

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.373.421.12:621.373.072.6

А. В. ГРУШЕЦКИЙ, Л. Н. КАПЦОВ

ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО СТРУННОГО ГЕНЕРАТОРА

Использование струнного генератора в качестве измерительного устройства обычно основано на зависимости собственных частот струны от ее натяжения. В литературе указывается на перспективность применения струнного генератора в качестве гравиметра [1]. Другие возможные применения струнного генератора изложены в работах [2, 3, 4].

Точность измерительных приборов, содержащих струнный генератор, как правило, определяется относительной нестабильностью частоты его генерации. Существенное влияние на работу струнного генератора оказывает нелинейность струны, возникающая вследствие изменения действительной длины струны в процессе колебания. Аналогичный эффект может возникать при нелинейности датчика силы. Нелинейность системы вызывает смещение максимума резонансной кривой какого-либо тона струны с ростом амплитуды в область более высоких частот.

Нелинейность струны при определенных условиях может привести к параметрическому возбуждению пространственных колебаний. А так как собственные частоты во взаимно перпендикулярных плоскостях не совпадают, то стабильность частоты при этом снижается.

Введение дополнительного колебательного контура в цепь обратной связи струнного генератора позволяет осуществлять генерацию не только на основном тоне струны, но и на ее гармониках. Кроме того, перестраивая колебательный контур, можно в небольших пределах плавно изменять частоту генерации. По своей структуре струнный генератор с дополнительным контуром сходен с кварцевым генератором [5].

В данной работе показана возможность повышения стабильности по частоте и амплитуде струнного генератора с дополнительным контуром, основанная на использовании нелинейности струны.

Теоретический расчет генератора. Блок-схема рассматриваемого струнного генератора представлена на рис. 1, где 1 — струна с неподвижно закрепленными концами, 2 — электронная цепь обратной связи, состоящая из усилительных каскадов и перестраиваемого колебательного контура, 3 — электромагнитный датчик силы, действующий на струну в заданной точке, и 4 — оптический датчик смещения элемента струны.

При введении дополнительного контура струнный генератор, как правило, работает в одномодовом режиме. Это позволяет при расчете генератора вместо струны рассматривать эквивалентный ей на этой моде электрический колебательный контур. Уравнение вынужденных колебаний такого контура имеет вид

$$\ddot{V} + \delta_c \dot{V} + \omega_c^2 V + \gamma \omega_c^2 V^3 = -z \omega_c^2 I_d, \quad (1)$$

где V — заряд на конденсаторе эквивалентного контура, пропорциональный смещению струны в пучности, I_d — ток, протекающий через датчик силы, ω_c — выбранная контуром собственная частота струны, δ_c и γ — коэффициенты затухания и нелинейности струны соответственно. Коэффициент z характеризует связь между током I_d и силой, действующей на струну.

Для составления системы уравнений, описывающих струнный генератор, надо составить уравнение вынужденных колебаний в дополнительном контуре цепи обратной связи, учесть зависимость тока, вынуждающего колебания в контуре, от амплитуды колебаний струны и учесть зависимость тока в обмотке датчика силы от напряжения на контуре U .

Полученная таким путем система уравнений имеет вид

$$\ddot{V} + \omega_c^2 V = -\gamma \omega_c^2 V^3 - \delta_c \dot{V} + \frac{z}{L_d} \dot{U}, \quad (2)$$

$$\ddot{U} + \omega_c^2 U = h_a \omega_c^2 U - \delta_a \dot{U} + \frac{K}{C_a} (1 - 3\beta V^2) \dot{V},$$

где β — коэффициент нелинейности усилительных каскадов цепи обратной связи, K — суммарный коэффициент передачи всех элементов цепи обратной связи, исклю-

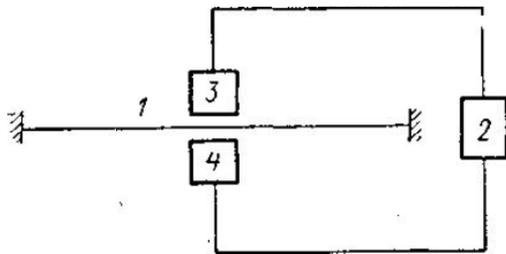


Рис. 1. Блок-схема струнного генератора с дополнительным колебательным контуром

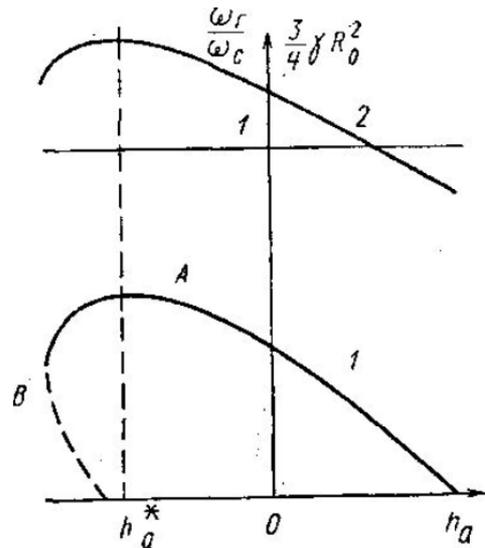


Рис. 2. Зависимость амплитуды колебаний струны и частоты генерации от расстройки

чая колебательный контур, C_a — емкость, δ_a — коэффициент затухания, ω_a — резонансная частота дополнительного контура, $h_a = \frac{\omega_c^2 - \omega_a^2}{\omega_c^2}$ — относительная расстройка.

Пользуясь методом усреднения [6], ищем решение в виде

$$V = R \cos \psi; \quad U = P \cos \psi + B \sin \psi;$$

$$\dot{V} = -\omega_c R \sin \psi; \quad \dot{U} = -\omega_c P \sin \psi + \omega_c B \cos \psi; \quad (3)$$

$$\psi = \omega_c t + \theta.$$

Выражения для стационарных амплитуд R_0 , P_0 , B_0 громоздки. Поэтому на рис. 2 приводится лишь графическая зависимость R_0 от расстройки h_a (кривая 1), построенная на основании этих выражений.

Эксперимент показал, что ветвь B неустойчива. При малой регенерации эта ветвь исчезает.

Из рис. 2 видно, что максимум стационарной амплитуды расположен в области $h_a < 0$. Расстройка h_a^* , при которой достигается этот максимум, определяется формулой

$$h_a^* = -\frac{\gamma}{\beta} \left(1 - \frac{\delta_a \delta_c C_a L_d}{Kz} \right). \quad (4)$$

Произведение Kz характеризует степень регенерации системы. С увеличением Kz значение h_a^* остается отрицательным, растет по абсолютной величине.

Стационарные значения P_0 и B_0 связаны с R_0 формулами:

$$P_0 = \frac{\delta_c L_{\text{д}}}{z} R_0; \quad (5)$$

$$B_0 = \frac{\delta_c h_a \omega_c L_{\text{д}}}{\delta_a z} R_0 + \frac{3}{4} \gamma \frac{\delta_c \omega_c L_{\text{д}}}{\delta_a z} R_0^3.$$

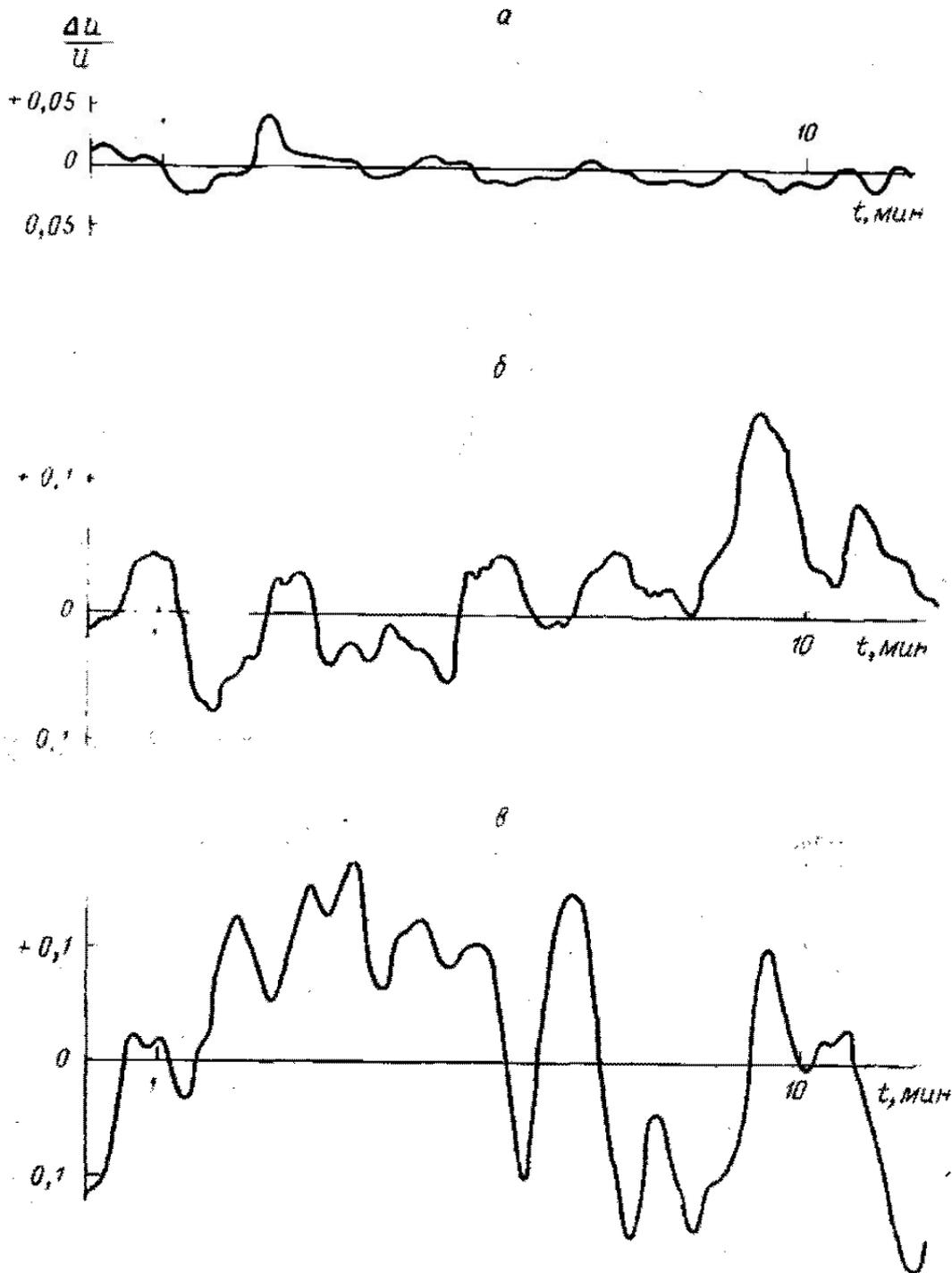


Рис. 3. Изменение относительного отклонения амплитуды колебаний во времени. а — $h_a = -0,8 \cdot 10^{-2}$, б — $h_a = 0,05 \cdot 10^{-2}$, в — $h_a = 0,55 \cdot 10^{-2}$

Напомним, что R_0 пропорционально амплитуде колебаний струны, а $\sqrt{P_0^2 + B_0^2}$ есть амплитуда колебаний в дополнительном контуре. Частота генерации ω_r определяется по формуле

$$\omega_r = \omega_c + \left(\frac{d\theta}{dt} \right)_0 = \omega_c - \frac{\delta_c}{2\delta_a} h_a + \frac{3}{8} \omega_c \gamma R_0. \quad (6)$$

Графическая зависимость ω_r от h_a показана на рис. 2 кривой 2. Она также имеет максимум при $h_a = h_a^*$, следовательно, при выборе расстройки h_a , равной h_a^* , повышается стабильность как частоты, так и амплитуды автоколебаний.

Эксперимент. Для проверки вывода теоретической части были произведены измерения при работе струнного генератора на третьей гармонике струны (частота 1070 Гц). Струна длиной 390 мм была изготовлена из стальной проволоки круглого сечения диаметром 0,6 мм. Добротность струны оказалась равной 3350 ± 150 , добротность дополнительного колебательного контура 34 ± 2 .

Результаты экспериментальной проверки зависимости амплитуды колебаний струны и частоты генерации от расстройки h_a подтвердили теоретический расчет.

Относительная нестабильность частоты генерации $\frac{|\Delta f|}{f_r}$ и нестабильность амплитуды колебаний струнного генератора измерялись при расстройках $h_{a1} = h_a^* = -0,8 \cdot 10^{-2}$ и двух значениях $h_a \neq h_a^*$.

Результаты эксперимента приведены в таблице, а также представлены на рис. 3, где $\frac{\Delta f_{\max}}{f_r}$ — максимальный относительный уход частоты, D — дисперсия, $\frac{\Delta U}{U}$ — относительное отклонение амплитуды колебаний.

h_a	$\frac{ \Delta f }{f_r}$	$\frac{\Delta f_{\max}}{f_r}$	D
$-0,8 \cdot 10^{-2}$	$0,42 \cdot 10^{-4}$	$0,93 \cdot 10^{-4}$	0,0116
$-0,05 \cdot 10^{-2}$	$0,61 \cdot 10^{-4}$	$1,86 \cdot 10^{-4}$	0,0129
$+0,55 \cdot 10^{-2}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,0267

Из данных таблицы и рис. 3 можно сделать вывод, что относительная нестабильность частоты и амплитуды колебаний струнного генератора минимальна, если генерация осуществляется при расстройках, соответствующих максимуму частоты генерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов В. П., Карагюз О. В., Кочерян Э. Г. «ВНИИОФИ. Научные труды», сер. Б, вып. 1, стр. 53, 1971.
2. Брызжев Л. Д. «Измерительная техника», № 6, 21, 1955.
3. Пивоваров Ю. И., Цодиков Ю. М. «Автоматика и телемеханика», 22, № 4, 539, 1961.
4. Оман Д. Цифровое телеизмерительное устройство с вибротронами. В сб.: «Управление и измерение на расстоянии». М., 1959.
5. Солин Н. Н. «Изв. вузов», радиофизика, 14, 100, 1971.
6. Малахов А. Н. Флуктуации в автоколебательных системах. М., 1968.

Поступила в редакцию
29.5 1974 г.

Кафедра
общей физики для мехмата
УДК 534.231 : 532.528

И. Б. ЕСИПОВ, Е. Ф. КОЗЯЕВ

О СПЕКТРЕ ШУМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ГАРМОНИЧЕСКОГО ЗВУКОВОГО ПОЛЯ

В настоящей работе проведен эксперимент по выявлению влияния гармонического звукового поля на спектр шума кавитирующей затопленной струи. Исследования были проведены в бассейне на установке «Кавитирующая затопленная струя» (КЗС). Блок-схема установки представлена на рис. 1. 1 — нагнетающий насос, 2 — вентилятор регулятора давления, 3 — бак-успокоитель, 4 — трубопровод с резиновой развязкой, 5 — измерительный манометр, 6 — профилированное сопло, 7 — излучатель звука