx \cos \lambda x + \lambda \text{ch } mx \sin \lambda x)], \quad (4)$$

где $\lambda = \sqrt{k^2 - m^2}$ – зависимый от волнового числа k коэффициент; A и B – постоянные, определяемые из граничных условий (2).

Уравнение собственных частот записывается как [1]

$$2\lambda m \text{sh } m \cos \lambda + \sin \lambda \times [(m^2 + \lambda^2) \text{ch}(m(1 + 2\alpha)) + (\lambda^2 - m^2) \text{ch } m] = 0. \quad (5)$$

Коэффициент усиления продольных колебаний определяем из выражения

$$M = \frac{W(x = \alpha)}{W(x = \beta)} = \delta \frac{\sin \lambda \alpha + B/A \cos \lambda \alpha}{\sin \lambda \beta + B/A \cos \lambda \beta}, \quad (6)$$

где $\delta = \text{ch } m\beta / \text{ch } m\alpha$ – отношение граничных поперечных диаметров;

$$\frac{B}{A} = \frac{\lambda \text{ch } \beta \cos \beta - m \text{sh } \beta \sin \beta}{m \text{sh } \beta \cos \beta + \lambda \text{ch } \beta \sin \beta}.$$

Результаты расчета коэффициента усиления и величины k на основе формул (5) и (6) при разных значениях m приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что при любых m усиление концентратора теоретически не будет превышать величины $M \leq 2\delta$.

2.2. Концентратор секансоидальной формы $D(x) = D_0 / \cos mx$

Пример профиля концентратора секансоидальной формы изображен на рис. 2.

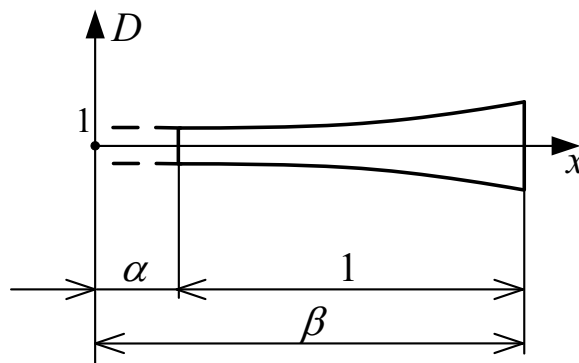


Рис. 2. Схема секансоидального концентратора с законом изменения диаметра $D(x) = D_0 / \cos(mx)$

Табл. 1. Рабочие параметры катеноидального концентратора

m	α	β	M	δ	k	M/δ
1	0	1	-1.596	1.543	3.05184	-1.034
	0.1	1.1	-1.721	1.66	3.07437	-1.037
	0.5	1.5	-2.154	2.086	3.163665	-1.032
1.5	0	1	-2.639	2.352	3.0637	-1.122
	0.1	1.1	-2.982	2.669	3.13614	-1.117
	0.5	1.5	-3.931	3.705	3.348979	-1.061
2	0	1	-4.847	3.762	3.16998	-1.288
	0.001	1.001	-4.768	3.769	3.18819	-1.265
	0.01	1.01	-4.844	3.835	3.20151	-1.263
	0	1	-4.847	3.762	3.16998	-1.288
2.4	0	1	-7.868	5.557	3.36241	-1.416
	0.001	1.001	-7.891	5.57	3.36455	-1.417
	0.005	1.005	-7.937	5.623	3.373047	-1.412
2.7	0	1	-11.536	7.473	3.53102	-1.544
	0.0001	1.0001	-11.573	7.475	3.531285	-1.548
	0.0003	1.0003	-11.57	7.479	3.53181	-1.547
3	0	1	-16.932	10.068	3.72468	-1.682
	0.0001	1.0001	-16.912	10.071	3.72499	-1.679
	0.001	1.001	-16.953	10.098	3.72775	-1.679
3.5	0.0001	1.0001	-32.073	16.579	4.089894	-1.935
4	0	1	-59.997	27.308	4.491689	-2.197
	0.0001	1.0001	-59.992	27.319	4.492133	-2.196

Табл. 2. Рабочие параметры секансоидального концентратора

m	α	β	M_1	δ	k	M_1/δ
1	0	1	1.851	1.851	3.14158	1
	0.1	1.1	2.193	2.194	3.142	0.99975
	0.2	1.2	2.705	2.705	3.1413	1.00024
	0.3	1.3	3.572	3.571	3.1414	1.00022
	0.4	1.4	5.42	5.419	3.1415	1.00017
1.5	0	1	14.146	14.137	3.1415	1.00062
	0.1	1.1	12.46	12.497	3.1411	0.99704
	0.5	1.5	1.635	1.635	3.1417	1.00009
2	0	1	2.403	2.403	3.1415	0.99987
	0.01	1.01	1.006	1.006	3.1408	0.99992
	0.05	1.05	0.989	0.989	3.1407	1.00001
2.5	0	1	1.248	1.248	3.14158	0.99999
	0.01	1.01	1.225	1.225	3.1408	0.99955
3	0	1	1.01	1.01	3.14158	1
	0.0001	1.0001	1.01	1.01	3.1415927	1
	0.1	1.1	0.968	0.967	3.1411	1.00008
3.5	0.0001	1.0001	1.068	1.068	3.1415927	1
	0.1	1.1	1.082	1.082	3.1411	1.00023
	0.4	1.4	0.911	0.911	3.1415	0.99946
4	0	1	1.53	1.53	3.14158	1.00002
	0.0001	1.0001	1.531	1.531	3.1415927	1

Решение уравнения (1) для этого случая найдем с помощью метода симметрий, описанного в [5]. В качестве исходного приближения выберем концентратор в виде $D = \text{const}$. Для него искомое решение известно [1]:

$$W(x) = A \sin kx + B \cos kx. \quad (7)$$

Исходя из положений используемого метода, получим

$$D_1 = \frac{1}{DW'_{k \leftrightarrow \alpha}} = \frac{D}{U} = \frac{1}{D\alpha(A_1 \cos \alpha x - B_1 \sin \alpha x)}.$$

Положив $B_1 = 0$ и сделав замену $\alpha = m$, определим

$$D_1 = \frac{1}{DA_1 m \cos mx} = \frac{1}{D_0 \cos mx}. \quad (8)$$

Опуская математические преобразования (подробности см., например, в [5]), запишем решение волнового уравнения для профиля вида (8):

$$W_1 = b[m \cos kx \sin mx - k \sin kx \cos mx] + a[m \sin kx \sin mx + k \cos kx \cos mx], \quad (9)$$

где $a = -BmD^2 A_1 k$; $b = AmD^2 A_1 k$. Производная от функции W_1 по x/l будет

$$W'_1 = (m^2 - k^2) \cos mx [b \cos kx + a \sin kx]. \quad (10)$$

Отношение b/a найдем, используя граничные условия (2): $b/a = -\text{tg} k\alpha$. На основе этих же условий определим уравнение собственных частот:

$$\sin k\beta = \cos k\beta \text{tg} k\alpha.$$

Усиление концентратора рис. 2 вычисляется как $M = W_1(x = \alpha) / W_1(x = \beta)$. Подставив сюда выражение (9), получим

$$M = \delta \frac{k}{\cos k\alpha} [k(\cos k\beta + \sin k\beta \text{tg} k\alpha) + mtg m\beta(\sin k\beta - \cos k\beta \text{tg} k\alpha)]^{-1},$$

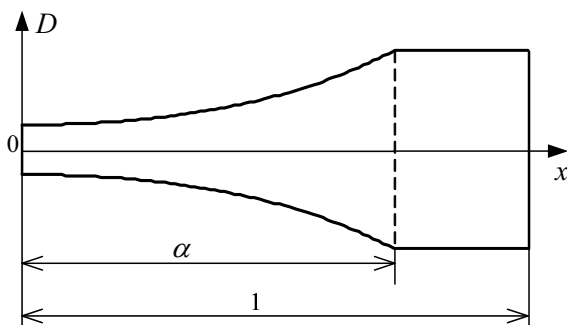


Рис. 3. Схема концентратора с законом изменения диаметра (11)

где $\delta = \cos m\alpha / \cos m\beta$ – отношение граничных поперечных диаметров концентратора.

Результаты вычисления k и M_1 приведены в табл. 2. Анализируя их, замечаем, что конфигурация концентратора в виде секансоиды $D = D_0 / \cos mx$ дает максимально возможное усиление, примерно равное отношению концевых диаметров δ . Сравнивая этот результат с данными табл. 1, делаем вывод о том, что при фиксированных значениях δ усиление катеноидального концентратора во всех случаях будет выше. Например, при $\delta = 2.7$ для концентратора с профилем $D = \text{ch} mx$ и $m = 1$, $\alpha = 0.1$, $k = 3.13614$ получаем $M_{\text{кат}} = 2.982$. В то же время, для концентратора с профилем $D = D_0 / \cos mx$ и $\delta = 2.7$, $\alpha = 0.2$, $k = 3.1413$ усиление будет $M_{\text{сек}} = 2.705$.

3. СОСТАВНЫЕ КОНЦЕНТРАТОРЫ

Возникает вопрос, будет ли сохранено преимущество катеноидального концентратора по сравнению с секансоидальным в случае их комбинирования со стрежнем постоянного сечения? Рассмотрим усиление составных концентраторов для двух вариантов: катеноида – призма и секансоида – призма.

3.1. Концентратор катеноида – призма

Первый профиль составного концентратора, интересующего нас, характеризуется следующим законом изменения $D(x)$, см. рис. 3:

$$D(x) = \begin{cases} a \text{ch} mx, & x \in (0, \alpha), \\ b = \text{const}, & x \in (\alpha, 1). \end{cases} \quad (11)$$

Здесь a, b, m – произвольные постоянные, значения которых находят, исходя из требуемых присоединительных и габаритных размеров устройства.

Решение волнового уравнения (1) рассмотрим отдельно для двух составных частей концентратора для того, чтобы затем, используя условия сопряжения и граничные условия, определить функции перемещений и напряжений. Для переменной составной части имеем граничное условие $W'_1(0) = 0$, откуда с учетом выражений (3) и (4) следует

$$W_1(x) = \frac{A \cos \lambda x}{\text{ch} mx},$$

где $\lambda = \sqrt{k_1^2 - m^2}$.

Для призматической части, используя граничное условие $W'(1) = 0$ и соотношение (7), получим

$$W(x) = a_0 \cos k_1(x - 1), \quad (12)$$

$$W'(x) = -a_0 k_1 \sin k_1(x - 1), \quad (13)$$

где $a_0 = A_1 / \sin k_1$. Параметр a_0 можно найти, используя одно из условий сопряжения частей концентратора $W_1(\alpha) = W(\alpha)$:

$$a_0 = \frac{A \cos \lambda \alpha}{\operatorname{ch} m \alpha \cos k_1(\alpha - 1)}.$$

Для получения уравнения собственных частот воспользуемся вторым условием сопряжения, а именно равенством напряжений: $W_1'(\alpha) = W'(\alpha)$. Опуская математические преобразования, находим

$$\lambda \operatorname{tg} \lambda \alpha + m \operatorname{th} m \alpha + k_1 \operatorname{tg} k_1 \beta = 0. \quad (14)$$

Усиление колебаний составного концентратора будет

$$M = \frac{W_1(0)}{W(1)} = \frac{\operatorname{ch} m \alpha \cos k_1(\alpha - 1)}{\cos \lambda \alpha} = \delta \frac{\cos k_1(\alpha - 1)}{\cos \lambda \alpha}, \quad (15)$$

где $\delta = b/a = \operatorname{ch} m \alpha$ – отношение его концевых диаметров. С целью упрощения дальнейшего анализа введем замену $q = \alpha/\beta$. Тогда учтя, что $\lambda = \sqrt{k_1^2 - m^2}$, получим $k_1 \beta = k_1 \alpha / q$ и $k_1 \alpha = \sqrt{(\lambda \alpha)^2 + (m \alpha)^2}$.

Результаты вычислений по формулам (14) и (15) приведены в табл. 3. Ее анализ показывает, что максимальные значения параметра M возможны лишь при комбинациях $q = 3$ и $\delta > 2$.

3.2. Концентратор секансоида – призма

Второй профиль, который следует рассмотреть (рис. 4), характеризуется следующим законом изменения диаметра поперечного сечения $D(x)$:

$$D(x) = \begin{cases} c / \cos m x, & x \in (0, \alpha), \\ b = \operatorname{const} & x \in (\alpha, 1). \end{cases} \quad (16)$$

Здесь b и c – произвольные постоянные, значения которых выбирают, исходя из требований по присоединительным и габаритным размерам концентратора.

Используя условие сопряжения $W'(\alpha) = W_1'(\alpha)$, а также выражения (10) и (13), получим первое уравнение

$$-a_0 k_1 \sin k_1(\alpha - 1) = a(m^2 - k^2) \sin k \alpha \cos m \alpha. \quad (17)$$

Отсюда с учетом $m^2 - k^2 = -k_1^2$ и $\beta = 1 - \alpha$ найдем

$$a_0 = -a k_1 \frac{\sin k \alpha \cos m \alpha}{\sin k_1 \beta}.$$

Условие сопряжения $W(\alpha) = W_1(\alpha)$ дает нам второе соотношение для построения частотного уравнения:

$$a_0 \cos k_1(\alpha - 1) = a(m \sin m \alpha \sin k \alpha + k \cos k \alpha \cos m \alpha).$$

Отсюда получим уравнение частот для концентратора:

$$k_1 \operatorname{ctg} k_1 \beta + k \operatorname{ctg} k \alpha + m \operatorname{tg} m \alpha = 0. \quad (18)$$

Его усиление определяют по формуле

$$M = \frac{W_1(0)}{W(1)} = \frac{a}{a_0} \frac{k}{\cos(k_1 \beta)} = -\frac{k \sin k_1 \beta}{k_1 \sin k \alpha \cos m \alpha} = -\frac{k}{k_1} \delta \frac{\sin k_1 \beta}{\sin k \alpha}, \quad (19)$$

где $\delta = 1 / \cos m \alpha$ – отношение концевых диаметров.

Как и для первого составного концентратора, введем замену $q = \alpha/\beta$. Учтывая, что $k_1 \alpha = \alpha \sqrt{k^2 - m^2}$, получим

$$k_1 \beta = \frac{\alpha}{q} \sqrt{k^2 - m^2}.$$

Тогда выражения (18) и (19) запишутся следующим образом:

$$\alpha m \operatorname{tg} m \alpha + k \alpha \operatorname{ctg} k \alpha + \alpha \sqrt{k^2 - m^2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha \sqrt{k^2 - m^2}}{q} = 0, \quad (20)$$

$$M = -\frac{\delta k}{\sqrt{k^2 - m^2}} \frac{\sin \frac{\alpha \sqrt{k^2 - m^2}}{q}}{\sin k \alpha}. \quad (21)$$

По соотношениям (20), (21) рассчитаны соответствующие параметры составного концентратора (табл. 4).

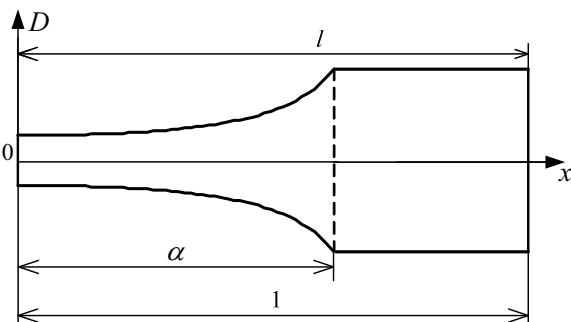


Рис. 4. Схема концентратора с законом изменения диаметра (16)

Табл. 3. Рабочие параметры концентратора катеноида – призма

δ	$m\alpha$	q	$\lambda\alpha$	M
2	1.317	0.1	0.6870649568	-1.7
		0.3	0.9028133237	1.85
		0.5	1.7759208084	2.812
		1	1.3166121564	-2.285
		2	1.8660177182	-2.858
		3	2.0739808152	-2.833
		4	2.1952000033	-2.744
		5	2.2773069323	-2.664
3	1.763	0.1	0.3924562358	2.284
		0.3	1.5664158172	-4.495
		0.5	1.5673457224	4.498
		1	1.0924634674	-3.142
		2	1.7626329716	-5.015
		3	1.9554197374	-5.109
		4	2.0628048163	-4.945
		5	2.1350161610	-4.772
4	2.063	0.1	0.4762691949	-3.089
		0.3	1.3267051407	-5.256
		0.5	1.3856288912	5.556
		1	0.8300356844	-3.603
		2	1.6988749469	-7.273
		3	1.8872143327	-7.663
		4	1.9873769419	-7.457
		5	2.0539664516	-7.191
5	2.292	0.1	0.7864803523	4.418
		0.3	1.0515474275	-5.293
		0.5	1.1936390385	5.988
		1	0.4316298372	-3.8
		2	1.6531535092	-9.541
		3	1.8416571860	-10.406
		4	1.9375082501	-10.2
		5	2.0004517165	-9.849

Табл. 4. Рабочие параметры концентратора секансоида – призма

δ	$m\alpha$	q	$k\alpha$	M		
2	1.047	0.01	1.0698524655483	-1.012		
		0.1	1.089755273921	-1.024		
		0.2	1.19645347808	-1.091		
		0.5	1.634049257	-1.544		
		1	2.1201962776	-2.597		
		1.8	2.404541453	-3.084		
		1.9	2.4257153616	-3.086		
		2	2.445285707	-3.083		
		3	2.5859861325	-2.94		
		4	2.6740294483	-2.783		
		10	2.8962959798	-2.356		
		100	3.111037430832	-2.036		
		3	1.231	0.01	1.2628521121616	-1.021
0.1	1.2684897719999			-1.025		
0.2	1.368027831378			-1.1		
0.5	1.83265574694			-1.733		
1	2.37589877378			-4.532		
1.8	2.58912515955			-6.197		
1.9	2.60286140858			-6.202		
2	2.61546756292			-6.191		
3	2.705588567762			-5.74		
4	2.76352710368			-5.264		
10	2.924309184867			-4.022		
100	3.1115254352134			-3.105		
4	1.318			0.01	1.459700845134	-1.098
		0.1	1.45523961457	-1.099		
		0.2	1.450531519817	-1.1		
		0.5	1.933342005	-1.8		
		1	2.534078564	-6.802		
		1.08	2.568792	-7.663		
		1.1	2.576115	-7.856		
		4	1.318	1.8	2.7013495268	-10.389
				1.9	2.7109241396	-10.394
				2	2.7196769381	-10.365
				3	2.7822445564	-9.415
4	2.82339304194			-8.45		
10	2.94603878412			-5.995		
100	3.111985505937			-4.204		
5	1.369			0.01	1.51964971439325	-1.116
				0.1	1.6544972560071	-1.251
				0.2	1.8326926392421	-1.497
		0.5	1.993485103651	-1.825		
		1	2.64246061001	-9.427		
		1.8	2.77680152271	-15.691		
		1.9	2.78380718505	-15.69		
		2	2.79019893267	-15.631		
		3	2.83601255123	-13.977		
		4	2.86673164224	-12.348		
6	1.403	0.01	1.6556804759063	-1.215		
		0.1	1.684113305125	-1.246		
		0.2	1.86295809118	-1.489		
		0.5	2.0331881637	-1.833		
		1	2.7210600208	-12.429		
		1.8	2.83080832822	-22.119		
		1.9	2.83612917215	-22.104		
		2	2.8409793232	-22.004		
		3	2.8758758307	-19.435		
		4	2.8996628005	-16.962		
6	1.403	10	2.9782545402	-10.863		
		100	3.1128514963975	-6.498		

3.3. Анализ полученных результатов

С помощью табл. 3 и 4 проведем сравнительную оценку эффективности двух составных концентраторов, профили которых описываются соответственно законами изменения (11) и (16). Данные по максимальным теоретическим значениям M обобщены на рис. 5.

Если необходимо обеспечить отношение присоединительных размеров $\delta=2$, то для составного концентратора (11) – “катеноида – призматический стержень” – максимальный коэффициент усиления будет $M=2.858$ ($q=2$; $m\alpha=1.317$). Для концентратора (16) – “секансоида – призматический стержень” – условие $\delta=2$ предполагает максимальное усиление $M=3.086$, что дает выигрыш на 8 %.

Если же $\delta=4$, составной концентратор “катеноида – призма” дает максимальное усиление продольных колебаний $M=7.663$. При этом для составного концентратора “секансоида – призма” максимальное усиление будет $M=10.389$. В данном случае преимущество в эффективности составит уже 36 %.

При условии $\delta=5$ для составного концентратора с профилем (11) максимальный коэффициент усиления составляет 10.406, для концентратора (16) – 15.691. Таким образом, выигрыш от применения второй предложенной модели составляет 50 %.

Из набора предлагаемых для практического использования составных концентраторов в настоящее время предпочтение обычно отдается профилю “катеноида – призма” как обладающему наибольшим усилением из всех известных. Нами получен результат, свидетельствующий о том, что наиболее целесообразным по эффективности работы следует признать использование концентратора “секансоида – призма”. При этом следует обратить внимание на то, что для однородных конструкций ситуация прямо противоположна – катенидальный концентратор лучше, чем секансоидальный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Приведена методика выбора эффективных конструкций концентраторов по критерию максимального усиления продольных колебаний. Проведен анализ коэффициентов усиления для однородных и составных концентраторов.
2. Выявлено, что составной концентратор предложенной конфигурации “секансоида – призматический стержень” дает большее

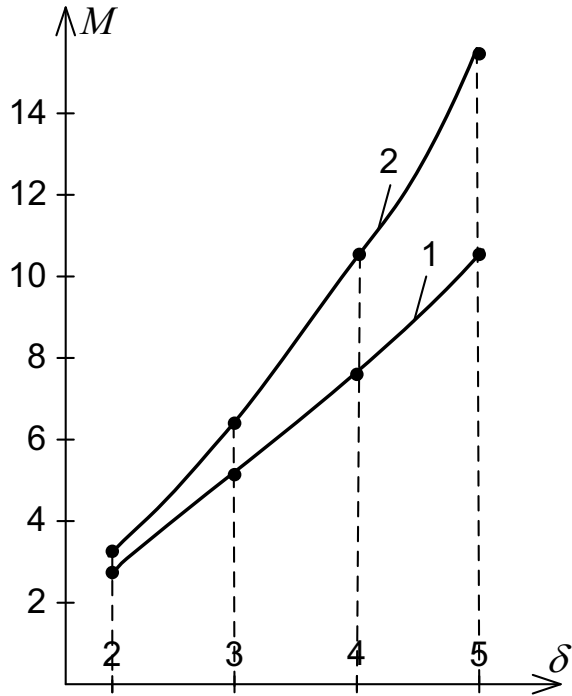


Рис. 5. Зависимость максимального значения коэффициента усиления M от отношения присоединительных размеров δ для составных концентраторов:

- 1 – концентратор с законом изменения (11);
- 2 – концентратор с законом изменения (16)

усиление, чем рекомендуемая в настоящее время конструкция концентратора “катеноида – призматический стержень” при фиксированных значениях отношения концевых диаметров. При этом, чем выше отношение диаметров возбуждаемого и рабочего концов, тем большим оказывается выигрыш (например, 36 % при $\delta=4$ и 50 % при $\delta=5$).

1. Писаревский М. М. Расчет переходных стержней для магнитострикционных вибраторов // Тр. науч.-тех. совещ. по изучению рассеяния энергии при колебаниях упругих тел.– К.: Изд-во АН УССР, 1958.– С. 54–89.
2. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле.– М.: Физматгиз, 1959.– 440 с.
3. Кузьменко В. А. Звуковые и ультразвуковые колебания при динамических испытаниях материалов.– К.: Изд-во АН УССР, 1963.– 152 с.
4. Петренко А. И., Цыба Н. А. Методика расчета переходных стержней магнитострикционных возбуждателей колебаний // Пробл. прочн.– 1987.– N 5.– С. 109–113.
5. Трапезон К. А. Метод симметрий при расчете и проектировании акустических концентраторов // Акуст. вісн.– 2006.– 9, N 4.– С. 50–55.