

Никитин А. А., Денисов Е. В., Акулин В. В.

РАСЧЕТ РАСХОДА ЖИДКОСТИ В РОТОРНО-ИМПУЛЬСНОМ АППАРАТЕ

Работа выполнена под руководством д.т.н. проф. Промтова М. А.

*ГГТУ, Кафедра «Машины и аппараты
химических производств»*

Роторно-импульсные аппараты (РИА) применяются для интенсификации химико-технологических процессов (ХТП) в различных отраслях промышленности. Принцип работы РИА основан на нестационарности потоков вещества, энергии и импульса. РИА эффективны для проведения процессов в системах твердое - жидкость, жидкость - жидкость, газ - жидкость, а именно - эмульгирования, диспергирования, экстрагирования [1].

При проектировании роторно-импульсных аппаратов одной из важных задач является определение расхода обрабатываемой жидкости.

Количество обрабатываемой жидкости можно определить по формуле:

$$Q(t) = V(t) \cdot s(t), \quad (1)$$

где $V(t), s(t)$ - скорость потока жидкости в канале статора, м/с, и площадь проходного сечения канала статора, м².

Относительная площадь проходного сечения при совмещении канала ротора с каналом статора определяется по формуле [2]:

$$s(t) = \begin{cases} \left(1 - \frac{t \cdot \omega R_p}{a_c}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{t \cdot \omega R_p}{a_c}\right)^2 + \left(\frac{\delta}{a_c}\right)^2} + \left(\frac{t \cdot \omega R_p}{a_c}\right)^2; 0 \leq t \leq \frac{a_c}{\omega R_p} \\ \frac{a_c}{\omega R_p} < t \leq \frac{a_p}{\omega R_p} \\ \left(\frac{t \cdot \omega R_p}{a_c} - \frac{a_p}{a_c}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{a_p}{a_c} + 1 - \frac{t \cdot \omega R_p}{a_c}\right)^2 + \left(\frac{\delta}{a_c}\right)^2} + \left(\frac{a_p}{a_c} + 1 - \frac{t \cdot \omega R_p}{a_c}\right)^2; \frac{a_p}{\omega R_p} < t \leq \frac{a_p + a_c}{\omega R_p} \\ \frac{\delta}{a_c}; \frac{a_p + a_c}{\omega R_p} < t \leq \frac{b_c + a_p}{\omega R_p} \end{cases} \quad (2)$$

Основным уравнением, на основании которого проводятся расчеты гидродинамических параметров течения потока жидкости в канале статора, является нестационарное уравнения Бернулли [1,2]:

$$\beta \cdot l_3 \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{V^2}{2} \left(\xi_3(t) + \frac{B(t) \cdot \mu}{d_3 \cdot \rho \cdot V} \right) = \frac{\Delta P(t)}{\rho}, \quad (3)$$

где β - коэффициент количества движения; l_3 - длина пути жидкости в прерывателе, м; d_3 - эквивалентный гидравлический диаметр, м; $\xi_3(t)$ - суммарный коэффициент местного гидравлического сопротивления, $B(t)$ - коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий потери напора; ρ - плотность жидкости, кг/м³; μ - коэффициент динамической вязкости, Па·с; V - скорость потока жидкости по каналу прерывателя, м/с; $\Delta P(t)$ - перепад давления, Па.

Данное уравнение позволяет определить зависимости $\frac{d}{dt}V(t), V(t)$, а по ним определить значения динамических параметров потока жидкости. Основными параметрами, определяющими эффективную работу аппарата, являются закон изменения скорости и давления в потоке жидкости проходящей через прерыватель РИА. Немаловажное значение также имеет задача определения расхода жидкости обрабатываемой аппаратом, мощности, затрачиваемой на выполнение данной операции.

В процессе совмещения каналов ротора и статора существует два характерных периода времени, поэтому расход целесообразно рассчитать для этих двух периодов:

$$Q_1 = \frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} Q(t) dt, \quad Q_2 = \frac{1}{T - \tau} \cdot \int_{\tau}^T Q(t) dt, \quad (4)$$

$$\text{где} \quad \tau = \frac{a_p + a_c}{\omega \cdot R_p}, \quad T = \frac{a_c + b_c}{\omega \cdot R_p}, \quad (5,6)$$

где ω – скорость вращения ротора, рад/с;

R_p – радиус ротора, м.

a_p, a_c – ширина канала ротора и статора соответственно, м.

Для определения усредненного значения расхода применим следующую формулу:

$$Q_{cp} = (Q_1 + Q_2) \cdot z^2 \cdot n,$$

где z – число прорезей в роторе и статоре;

n – частота вращения ротора, об/сек.

В результате численного решения уравнения (1) построен график зависимости расхода $Q(t)$ потока жидкости от времени $\tau = [0; T]$ (рис 1).

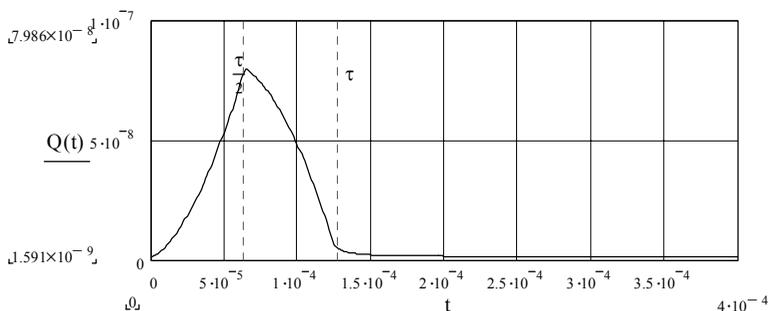


Рис. 1. Зависимость расхода Q от времени

Решения данных уравнений проводилось в среде MathCAD 2001i. В качестве жидкости была взята вода для которой: $\mu=0.0018 \text{ Па}\cdot\text{с}$, $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$. Геометрические и режимные характеристики РИА: $a_p=a_c=0.002 \text{ м}$, $b_p=b_c=0.029 \text{ м}$, $l_p=0.01 \text{ м}$, $l_c=0.02 \text{ м}$, $\delta=1\cdot 10^{-4} \text{ м}$, $R_p=0.1 \text{ м}$, угловая скорость ротора $\omega=150 \text{ с}^{-1}$, $\Delta P=10^5 \text{ Па}$.

Данный расчет позволяет определить не только расход жидкости относительно технологических параметров, но также по заданному расходу менять значения рабочих параметров аппарата подбирая тем самым оптимальные параметры работы роторно – импульсного аппарата.

Список литературы

1. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение; 2001. – 260 с.
2. Балабышко А. М., Зимин А. И., Ружицкий В. П. Гидромеханическое диспергирование. М.: Наука, 1998. 331с.