

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Сучасні технології
у промисловому виробництві**

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

*III Всеукраїнської міжвузівської
науково-технічної конференції
(Суми, 22–25 квітня 2014 року)*

ЧАСТИНА 1

Конференція присвячена Дню науки в Україні

Суми
Сумський державний університет
2014

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ГАЗОВОГО УПЛОТНЕНИЯ

Хализева А. Г., магистр, СумГУ, г. Сумы

Уровень развития современной промышленности напрямую связан с умением проектировать и изготавливать надежные уплотнения подвижных соединений. Экспериментальные исследования и опыт эксплуатации показали, что импульсные уплотнения удовлетворяют двум главным условиям, предъявляемым к уплотнениям роторов: обладают требуемой герметичностью и повышенной надежностью.

Расширение области применения импульсных уплотнений для высокооборотных турбомашин потребовало более подробного изучения методики аналитической оценки конструктивных параметров, обеспечивающих минимальные протечки и предотвращающих опасность возникновения задира в случае, когда в качестве уплотняемой среды используется газ. Уплотнение рассматриваемого типа является системой автоматического регулирования торцового зазора; внешним воздействием для него считается величина уплотняемого давления, а усилие предварительного сжатия пружин – элементом настройки.

В работе введен ряд допущений: рассмотрена баротропная среда изотермический, установившийся (стационарный) поток. Полученные выражения (1) дают возможность оценить величину расхода, как для ламинарного, так и для турбулентного режимов течения. Их сравнение с традиционными расчетными формулами (2) для жидкости показало, что существует отличие в зависимости расхода от перепада давления в канале.

$$Q_{\lambda}^z = \frac{\pi r h^3}{6 \mu l} \cdot \frac{p_2^2 - p_1^2}{2 p_0}, \quad Q_m^z = \sqrt{\frac{16 \pi^2 r^2 h^3}{\lambda l \rho_0}} \cdot \sqrt{\frac{p_2^2 - p_1^2}{2 p_0}}, \quad (1)$$

$$Q_{\lambda}^x = \frac{\pi r h^3}{6 \mu l} \cdot (p_2 - p_1); \quad Q_m^x = \sqrt{\frac{16 \pi^2 r^2 h^3}{\lambda l \rho_0}} \cdot \sqrt{p_2 - p_1}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, l – длина дросселирующего канала, h – местный зазор в кольцевом канале, $p_{1,2}$ – давление в канале со стороны входа и со стороны выхода, ρ_0, p_0 – начальное значение плотности и давления, λ – коэффициент сопротивления трения, r – текущий радиус.

На основании уравнения баланса расходов и уравнения осевого равновесия аксиально подвижного кольца импульсного уплотнения получены расчетные зависимости, позволяющие определить область функционирования и границы статической устойчивости по основным геометрическим и режимным параметрам; построить расходную и

статическую характеристики. Зависимости торцового зазора и протечек от уплотняемого давления и частоты вращения ротора в безразмерном виде приведены ниже:

$$\bar{Q} = u^3 \cdot \psi_2^2, \quad (3)$$

$$u = \left[-\Omega \cdot \frac{\psi_1 \cdot (1 + \sigma) - K}{\psi_1^2 \cdot (\alpha \cdot \sigma^2 - \alpha_{12}) - 2 \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot K \cdot \psi_1 + \alpha \cdot K^2} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (4)$$

$$\psi_2 = \frac{\frac{\Omega}{u^3} \cdot \sqrt{\frac{\Omega^2}{u^6} + 4 \cdot \alpha \cdot (\alpha_{12} \cdot \psi_1^2 - \frac{\Omega}{u^3} \cdot \psi_1)}}{2 \alpha}, \quad (5)$$

где безразмерные параметры: $\Omega = \frac{\omega_n}{\omega}$ – частота вращения ротора, $\psi_1 = \frac{p_1}{p_n}$ – уплотняемое давление, σ – площадь, $\alpha_{12} = \frac{g_{1n}}{g_{2n}}$, $\alpha_{32} = \frac{g_{3n}}{g_{2n}}$, $\alpha = \alpha_{12} - \alpha_{32}$ – относительные проводимости дросселирующих каналов, $K = \frac{k \cdot \Delta}{p_n \cdot A}$ – усилие предварительного сжатия пружин.

Дополнительно проведена предварительная оценка величины зазора и расхода при равных значениях проводимостей входного и выходного дросселей. Малые величины жесткости пружин не принимались во внимание. В результате в безразмерном виде получены следующие расчетные зависимости:

$$\bar{Q} = \frac{\Omega \cdot (1 + \sigma) \cdot \sigma^2}{\alpha_{12}} \cdot \psi_1, \quad (6)$$

$$u = \left[\frac{\Omega \cdot (1 + \sigma)}{\alpha_{12} \cdot \psi_1} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (7)$$

$$\psi_2 = \psi_1 - \alpha_{12} \cdot \frac{u^3}{\Omega} \cdot \psi_1^2. \quad (8)$$

Проведенный анализ является лишь первым этапом при расчете импульсного газового уплотнения как системы автоматического регулирования торцового зазора и протечек. В дальнейшем необходимо рассмотреть случай турбулентных режимов течения в торцовых дросселирующих каналах, а также выполнить динамический расчет для определения величины критических частот осевых колебаний ротора и провести оценку динамической устойчивости уплотнения.

Работа выполнена под руководством профессора Марцинковского В. А.