

13 ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

Перемешивание жидких – распространенный в промышленности процесс. Он используется для приготовления эмульсий, суспензий, растворов и т. д., для интенсификации тепловых, массообменных и химических процессов. В результате перемешивания диспергируют одну фазы в другой, равномерно распределяют компонентов системы по объему аппарата, обновляют поверхность контакта фаз, обеспечивают подвод новых порций вещества в зону контакта, уменьшают толщину пограничного слоя.

Перемешивание жидких сред осуществляют: механическими мешалками; сжатым газом (пневматическое); в трубопроводах; с помощью сопел; насосами.

Наиболее распространено перемешивание механическими мешалками. Механические мешалки – твердые тела, совершающие в жидкости вращательное (реже – возвратно-поступательное или колебательное) движение. Механическое перемешивание, как правило, применяется в тех аппаратах, в которых непосредственно осуществляются технологические процессы, например в реакторах.

13.1 Механическое перемешивание

Механическое перемешивание с точки зрения гидродинамики – анализ и решение задачи обтекания жидкостью твердого тела. При медленном движении тела в жидкости, имеющей высокую вязкость, в области, примыкающей к поверхности тела, образуется тонкий пограничный слой. При высоких скоростях движения тела происходит отрыв пограничного слоя от поверхности тела, в первую очередь от его кромок, движущихся с наибольшей скоростью. За телом образуется кормовой турбулентный след, сопротивление движению тела при этом резко возрастает.

Для вращающейся механической мешалки наибольшая скорость наблюдается на ее периферии. В периферийной зоне по сравнению с центральной образуется область пониженного статического давления. Под действием перепада давлений, а также центробежных сил, жидкость устремляется от центра к периферии. Возникают радиальные токи жидкости, которые вызывают ее интенсивное перемешивание. Математическое описание такого движения жидкости сложно, поэтому для описания гидродинамики процесса используют теорию подобия.

Важнейшая величина, которую вычисляют при расчете мешалки, является мощность, затрачиваемая на перемешивание N , Вт:

$$N = K_N \rho n^3 d^5, \quad (13.1)$$

где K_N – критерий мощности мешалки;
 ρ – плотность перемешиваемой среды, кг/м³;
 n – частота вращения мешалки, об/с;
 d – диаметр мешалки, м.

Для стационарного перемешивания, учитывая инерционные, вязкостные и гравитационные силы, записывается следующая критериальная зависимость:

$$K_N = A \text{Re}_M^m \text{Fr}_M^n \Gamma_1^p \Gamma_2^q \dots, \quad (13.2)$$

где A, m, n, p, q – численные коэффициенты;
 Γ_1 и Γ_2 – геометрические симплексы.

В зависимость (13.2) входят модифицированные критерии подобия Фруда Fr_M и Рейнольдса Re_M , в которых окружная скорость w заменена на пропорциональную ей величину nd :

$$\text{Fr}_M = \frac{(nd)^2}{gd} = \frac{n^2 d}{g}; \quad (13.3)$$

$$\text{Re}_M = \frac{(nd)d\rho}{\mu} = \frac{nd^2\rho}{\mu}. \quad (13.4)$$

Влияние сил тяжести сказывается на образовании воронки, волн на свободной поверхности перемешиваемой жидкости, что приводит к уменьшению полезного объема аппарата. Если мешалка в аппарате установлена эксцентрично, либо аппарат на внутренней поверхности своих стенок имеет отражательные перегородки, то волны и воронка образуются в значительно меньшей мере. Поэтому для таких случаев перемешивания влиянием сил тяжести можно пренебречь и исключить из зависимости (13.2) критерий Fr_M :

$$K_N = A \text{Re}_M^m \Gamma_1^p \Gamma_2^q \dots. \quad (13.5)$$

Величины коэффициентов A, m, n, p, q в уравнениях (13.2) и (13.5) устанавливаются при обработке опытных данных, полученных при испытаниях мешалок. Для практического использования функции $K_N = f(\text{Re}_M)$ представляют в виде графиков (рис. 13.1).

Ламинарный режим перемешивания ($\text{Re}_M < 30$) не обеспечивает интенсивного осуществления процесса. Устойчивая, развитая турбулентность при перемешивании устанавливается при $\text{Re}_M > 100$. При $\text{Re}_M > 10^5$ в большинстве случаев значение K_N не зависит от Re_M (автомодельная область). Наличие перегородок и других внутренних устройств в аппарате резко увеличивает расход мощности на перемешивание.

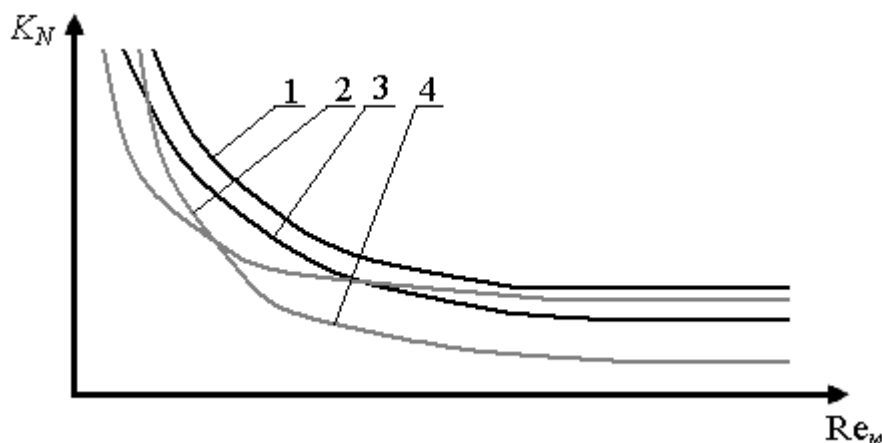


Рис. 13.1 – Графики для определения критерия мощности K_N :
1–4 – различные типы мешалок

Мощность N , рассчитанная по уравнению (13.1), является мощностью, потребляемой мешалкой при установившемся режиме (номинальной). В пусковой момент потребляемая мощность может превышать номинальную вдвое – втрое. Поэтому приводы мешалок имеют запас мощности, и их установленная мощность $N_{уст}$ больше номинальной.

13.2 Конструкции механических мешалок

Механические перемешивающие устройства с вращательным движением (рис. 13.2) состоят из собственно мешалки 3, ее вала 4 и привода 5. Вал устанавливают в аппарате вертикально, горизонтально или наклонно.

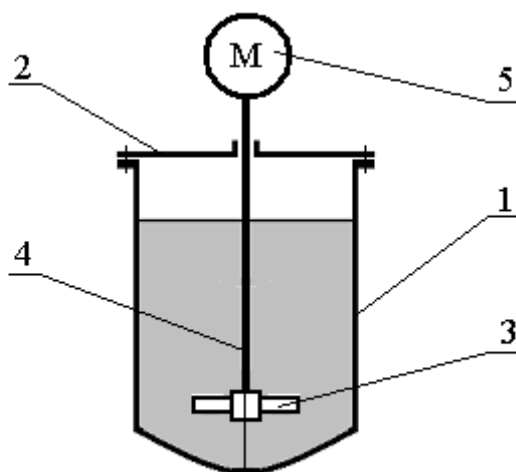


Рис. 13.2 – Схема аппарата с механической мешалкой:
1 – емкость (корпус аппарата); 2 – крышка; 3 – мешалка; 4 – вал;
5 – привод мешалки

Мешалки, в зависимости от окружной скорости и частоты вращения, делят на быстроходные и тихоходные. Быстроходные мешалки имеют

скорость концов лопастей до 10 м/с и более, тихоходные – порядка 1–3 м/с. Быстроходные мешалки работают в турбулентном (реже – переходном) режиме, тихоходные – в ламинарном. Тихоходные мешалки в основном применяют для перемешивания высоковязких сред.

По конструктивному признаку мешалки делят на лопастные, винтовые, турбинные, фрезерные (все быстроходные), шнековые, якорные, рамные, листовые, ленточные (все тихоходные) и т. д.

13.2.1 Лопастные мешалки

Лопастная мешалка представляет цилиндрическую втулку 2 с прикрепленными к ней плоскими лопастями 1 (рис. 13.3). Число лопастей – две и более. Расположение лопастей – по образующей цилиндра и наклонно к ней. Мешалки с наклонным расположением лопастей наряду с радиальными токами перемешиваемой среды создают также ее осевые токи. Ширина лопастей этих мешалок составляет примерно 20 % от диаметра мешалки. Лопастные мешалки применяются для перемешивания сред вязкостью до 1 Па·с.

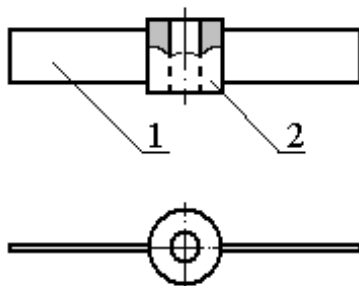


Рис. 13.3 – Лопастная мешалка:
1 – лопасть; 2 – втулка

Недостатки лопастных мешалок: слабое перемешивание в осевом направлении; перемешивание жидкости только в области, прилегающей непосредственно к мешалке. Поэтому при перемешивании лопастными мешалками в высоком слое жидкости их выполняют многоярусными. Диаметр лопастных мешалок составляет от 0,3 до 0,9 диаметра сосуда.

12.2.2 Винтовые мешалки

Винтовые (пропеллерные) мешалки (рис. 13.4) имеют форму гребного винта. Окружная скорость концов их лопастей – до 15 м/с. Применяют их для перемешивания жидкостей вязкостью до 2 Па·с. При работе винтовой мешалки наряду с радиальными и окружными токами возникают мощные осевые токи. Для улучшения перемешивания их устанавливают в аппаратах с

выпуклыми эллиптическими днищами. Для упорядочения осевой циркуляции в крупных аппаратах эти мешалки устанавливают в диффузорах. Диаметр винтовых мешалок составляет от 0,2 до 0,5 диаметра сосуда. Их применяют для растворения, гомогенизации, эмульгирования, приготовления суспензий, проведения химических реакций.

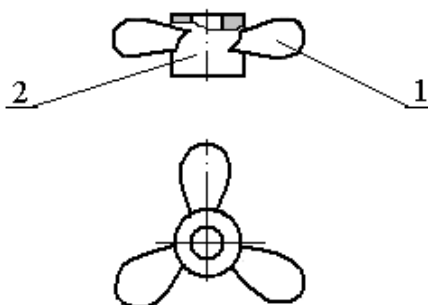


Рис. 13.4 – Винтовая мешалка:
1 – лопасть; 2 – втулка

12.2.3 Турбинные мешалки.

Турбинные мешалки имеют форму рабочих колес водяных турбин. Данные мешалки могут быть открытого либо закрытого типа (рис. 13.5 и 13.6). У них на диске 2 укрепляются радиальные, наклонные либо изогнутые лопасти 1. У закрытых мешалок лопасти покрыты кольцами 4 и 5, за счет чего создаются мощные радиальные токи жидкости. Указанные мешалки применяются для приготовления суспензий, взвесей с размером частиц до 25 мм, интенсификации тепло- и массообменных процессов. Окружная скорость их составляет до 8 м/с, а диаметр – от 15 до 65 % от диаметра аппарата.

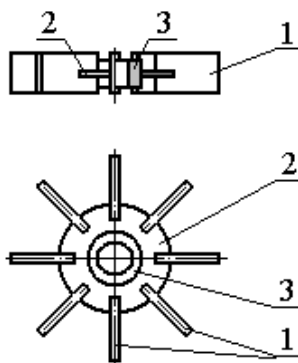


Рис. 13.5 – Турбинная мешалка открытого типа:
1 – лопасти 2 – диск; 3 – втулка

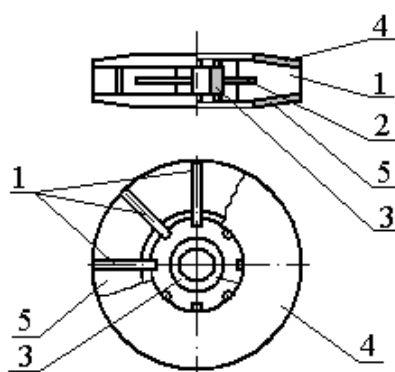


Рис. 13.6 – Турбинная мешалка закрытого типа:
1 – лопасти; 2 – диск; 3 – втулка; 4 и 5 – покровные кольца