

УДК 629.7.54

О специфике работы наземных испытательных комплексов при определении акустической устойчивости конструкции КА

В. В. Карачун, А. В. Петрик

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

Надійшла до редакції 16.10.97

Аналізується вплив кінематичного збудження з боку рухомої основи на роботу роторної сирени. Визначається вплив обертання Землі на динаміку генератора аеродинамічного шуму.

Исследования последних двух-трех десятилетий убедительно подтверждают существенное влияние акустического излучения двигательных установок носителей на механические системы конструкции ЛА, а также на комплектующие элементы, в том числе на приборы командно-измерительного комплекса [2].

Шум реактивной струи, обладая достаточно широким диапазоном и высоким уровнем акустического давления (160—180 дБ), генерирует в элементах конструкции множество форм колебаний, в том числе и резонансные, которые в своей совокупности могут оказать существенное влияние на физико-механические свойства материала. В некоторых случаях акустическое излучение может привести к появлению необратимых деформаций и даже трещин, а в итоге — к нарушению целостности конструкции в целом.

Таким образом, возникает проблема анализа акустической устойчивости конструкции космических аппаратов (КА). Речь идет о нормировочных работах в условиях внешних звуковых воздействий интенсивностью выше 150 дБ, так как уровни ниже 130 дБ оговорены паспортными требованиями, и, естественно, изделия им соответствуют.

Конечно, создание акустического излучения,

максимально близкого по структуре натурным условиям, сопряжено с целым рядом трудностей как технического, так и экономического характера. Не останавливаясь подробно на анализе всех аспектов этой проблемы, отметим, что наиболее перспективными, экономичными, с самым высоким КПД (4—40 %) являются роторные пневматические сирены. Они позволяют с минимальными затратами генерировать в наземных условиях аэродинамический шум желаемого уровня и частотного диапазона.

Эффективная работа роторной пневматической сирены достигается в том случае, когда ее ротор и статор максимально приближены торцевыми плоскостями. Для реальных конструкций это составляет $3 \cdot 10^{-5}$ — $7 \cdot 10^{-5}$ м. В этом случае имеет место наиболее точное воспроизведение функции модуляции и желаемой структуры акустического излучения.

Вместе с тем, как оказалось, статическая и динамическая балансировка быстровращающегося ротора не обеспечивает заданного требования. Происходит постепенный перекосяк и затирание торцевых поверхностей ротора и статора.

Проанализируем работу роторной сирены с несколько иных позиций. Свои рассуждения будем строить на том факте, что роторная механическая

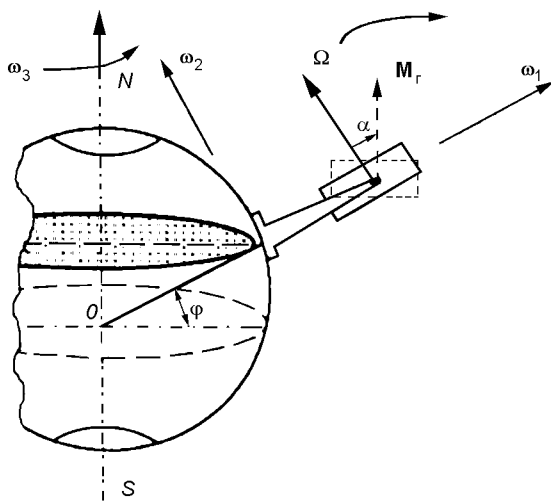


Рис. 1. Изменение пространственного положения ротора сирены вследствие влияния угловой скорости вращения Земли

система находится на подвижном основании, т. е. на Земле (рис. 1), вращающейся вокруг своей оси с угловой скоростью

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Ось вращения ротора примем составляющей с полуденной линией угол ψ (угол рыскания).

Быстро вращающийся тяжелый ротор сирены представляет собой механическую систему с двумя степенями свободы. Одна реализуется собственным вращением ротора вокруг своей оси геометрической и массовой симметрии с угловой скоростью Ω , вторая — поворотом ведущего вала вместе с посаженным на него ротором вокруг оси, перпендикулярной к оси вала, на величину, пропорциональную радиальному люфту Δ подшипников.

Наличие вертикальной составляющей ω_1 угловой скорости вращения Земли ($|\omega_1| = \omega_3 \sin \varphi$, где φ — широта места) приводит к появлению гироскопического момента $M_r = I\Omega \times \omega_1$ (I — осевой момент инерции ротора и вала с подшипниками), стремящегося установить ось собственного вращения ротора сирены параллельно вектору ω_1 (рис. 1). Тогда под действием гироскопического момента ротор сирены займет новое положение (пунктирная линия), отклоненное в вертикальной плоскости на угол α от первоначального.

Таким образом, подшипники ротора будут испытывать дополнительно постоянное гироскопическое давление N_r . По третьему закону Ньютона реакция подшипников на это давление будет равна по

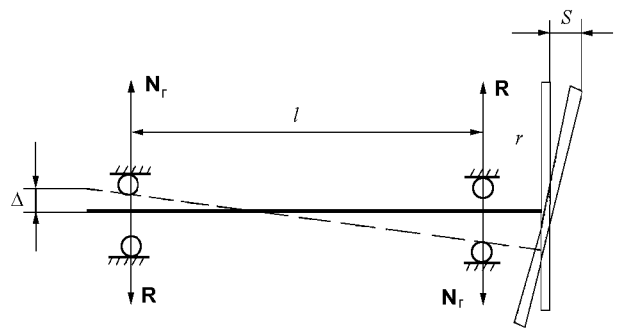


Рис. 2. Дополнительные гироскопические давления на подшипники ведущего вала роторной сирены

модулю и противоположна по направлению гироскопическому давлению. Вполне очевидно выполнение равенства гироскопического момента M_r и момента реакции подшипников M_R , то есть $M_r = -M_R$ (рис. 2).

Таким образом, будет наблюдаться затирание дисков ротора и статора. Кроме того, уменьшится в $\cos \alpha$ раз эффективная площадь окон сирены и увеличится непроизводительный расход f_{\min} воздуха, что в итоге приводит к уменьшению уровня генерируемого сиреной аэродинамического шума на величину $\Delta P = 20 \lg(1 - f_{\min}/f_{\max})$ дБ и искажению функции модуляции [1]. Если зазор между дисками ротора и статора отсутствует, то $f = 0$ при закрытых окнах и $f = f_{\max} = f_0$ при открытых окнах (f_0 — расход воздуха при отсутствии зазора между дисками при открытых окнах).

Для повышения качества воспроизведения задаваемого спектрального состава генерируемого однороторной сиреной аэродинамического шума, а также уменьшения непроизводительного расхода воздуха и увеличения срока службы сирены можно, как один из вариантов, ввести автоматическую коррекцию заданного равного минимального расстояния между концами вертикальных диаметров дисков вращающегося ротора и статора.

При регулировке сирены зазор между дисками ротора и статора устанавливается минимально возможным — 0.03—0.07 мм.

Реверберационная камера вместе с сиреной устанавливается на горизонтальной вращающейся платформе, механически соединенной с валом двигателя, управляющая обмотка которого подключена к задатчику широты и дифференциальному усилителю, соединенному с датчиками неразрушающего контроля. По сигналу задатчика широты двигатель вращает платформу относительно вертикали места

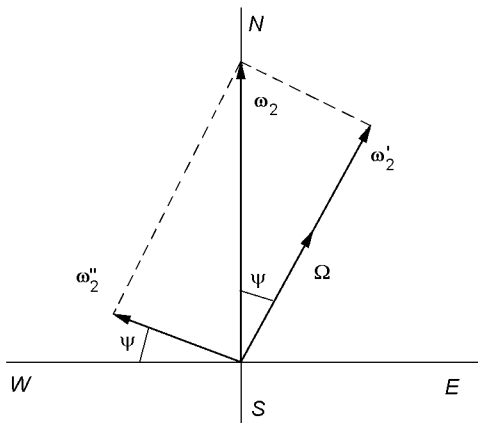


Рис. 3. Влияние горизонтальной составляющей вращения Земли на работу роторной сирены

с угловой скоростью $\omega'_1 = -\omega_3 \sin \varphi$, компенсируя тем самым влияние вертикальной составляющей угловой скорости вращения Земли. По сигналам датчиков неразрушающего контроля через дифференциальный усилитель подается дополнительное напряжение на управляющую обмотку двигателя, пропорционально имеющему место неравенству расстояний между концами вертикальных диаметров дисков вращающегося ротора и статора. Наличие добавочной угловой скорости $\Delta\omega$ платформы приведет к появлению гироскопического момента $\Delta M_T = I\Omega \times \Delta\omega$, благодаря чему диск ротора сирены установится параллельно диску статора (до наступления равенства расстояний между концами вертикальных диаметров).

Чтобы исключить перекрестное влияние угловых скоростей, платформа должна быть строго горизонтальной.

Таким образом, на показатели работы роторной сирены оказывает влияние кинематическое возмущение со стороны основания, в частности, угловая скорость вращения Земли. Проведенный анализ показывает, что пренебрегать этим влиянием недопустимо. Из этого следует вывод о необходимости контроля и электродинамической регулировки не-

которых параметров роторной сирены не только в исходном состоянии (статическая и динамическая балансировка), но и обязательно во время ее работы, а предлагаемое техническое решение позволяет устранить этот недостаток.

В заключение следует отметить, что в том случае, когда ось собственного вращения ротора сирены не совпадает с полуденной линией на угол ψ , составляющая угловой скорости вращения Земли $\omega''_2 = \omega_3 \cos \varphi \sin \psi$, направленная на запад, также приведет к возникновению гироскопической реакции и вынужденному движению оси ротора (рис. 3). Очевидно, что составляющая $\omega'_2 = \omega_3 \cos \varphi \cos \psi$, параллельная вектору кинетического момента ротора, не будет оказывать влияния на динамику сирены (в предположении малости люфтов подшипников). Таким образом, совмещая ось ротора с полуденной линией, можно полностью исключить влияние горизонтальной составляющей ω_2 вращения Земли на работу роторной сирены. Если ось вращения ротора ориентировать параллельно линии *WE* (запад—восток), то влияние перекрестной составляющей угловой скорости вращения Земли будет максимальным.

1. А. с. 228565 СССР, МПК G 10 К. Однороторная сирена / Л. Е. Магохнюк, Ю. А. Кашталян. — Оpubл. 08.10.68, Бюл. № 31.
2. Карачун В. В., Мартыненко В. С. О перемещении абсолютно твердой оболочки под воздействием внешней акустической волны давления // Докл. АН УССР. Сер. А.— 1991.— № 3.— С. 42—45.

ON SOME PECULIARITIES IN THE OPERATION OF GROUND COMPLEXES WHEN DETERMINING THE ACOUSTIC STABILITY OF SPACECRAFT CONSTRUCTION

V. V. Karachun and A. V. Petrik

We analyze the influence of kinematics excitation from a moving base on the operation of a rotor siren. The effect of Earth rotation on the dynamics of an aerodynamic noise generator is estimated quantitatively and qualitatively.