

Література

1. Jankauskas V. Strengthening machine elements working under abrasive environment by alloying with hard layers and their estimation / V. Jankauskas // *Mechanika*, 2006. - №.1(57), P. 55-60.
2. Jankauskas V. Research of strengthening plough parts by welding / V. Jankauskas, R. Kreivaitis, D. Stonkus, A. Andriušis // *Mechanika*, 2008. - №.1(69), P. 80-84.
3. Stachowiak G.W. Engineering tribology (2nd ed.)/ G.W. Stachowiak, A.W. Batchelor, 2000. – 769 p.
4. Graff L. Discrete element method simulation of wear due to soil-tool interaction: a thesis... master science: Agricultural and Bioresource Engineering / Lyndon Graff. - Saskatoon, Canada, 2010. - 120 p.
5. Bhushan B. Modern tribology handbook: Principles of tribology / B. Bhushan // Kato K. Wear Mechanisms / K. Kato, K. Adachi. - CRC Press, Boca Raton, London, New York Washington, D.C., 2001. - 1690 p.
6. Попов С.М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні: Навчальний посібник / С.М. Попов, Д.А. Антонюк, В.В. Нетребко. – Запоріжжя: ЗНТУ, ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с.
7. Попов С.М., Антонюк Д.А., Редька М.О. Аналіз механізму зношування біл диспергаторів // Тези міжнар. наук.-практ. конференції «Ольвійський форум – 2011: стратегії України в геополітичному просторі». – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – Том 11. – С.3-4.
8. Попов С.М., Антонюк Д.А., Редька М.О. Підвищення зносостійкості робочих органів диспергаторів для подрібнення шлаків металургійного виробництва // Матеріали Міжнар. науково-технічної конференції «Сучасні аспекти металознавства та термічної обробки металів» (м. Маріуполь). – Маріуполь.: ПДТУ, 2010. – С.130–131.
9. Попов С. Н. Решение задач трибоматериаловедения на основе системных многокритериальных методов математического анализа износостойкости сталей и сплавов / С. Н. Попов, Д. А. Антонюк, Т. В. Попова // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2004. - №4. – С. 172–181.
10. Popov S.N. Adequacy analysis of methods of forecasting the abrasive stability steels and alloys / S.N. Popov // Problems of Tribology. – Хмельницький: Хмельницький національний університет Міністерства освіти і науки України: журнал – 2005. – №2 (35). – С.95-101.

*Аналізуються технічні можливості роторної динамічної сирени для створення аеродинамічного шуму звукової частоти на стаціонарному стенді наземних випробувальних комплексів при виконанні напівнатурних випробувань приладів командно-вимірювального забезпечення літальних апаратів різного класу і засобів базування. Розкриваються можливості сирени з трикутною функцією модуляції*

*Ключові слова: роторна динамічна сирена, функція модуляції, аеродинамічний шум, кількість місць, стенд*

*Анализируются технические возможности роторной динамической сирены для создания аэродинамического шума звуковой частоты на стационарном стенде наземных испытательных комплексов при проведении полунатурных испытаний приборов командно-измерительного обеспечения летательных аппаратов различного класса и средств базирования. Раскрываются возможности сирены с треугольной функцией модуляции*

*Ключевые слова: роторная динамическая сирена, функция модуляции, аэродинамический шум, число мест, стенд*

УДК 629.7.054

# РОТОРНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ СИРЕНА С ТРЕУГОЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ МОДУЛЯЦИИ

**М. Ф. Калинина**  
Аспирант

Кафедра биотехники и инженерии  
Национальный технический университет  
Украины

«Киевский политехнический институт»  
пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056  
E-mail: kalinina.miroslava@yandex.ua

## 1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены анализу возможностей роторной

динамической сирены для воспроизведения реальных летной эксплуатации в наземных условиях. Полунатурные испытания на стенде позволят не только установить соответствие параметров бортовой аппаратуры

Паспортным требованиям, но и прогнозировать появление локальных особенностей механических систем приборов в акустических полях. В первую очередь это актуально для сверхзвуковой авиации, базирующейся на открытых стартовых позициях в естественных условиях.

**2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований**

Флуктуации давления воздушной среды очень часто оказываются причиной колебаний корпуса ЛА и вызывают, по-видимому, большую часть нерегулярных вибраций фюзеляжа. Случайные пульсации из-за неустойчивости потока воздуха содержат области, вызывающие интенсивные пульсации давления вблизи ракеты.

Поля давлений, как известно, могут быть двух категорий. В одном случае, они являются порождением местных функций количества движения и сжимаемость воздуха не оказывает существенного влияния. Во втором, при акустических давлениях, наоборот, сжимаемость воздуха играет решающую роль для формирования интенсивности и скорости распространения звуковых волн.

В случае акустических давлений, волны перемещаются с местной скоростью звука относительно окружающей среды. Однако, вследствие движения ЛА, скорость волн давления на поверхности будет определяться уже суммой местной скорости звука и скорости полета. И, поскольку последняя сильно изменяется, а звуковые волны подходят под разными углами, то становится очевидным, что скорость перемещения волн давления относительно фюзеляжа может принимать множество значений.

Теория пульсаций давления берет свое начало из двух классических работ M.J. Lighthill's о звуке, генерируемом в аэродинамическом потоке [1, 2].

Акустическую аналогию он начал строить, комбинируя точные уравнения сохранения количества движения с уравнениями неразрывности в одно – волновое, с правой частью [1]:

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c_0^2 \nabla^2 \rho = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}, \tag{1}$$

где  $x, t$  - соответственно, координаты и время;  $\rho$  - плотность жидкости;  $T_{ij}$  - тензор турбулентных напряжений.

Преобразовав уравнения (1) в волновое для давления, получим:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - c_0^2 \nabla^2 P = c_0^2 \frac{\partial^2 \rho U_i U_j}{\partial x_i \partial x_j} + \frac{\partial^2}{\partial t^2} (P - c_0^2 \rho). \tag{2}$$

В случае турбулентного потока около твердых стенок это уравнение имеет решение [3, 4]:

$$\begin{aligned} \{P - P_0\}(\vec{x}, t) = & \\ = (2\pi)^{-1} \int_V \left\{ \frac{\partial^2 \rho U_i U_j}{\partial y_i \partial y_j} \right\} & \left( \vec{y}, t - c_0^{-1} |\vec{x} - \vec{y}| \right) |\vec{x} - \vec{y}|^{-1} dV(\vec{y}) + \tag{3} \\ + (2\pi c_0)^{-1} \int_V \frac{d^2}{dt^2} \{P - c_0^2 \rho\} & \left( \vec{y}, t - c_0^{-1} |\vec{x} - \vec{y}| \right) |\vec{x} - \vec{y}|^{-1} dV(\vec{y}) + \\ + (2\pi)^{-1} \int_S \frac{\partial}{\partial y_n} \left( |\vec{x} - \vec{y}|^{-1} \right) & \left( \vec{y}, t - c_0^{-1} |\vec{x} - \vec{y}| \right) dS(\vec{y}), \end{aligned}$$

где  $\vec{x}, \vec{y}$  – координатные векторы,  $y_n$  – составляющая вектора  $\vec{y}$  в направлении внешней нормали к поверхности.

Наиболее удобная форма представления сверхзвукового пограничного слоя еще не найдена, однако, аргументы, высказанные в работе [5], научно обосновывают возможность применения уравнения

$$\{p - p_0\}(\vec{x}, t) = (2\pi)^{-1} \int_V \frac{\partial^2 \{ \rho U_i U_j \}}{\partial y_i \partial y_j} (\vec{y}, t) |\vec{x} - \vec{y}|^{-1} dV(\vec{y}). \tag{4}$$

Простейшие соображения анализа размерностей дают право утверждать, что давление будет пропорционально среднему скоростному напору, то есть

$$\sim \rho_0 U^2. \tag{5}$$

Влияние скорости полета ЛА нетрудно учесть, умножив давление на величину  $(1 + M^* \cos \theta)$ , где  $M^*$  – число Маха для летательного аппарата.

Целью работы является анализ возможностей роторной сирены для формирования желаемого спектра акустического излучения при стендовых испытаниях аппаратуры.

**3. Роторная динамическая сирена с треугольной функцией модуляции**

Представляет интерес анализ работы сирены с функцией модуляции, имеющей форму треугольных импульсов для оценки ее перспектив (рис. 1). Такая форма функции модуляции может иметь место, например, при абсолютном совпадении геометрии окон ротора и статора. С другой стороны, в форме треугольника, или его комбинаций, могут быть изготовлены окна дисков ротора и статора, наконец, *shutter*.

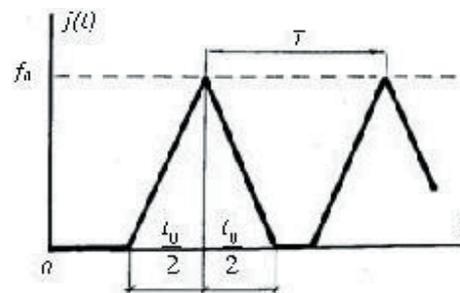


Рис. 1. Треугольная функция модуляции

Суммарная функция модуляции для этого случая будет иметь вид

$$f_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^s \left[ \frac{pf_0}{2m} + \frac{2pf_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} n^{-1} \sin^2 \left( \pi \frac{n}{2m} \right) \cos n\varphi_i \right]. \tag{6}$$

Вводя обозначения

$$\begin{aligned} \frac{2pf_0}{\pi} \sum_{i=1}^s \sum_{n=1}^{\infty} n^{-1} \sin^2 \left( \pi \frac{n}{2m} \right) \cos n\varphi_i &= B_n; \\ \frac{2pf_0}{\pi} \sum_{i=1}^s \sum_{n=1}^{\infty} n^{-1} \sin^2 \left( \pi \frac{n}{2m} \right) \sin n\varphi_i &= B_n^0; \quad A_n^0 = \frac{\pi A_n}{2pf_0} \end{aligned} \tag{7}$$

с учетом равенства Парсеваля, получаем формулу для вычисления амплитуд гармоник спектра сирены

$$A_n = [B_n^2 + C_n^2]^{\frac{1}{2}} = \frac{2pf_0}{\pi} \left\{ \left[ \sum_{i=1}^s \sum_{n=1}^{\infty} n^{-1} \sin^2 \left( \pi \frac{n}{2m} \right) \cos n\varphi_i \right]^2 + \left[ \sum_{i=1}^s \sum_{n=1}^{\infty} n^{-1} \sin^2 \left( \pi \frac{n}{2m} \right) \sin n\varphi_i \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

При числе мест  $m = 18$  (рис. 2) в спектре наблюдаются явно выраженные три полосы частот – 0...20, 35...55, 75...95, а на участках 25...35, 55...75 и 95...100 – «провалы» (по сути дела эти формы в спектре отсутствуют). Таким образом, ротором сирены с числом мест  $m = 18$  удобно пользоваться для формирования заданных частотных полос спектра. Для значений  $m = 59$  спектр схож со спектром сирены, у которой функция модуляции имеет quasi-трапецидальную форму. Они, как видно, практически совпадают.

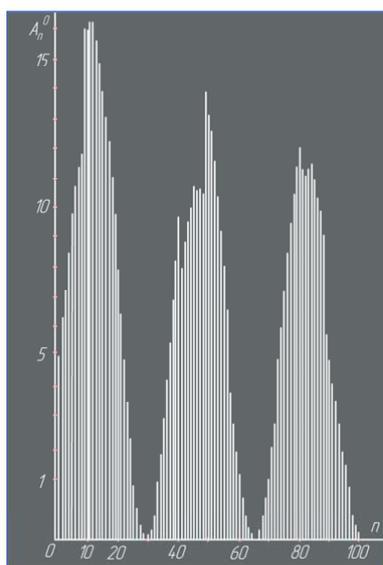


Рис. 2. Спектр сирены с треугольной функцией модуляции при числе мест  $m=18$

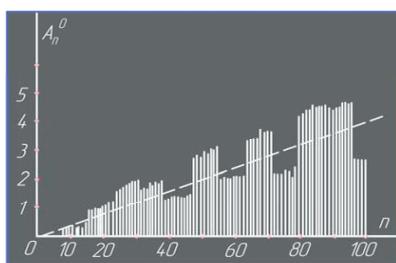


Рис. 3. Спектр сирены с треугольной функцией модуляции и числом мест  $m=276$

При числе мест  $m = 276$  и выше, например,  $m = 1528$ , спектр сирены имеет тенденцию к увеличению амплитуд гармоник с увеличением их номера (рис. 3).

Это свойство, наряду с белым шумом, очень важно для практики, так как позволяет оценивать акустическую податливость элементов конструкции и бортовой аппаратуры, собственные частоты которых достаточно высоки.

В этом случае, сирены с числом мест  $m = 59$ , например, непригодны, так как амплитуды гармоник с номерами выше 120 практически отсутствуют, и вся энергия акустического излучения сосредоточена на низких частотах.

С увеличением числа мест  $m$  на роторе характеристика спектра располагается более круто относительно оси частот (рис. 4, пунктирная линия).

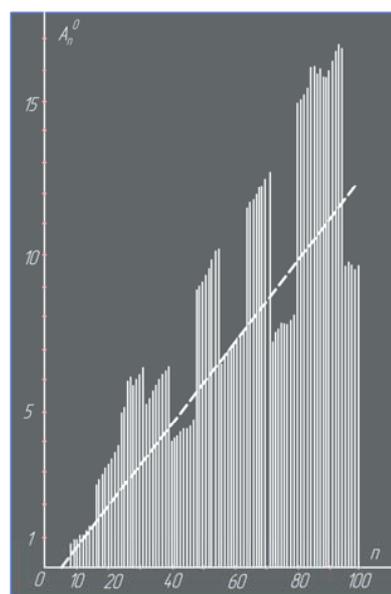


Рис. 4. Спектр роторной сирены с треугольной функцией модуляции и числом мест  $m = 1528$

#### 4. Выводы

Таким образом, треугольная функция модуляции позволяет с помощью однороторной динамической сирены сформировать многополосный аэродинамический шум звуковой частоты или создать спектр с преобладающим присутствием высоких частот, что очень важно для стендовой оценки на соответствие прибора Паспорту [7, 8, 9, 10].

#### Литература

1. Lighthill, M.J. On sound generated aerodynamically [Текст]/ M.J.Lighthill. – London: Part I, General theory, Proc. Soc., 221 A, 1951. – P. 564-587.
2. Lighthill, M.J. On sound generated aerodynamically [Текст]/ M.J.Lighthill. – London: Part II, Turbulence as a source of sound, Proc. Roy. Soc., A 222, 1954. – P. 1-32.
3. Beicher, P.M. Use of a high intensity siren in fatigue testing of structure subjected to acoustical forcing [Текст]/ P.M.Beicher // Proc. 52nd meeting of Acoustical Society of America. Los Angeles, Calif. N 15, 1956.

4. Kistler, A.L. The fluctuating pressure field in a supersonic turbulent boundary layer [Текст]/ A.L. Kistler, W.S. Chen// Jet Propulsion Laboratory Technical Report, № 32, 1962. – 277 p.
5. Parks, P.C. A “Random” Siren Using Cycle Chain Codes [Текст]/ P.C. Parks, C.A. Mercer// Reports 5 Congres Iternational D’Acoustique, 1965, vol. 54. – P. 1072-1076.
6. Allen, C.H., A powerful high frequency siren [Текст]/ C.H. Allen, J.A. Rudneck // JASA. 1947. - 19, № 5. – P. 874 – 879.
7. Карачун, В.В. Некоторые вопросы расчета сирен [Текст]/ В.В. Карачун // Пробл. прочности. - 1990. - № 6. – С. 123 – 124.
8. Карачун, В.В. Волновые задачи поплавкового гироскопа [Текст]/ В.В. Карачун, Я.Ф. Каюк, В.Н. Мельник. – К.: «Корнейчук». – 2007. – 228 с., ил.
9. Патент 32273А Україна, G10K7/02. Спосіб збудження звукових коливань за допомогою динамічної сирени [Текст]/ В.В. Карачун, М.С. Тривайло, О.В. Петрик, Н.В. Гнатейко. – 99020598. – Заявл. 02.02.99.; опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7-11. – 1 с.
10. Патент 33211А Україна, G10K7/02. Динамічна сирена [Текст]/ В.В. Карачун, М.С. Тривайло, О.В. Петрик, Н.В. Гнатейко. – 99010272; - Заявл. 19.01.1999; опубл. 15.02.2001. – Бюл. № 1. – 1с.

УДК 621.924:753

# ВИМІРЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ШЛІФУВАННЯ НЕЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ З КРИВОЛІНІЙНОЮ УТВОРЮЮЧОЮ

*Експериментально доведено, що при вимірюваннях нежорстких деталей контактним методом внаслідок сили взаємодії вимірювального щупа з деталлю виникає похибка вимірювань, яка є детермінованою і визначається деформацією технологічної системи під дією цієї сили. Запропоновано алгоритм корекції з використанням залежностей, який дає змогу усунути похибку вимірювань при обробленні даних за допомогою розробленої методики*

*Ключові слова: точність, шліфування, нежорсткі деталі, криволінійна утворююча, похибка вимірювання*

*Експериментально доказано, что при измерении нежестких деталей контактным методом вследствие силы взаимодействия измерительного щупа с деталью возникает погрешность измерения, которая является детерминированной и определяется деформацией технологической системы под действием этой силы. Предложен алгоритм коррекции с использованием зависимостей, который дает возможность устранить погрешность измерения при обработке данных с помощью разработанной методики*

*Ключевые слова: точность, шлифование, нежесткие детали, криволинейная образующая, погрешность измерения*

**Ю. В. Петраков**

Доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри\*

E-mail: yp-86@yandex.ru

**К. М. Паньків**

Кандидат технічних наук, асистент\*

E-mail: kmp7@i.ua

**С. М. Чамата**

Аспірант\*

\*Кафедра технології машинобудування  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: chamatik@ukr.net

## 1. Вступ

В багатьох сучасних агрегатах, машинах і механізмах використовують відповідальні нежорсткі деталі типу вал [1, 2]. Але визначення точності виготовлення нежорстких деталей завжди викликає певні труднощі на виробництві [3, 4, 5].

Ця задача значно ускладнюється, коли необхідно визначити точність нежорстких деталей з криволінійною утворюючою. До таких деталей відносяться оправки станів холодної прокатки труб (ХПТ) малого діаметру з криволінійною утворюючою робочою

поверхні [6, 7]. За умовами технологічного процесу пільгування труб до точності робочої поверхні оправки пред'являються високі вимоги  $\pm 0,03\text{мм}$  за діаметральним розміром за всією довжиною робочої поверхні.

## 2. Постановка задачі

Оправки станів ХПТ виготовляються зі спеціальної сталі (Сталь 60С2ХФА, твердість HRC 54..58, Сталь S 690 BOHLER, твердість HRC 58..64 тощо),