

**КАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ
ЛОПАСТНЫХ УСТРОЙСТВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ**

Жигалова О.А., Шерешкова Н.В.

научные руководители канд. техн. наук Радзюк А. Ю., канд. физ.- мат. наук

Истягина Е.Б.

Сибирский федеральный университет

Политехнический институт

Тепло-массообменные процессы, протекающие в тепловых установках или реакционных устройствах, часто интенсифицируются путем перемешивания материалов для достижения заданного технологического результата.

Механическое перемешивание осуществляется с помощью мешалок, которым сообщается вращательное движение либо непосредственно от электродвигателя, либо через редуктор или клиноременную передачу. Виды мешалок, используемые в промышленном производстве весьма разнообразны.

Задача внешнего обтекания тел в условиях перемешивания может быть решена с помощью уравнений Навье-Стокса и неразрывности потока. Для решения этой задачи используют теорию подобия. Для вынужденного стационарного движения жидкости обобщённое уравнение гидродинамики имеет вид

$$Eu = f(Fr_m, Re_m, \Gamma_1, \Gamma_2 \dots),$$

где Eu – критерий Эйлера, Fr_m – критерий Фруда, Re_m – критерий Рейнольдса, Γ_1, Γ_2 , – симплексы геометрического подобия.

Окружная скорость определяется

$$\omega_{окр} = \pi dn,$$

где n – число оборотов мешалки в единицу времени (частота вращения), d – диаметр мешалки.

Будем использовать d как определяющий линейный размер, тогда:

$$Re_m = \frac{nd \cdot d \rho}{\mu} = \frac{nd^2 \rho}{\mu},$$

$$Fr_m = \frac{n^2 d^2}{gd} = \frac{n^2 d}{g},$$

$$Eu_m = \frac{\Delta \rho}{\rho (nd)^2}.$$

Мощность на валу мешалки N пропорциональна силе P , приложенной к валу мешалки окружной скорости $\omega_{окр}$, т.е.

$$\Delta \rho = \frac{P}{S} = \frac{N}{(nd)S} = \frac{N}{nd^3},$$

где S пропорциональна d^2 .

Подставив $\Delta\rho$ в выражение для Eu_m , получим

$$Eu_m = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = K_N.$$

Критерий Eu_m , выраженный в таком виде, называют критерием мощности и обозначают через K_N .

Критериальное уравнение для мешалки принимает вид:

$$K_N = f(Re_m, Fr_m, \Gamma_1, \Gamma_2 \dots)$$

или

$$K_N = A Re_m^n Fr_m^p \Gamma_1^q \Gamma_2^q$$

Численные значения коэффициентов A , n , m , p , q для подобных мешалок устанавливают экспериментально. В специальной литературе приведены значения этих коэффициентов для наиболее распространённых типов мешалок. Для упрощения расчётов приводят графики зависимости критерия мощности K_N от модифицированного критерия Re_m с фиксированными (в качестве параметров) геометрическими симплексами Γ_1 и Γ_2 и критерием Фруда Fr_m .

График зависимости K_N от критерия Re_m для перемешивающего устройства приведён на рисунке 1.

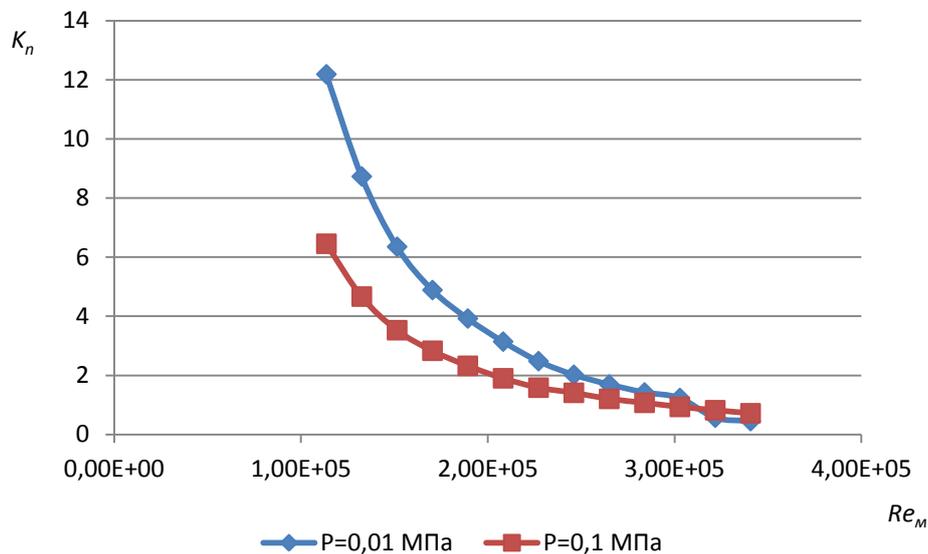


Рис. 1. Зависимость коэффициента мощности от критерия Re

Полученные результаты качественно согласуются с приводимыми литературными кривыми для аппаратов с перегородками [1]. Дальнейшие эксперименты проводились на крыльчатках с различным углом раствора $14,4^\circ$ и 26° с целью выявления закономерностей развития режимов перемешивания.

Несмотря на широкую распространенность процессов перемешивания в технике, технологиях и быту, к настоящему времени еще не до конца разработаны корректные аналитические методы расчета аппаратов и отдельных их элементов. Для решения практических задач широко применяются экспериментальные методы, основанные на проведении необходимых измерений в лабораторных условиях на моделях.

Особенно это актуально при использовании перемешивающих устройств, не описанных в литературе, когда приходится изучать эффекты перемешивания, опираясь на экспериментальные исследования.

Чтобы передать жидкости большую энергию по сравнению с гладкостенными устройствами, аппарат снабжался перегородками. Схема течения в смесителе с внутренними перегородками представляет собой два циркуляционных контура (рис. 2).

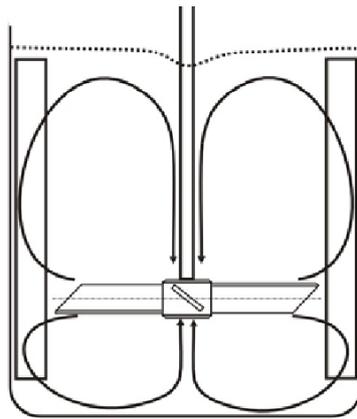


Рис. 2. Схема течения в смесителе

Нами был проведен ряд опытов, позволяющих лучше понять характер процессов перемешивания и выявить направление совершенствования указанных процессов.

Исследования проводились на экспериментальном стенде динамического типа, где в качестве рабочего тела использовалась отстоянная вода. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 3.

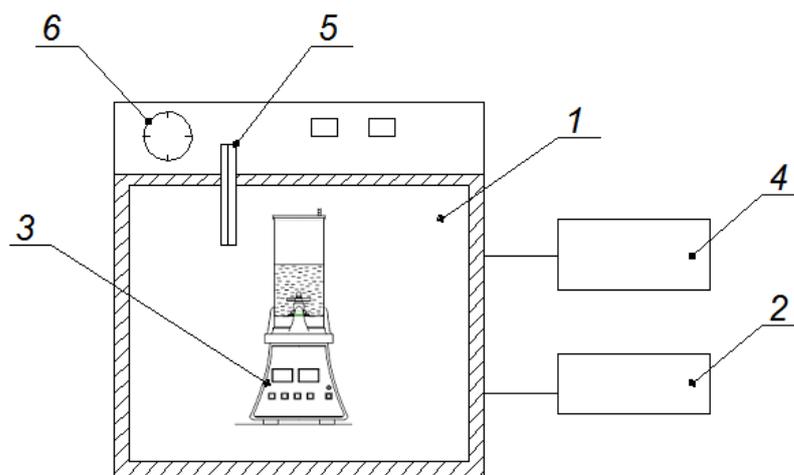


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – вакуумный шкаф; 2 – насос; 3 – быстроходное перемешивающее устройство; 4 – амперметр; 5 – термометр; 6 – вакуумметр

Эксперименты проводили посредством ступенчатого увеличения частоты вращения мешалки при различных давлениях. Полученные зависимости приведены на рис. 4.

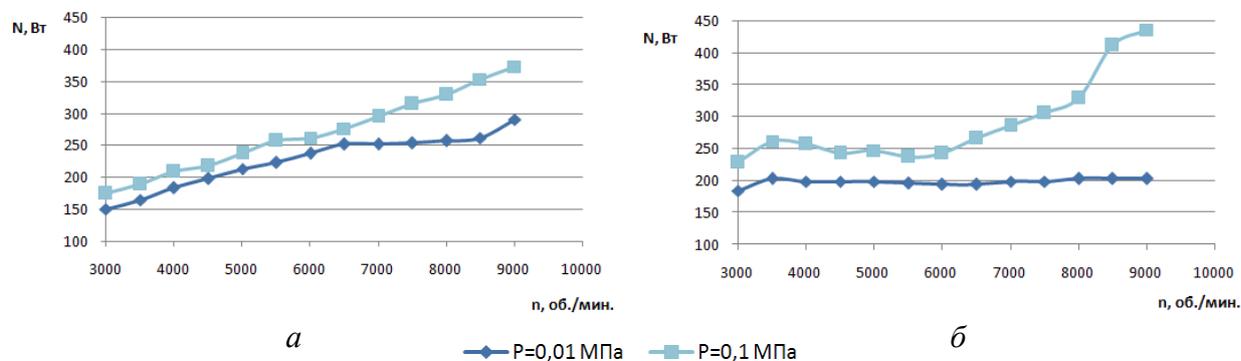


Рис. 4. Зависимости затрачиваемой мощности от числа оборотов: а – крыльчатка с малым углом раствора, б – с большим углом

Физические условия, созданные в экспериментальной установке, гарантируют наличие режимов течения, характеризующихся нарушением сплошности потока, т.е. кавитацией. Об этом говорит близость минимального давления (0,01 МПа) в рабочей камере к давлению насыщения водяных паров. Анализируя полученные зависимости (рис. 4) можно сделать предположение, что в качестве отличительной особенности кавитационного режима можно принять близкий к горизонтальному угол наклона участка кривой. Отсутствие изменения потребляемой мощности с ростом скорости свидетельствует о постоянном сопротивлении движению мешалки, что возможно только при движении в парогазовой смеси. Исходя из этого на приведенных графиках кавитационные режимы течения были зафиксированы для крыльчатки с малым углом раствора в диапазоне скоростей 6500-8500 об./мин. при давлении 0,01 МПа, для крыльчатки с большим углом – 3500-9000 об./мин. при давлении 0,01 МПа.

Проведенные опыты показали возможность применения созданной экспериментальной установки для изучения кавитационных процессов в широком диапазоне рабочих давлений и для анализа режимов работы разнообразных различных типов мешалок с целью их технологического совершенствования.

Полученные результаты могут быть использованы для определения гидродинамических режимов в установках подобного рода с целью их технологического совершенствования.

Литература

1. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. Л.: Машиностроение, 1979. – 271 с.
2. Лунин М.В. Метод и средство контроля объёмного расхода газа в процессах с малым газовыделением. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Орел, 2010. – 16 с.
3. Радзюк А.Ю., Кулагин В.А., Кривоуцкий А.С. Экспериментальный стенд для получения высокодисперсных эмульсий (суспензий). Вестник Ассоциации выпускников КГТУ. Вып. 4. Красноярск: КГТУ, 2000. С. 77-79.
4. Рождественский В.В. Кавитация. Л.: Судостроение, 1977. – 247 с.
5. Исаков А.Я., Исаков А.А. И85. Кавитация в перемешивающих устройствах: Монография. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2006. – 206 с.