

## К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ САМОВСАСЫВАЮЩИХ МЕШАЛОК

**В.Я. Стороженко**, канд. техн. наук;

**В.И. Шабрацкий**, канд. техн. наук, доцент,

Сумской государственной университет, г. Сумы;

Институт химических технологий ВНУ им. В. Даля, г. Рубежное

Объемные газо-жидкостные аппараты с перемешивающими устройствами, в которых газообразный реагент или воздух подается посредством различных конструкций самовсасывающих мешалок, используются в химической промышленности для получения синтетических моющих средств, в массообменных процессах в системах газ-жидкость, в очистных сооружениях – аэротенках. К ним относятся турбинные и эжекционные самовсасывающие мешалки [1,2].

Несмотря на потребность промышленности в газожидкостных аппаратах, использование самовсасывающих мешалок в них ограничено, т.к. нет формул и стройной математической модели, позволяющей провести сравнительный анализ и расчет производительности самовсасывающих мешалок разных типов и выбрать из них более эффективную для данных производственных условий.

Нами была предпринята попытка создать математическую модель подсоса газа или воздуха самовсасывающей мешалкой эжекционного типа, которая осуществляется посредством разрежения, создаваемого в полости мешалки при вращении ее в перемешиваемой среде.

Для этой цели была создана экспериментальная установка, которая состоит из аппарата объемного типа, цилиндрическая часть которого выполнена из прозрачного органического стекла. Подача воздуха в перемешиваемый раствор или воду осуществляется при помощи самовсасывающей мешалки эжекционного типа, размещенной по оси аппарата. Всасываемый воздух в аппарат поступает через полый вал и распределительное устройство, закрепленное на крышке. Для определения расхода воздуха через самовсасывающую мешалку использовали газовые часы. Крышка аппарата и подшипниковый узел мешалки разработаны так, что исключена возможность дополнительного неконтролируемого подсоса воздуха.

Представив вращение жидкости в полости мешалки квазитвердым с постоянной угловой скоростью равной угловой скорости вала, понижения уровня жидкости внутри полого вала может быть описано уравнением Навье-Стокса:

$$\begin{cases} \rho_c \omega^2 r = \frac{\partial P}{\partial r}, \\ -\rho_c g = \frac{\partial P}{\partial z}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения жидкости;  $P$  – давление;  $r$  – радиус вращения;  $g$  – ускорение свободного падения.

После преобразования системы уравнения (1) путем умножения первого на  $dr$ , а второго на  $dz$  и последующего сложения их получим

$$\rho_c (\omega^2 r dr - g dz) = dP. \quad (2)$$

Интегрируя уравнение (2) с учетом граничных условий

$P = P_0$ ,  $r = 0$  и  $z = H - h$ , распределение давления во вращающейся жидкости равно

$$P = P_0 + \frac{1}{2} \rho_c \omega^2 r^2 - \rho_c g(z - H + \Delta h). \quad (3)$$

Учитывая то, что над свободной перемешиваемой поверхностью жидкости в аппарате  $P = P_0$ , то выражение (3) упрощается и приобретает вид

$$z = H - \Delta h + \frac{\omega^2 r^2}{2g}. \quad (4)$$

Тогда понижение уровня в полом валу можно определить из условия сохранения объема жидкости в аппарате. Объем жидкости в аппарате определяется по уравнению

$$V_a = \pi R H. \quad (5)$$

Он же должен быть равным и для вращающейся жидкости, последний можно определить интегрированием уравнения

$$V_a = 2\pi \int_0^R \left( H - \Delta h + \frac{\omega^2 r^2}{2g} \right) r dr = \pi R^2 (H - \Delta h) + \frac{\pi \omega^2 R^4}{4g}. \quad (6)$$

Сравнивая уравнения (5) и (6), получим

$$\Delta h = \frac{\omega^2 R^2}{4g}. \quad (7)$$

Обозначив частоту вращения мешалки через  $n_1$ , при которой  $\Delta h = h$ , т.е. изменение глубины понижения уровня жидкости в полом валу равно глубине расположения самовсасывающей мешалки, тогда глубина погружения уровня жидкости в полом валу относительно уровня жидкости в аппарате будет соответствовать

$$h = \frac{\pi^2 n_1^2 D^2}{4g}. \quad (8)$$

Учитывая публикации многих авторов [1], которые разделяют перемешиваемый объем жидкости на две зоны: цилиндрическую с вихревым вращением жидкости и постоянной угловой скоростью и зону, в которой скорость вращения уменьшается по гиперболической зависимости, а вблизи стенки аппарата резко падает до нуля. В аппаратах с отражательными перегородками угловая скорость вращения перемешиваемого потока резко падает на расстоянии от стенки равной размеру выступа отражательной перегородки. Полагая, что квазитвердое вращение жидкости распространяющееся на расстояние, равное  $r = 0,5D$  диаметра мешалки, для оценки гидростатической частоты вращения мешалки, при которой глубина понижения жидкости в полом валу достигнет до уровня мешалки, в уравнении (8) достаточно заменить  $D$  на  $d$ . Далее, упрощая формулу, с учетом того, что  $g = \pi^2$ , получим формулу

$$h = 0,25(n_1 d)^2. \quad (9)$$

На экспериментальной установке понижение уровня жидкости в полом валу до уровня полости лопастей мешалки можно наблюдать визуально по интенсивности освещения светового луча, который проходил через полые лопасти мешалки от источника света, расположенного на

противоположной стороне от наблюдателя. Исследования на данной установке подтвердило предположение, что частота вращения мешалки, используемая в формуле (9),  $n_1$  зависит от глубины погружения  $h$  мешалки и подтверждает линейный характер зависимости  $h$  от  $(n_{rc}d)^2$ . Вязкость перемешиваемой жидкости не влияет на гидростатическую частоту вращения мешалки. В тоже время исследования мешалок с различным соотношением геометрических размеров и разным профилем лопаток показывают, что форма лопасти и соотношение размеров дают значения гораздо большее, чем представленный коэффициент в формуле (9). Это расхождение объясняется тем, что на величину  $n_1$  влияют условия обтекания лопасти перемешиваемой средой и возникающее в результате этого разрежение.

Для проверки данного предположения была изготовлена мешалка, лопасти которой были размещены в цилиндре диаметром, равным диаметру вылета открытых лопастей ранее исследуемой мешалки. Высота цилиндра равна высоте открытой лопасти, а полые каналы лопасти были изготовлены в виде прорезей с геометрическими размерами сравнимыми с размерами предыдущей мешалки.

При вращении данной мешалки практически исключено влияние сил, возникающих в результате радиального отбрасывания жидкости фронтальной частью лопасти, а также обтекания этой лопасти жидкостью. На жидкость, находящуюся в полости мешалки и полом канале лопасти, действует только центробежная сила, возникающая при вращении мешалки. Полученные экспериментальные данные дают хорошее согласие с расчетными значениями.

В реальных условиях самовсасывающие мешалки имеют открытые лопасти, а разрежение, возникающее за лопастью, как показали результаты исследований, играет существенную роль в повышении производительности мешалки по газовой фазе, поэтому коэффициент в формуле (9) должен быть иным, зависящим от конструкции мешалки, что и подтверждается лабораторными испытаниями:

$$h = \xi (n_1 d)^2. \quad (10)$$

В этой формуле  $\xi$  представляет собой коэффициент сопротивления лопасти, который при турбулентном движении потока является постоянной величиной и зависит только от геометрии профиля лопасти и симплексов геометрического подобия. Его величина может быть определена только экспериментально.

## SUMMARY

### TO THE QUESTION OF EFFICIENCY CALCULATION OF SELF-SUCTION MIXING MACHINES FOR GAS AND LIQUIDS APPARATUS

*V.Y. Storogenko, V.I. Shabracky\**

*Sumy State University, Sumy;*

*\*Institute of Chemical Engineering, Rubezhnoye*

*The material is given to choose the optimum construction of self-suction mixer from already known ones to determine its efficiency.*

**Key words:** *mixing machine, self-suction mixer, efficiency calculation, simulator.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, П. Тауск. - Л.: Госхимиздат, 1963. - 416 с.
2. А. с. 771089 СССР Способ получения алкил-арилсульфонокислот или кислых алкилсульфатов и устройство для его осуществления / Стороженко В.Я., Шабрацкий В.И. и др. - 1980, Бюл. №38.

*Поступила в редакцию 26 ноября 2009 г.*