

3. Семененко, Д.В. Влияние конструктивных и технологических параметров горизонтальной планетарной мельницы на эффективность процесса измельчения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Семененко; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2014. – 20 с.

4. Вайтехович, П.Е. Разрушающее воздействие мелющих тел в горизонтальной планетарной мельнице при различных способах обкатки помольных барабанов / П.Е. Вайтехович, Д.Н. Боровский // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2019. – №2. – С.3-6.

5. Гребенчук, П.С. Тонкое измельчение стеклобоя в мельницах различных конструкций / П.С. Гребенчук, Д.Н. Боровский // Вестник ПГУ. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – Новополоцк. – №3. – С. 79-83.

УДК 621.921.1

Волк А. М., Вилькоцкий А. И., Саевич Н. П.
(Белорусский государственный технологический университет)

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ НА МЕХАНИЧЕСКОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

Перемешивание жидких сред является весьма распространенным в промышленности процессом. Оно используется для приготовления эмульсий, суспензий, растворов и т.д., для интенсификации тепловых, массообменных и химических процессов. В результате перемешивания достигают диспергирования одной фазы в другой, равномерного распределения компонентов системы по объему аппарата, обновления поверхности контакта фаз, обеспечивают подвод новых порций вещества в зону контакта.

Наиболее распространено перемешивание механическими мешалками. Механические мешалки – это твердые тела, совершающие в жидкости вращательное (реже возвратно-поступательное или колебательное) движение. Механическое перемешивание, как правило, осуществляется в тех же аппаратах, в которых непосредственно осуществляются технологические процессы: реакторах, нейтрализаторах и т.д.

Качество перемешивания зависит от конструкции перемешивающего устройства, а также от количества энергии, подведенной к единице объема перемешиваемой среды, т.е. от мощности, затрачиваемой на перемешивание.

Затрачиваемую на перемешивание мощность N , Вт, принято рассчитывать по зависимости [1, 2]:

$$N = K_N \rho n^3 d_M^5, \quad (1)$$

где K_N – коэффициент, называемый критерием мощности; ρ – плотность жидкости, кг/м³; n – частота вращения мешалки, с⁻¹; d_M – диаметр мешалки, м.

В общем случае значение критерия мощности зависит от типа мешалки, режима перемешивания, конструкции аппарата, свойств перемешиваемой среды. Для наиболее изученных конструктивных вариантов в справочной и учебной литературе [2, 3] приводятся экспериментальные кривые $K_N = f(\text{Re}_c)$, где $\text{Re}_c = \frac{\pi n d_M^2 \rho}{\mu}$ – центробежный критерий Рейнольдса; μ – динамическая вязкость Па·с.

При конструировании нестандартного оборудования возникает сложность в определении значений K_N . В этом случае расчет мощности на перемешивание следует проводить по методикам, учитывающим непосредственное взаимодействие лопастей мешалки с перемешиваемой средой.

Рассмотрим расчет мощности на перемешивание для лопастной мешалки с прямоугольными полулопастями, расчетная схема которой представлена на рис. 1.

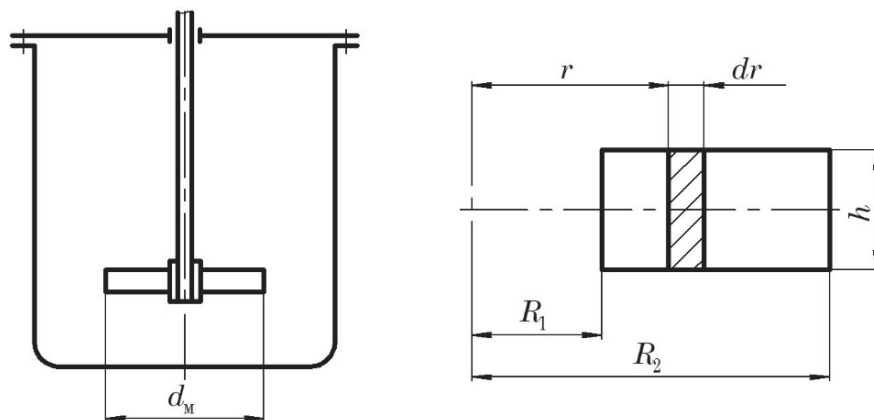


Рисунок 1 – Схема к расчету мощности на перемешивание для мешалки с прямоугольными полулопастями

Введем следующие обозначения геометрических параметров полулопасти: ширина h , начальный радиус R_1 , конечный – R_2 .

Выделим элементарную площадку $dS = dr \cdot h$ лопасти, которая вращается с частотой n , с⁻¹.

Скорость движения элементарной площадки (окружная скорость) будет равна

$$w = 2\pi nr. \quad (2)$$

На движущуюся элементарную площадку dS действует элементарная сила сопротивления dF , Н, определяемая по зависимости [4]:

$$dF = \zeta dS \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (3)$$

где ζ – коэффициент сопротивления среды, зависящий прежде всего от характера движения тела и его формы.

Значение элементарной мощности, затрачиваемой на преодоление сил сопротивления жидкости, можно определить по зависимости

$$dN = wdF = \zeta \frac{w^3 \rho}{2} dS = \zeta \frac{(2\pi)^3 \rho}{2} hn^3 r^3 dr. \quad (4)$$

Интегрируя последнюю зависимость по длине лопасти от R_1 до R_2 , получим формулу для расчета мощности на перемешивание

$$N = z \int_{R_1}^{R_2} dN = z \zeta \frac{(2\pi)^3 \rho}{2} hn^3 \frac{R_2^4 - R_1^4}{4} = z \zeta \pi^3 \rho hn^3 (R_2^4 - R_1^4), \quad (5)$$

где z – количество лопастей мешалки.

Рассмотрим расчет мощности на перемешивание для мешалок с более сложной формой лопастей. Например, при перемешивании высоковязких сред применяются якорные мешалки, форма лопастей которых может повторять форму полусферического или эллиптического днища аппарата, в котором она установлена.

Рассмотрим расчет мощности на перемешивание для якорной мешалки в форме полукольца, ограниченного радиусами R_1 и R_2 . Расчетная схема мешалки представлена на рис. 2.

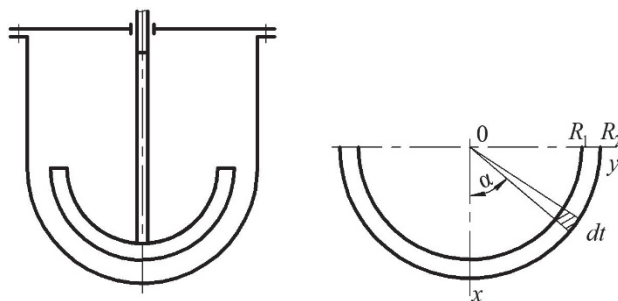


Рисунок 2 – Схема к расчету мощности на перемешивание для якорной мешалки в виде полукольца

Для этого случая площадь элементарной площадки dS и ее окружная скорость w определяются по зависимостям:

$$dS = r dr dt. \quad (6)$$

$$w = 2\pi n y. \quad (7)$$

Элементарная мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления жидкости

$$dN = \zeta \frac{(2\pi)^3 \rho}{2} n^3 y^3 r dr dt = \zeta 4\pi^3 \rho n^3 r^4 \sin^3 t \cdot dr \cdot dt. \quad (8)$$

После интегрирования с учетом геометрических параметров лопасти мешалки получим

$$N = 2\zeta 4\pi^3 \rho n^3 \int_{R_1}^{R_2} r^4 dr \int_0^\alpha \sin^3 t dt = \zeta \frac{8}{5} \pi^3 \rho n^3 (R_2^5 - R_1^5) \left(\frac{2}{3} - \cos \alpha + \frac{\cos^3 \alpha}{3} \right) \quad (9)$$

Для якорной мешалки в форме полуэллипса с полуосями a и b , расчетная схема которой представлена на рис. 3, площадь элементарной площадки dS можно выразить следующим образом

$$dS = h r dt, \quad (10)$$

где h – ширина лопасти мешалки; $r = \sqrt{a^2 \cos^2 t + b^2 \sin^2 t}$ – текущий радиус.

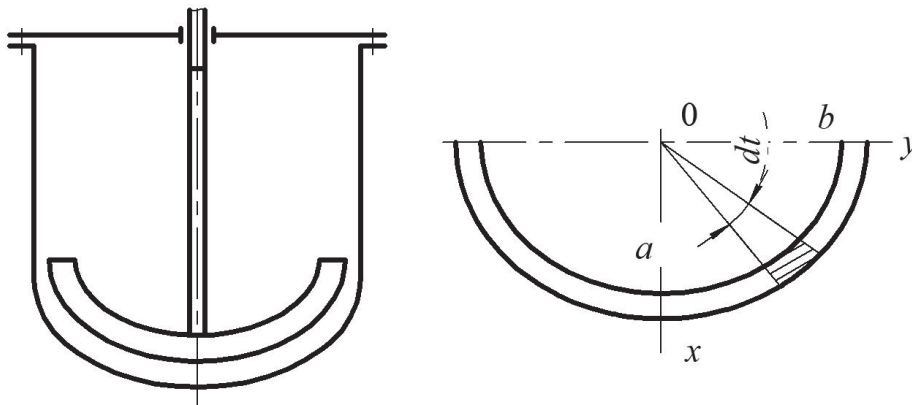


Рисунок 3 – Схема к расчету мощности на перемешивание для якорной мешалки в форме полуэллипса

Значение элементарной мощности, затрачиваемой на преодоление сил сопротивления жидкости

$$dN = \zeta 4\pi^3 \rho n^3 h \sqrt{a^2 \cos^2 t + b^2 \sin^2 t} b^3 \sin^3 t dt. \quad (11)$$

Мощность на перемешивание будет равна

$$N = 2\zeta 4\pi^3 \rho n^3 h b^3 \int_0^\alpha \sqrt{a^2 \cos^2 t + b^2 \sin^2 t} \sin^3 t dt. \quad (12)$$

Необходимо отметить, что значения мощности, рассчитанные по формулам (5), (9) и (12), получены при допущении, что перемешиваемая среда неподвижна, что больше соответствует перемешиванию в момент запуска мешалки.

Литература

1. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк – Польша 1971, пер. с польского под ред. Шупляка И.А. — Л.: «Химия», 1975 – 384 с.
2. Калишук, Д. Г. Процессы и аппараты химической технологии: учеб.-метод. пособие / Д. Г. Калишук, Н. П. Саевич, А. И. Вилькоцкий. – Минск: БГТУ, 2011. – 426 с.
3. Процессы и аппараты химической технологии. Гидромеханические процессы / И.В.Войтов и др; под ред. И.В.Войтова – Мн.: БГТУ, 2019. – 352 с.
4. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1975. – 752 с.

УДК 681.5

А.В. Касперович, О.Г. Барашко
(БГТУ, г. Минск)

РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ АГРЕГИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ

При расчете общей эффективности оборудования (ОЕЕ) за основу примем промышленное предприятие полного цикла (две смены по десять часов). За 10 рабочих дней фиксировалось время простоев оборудования по любым причинам (таблица 1).

В нашем примере РОТ будет равно рассматриваемому периоду умноженному на рабочее время обоих смен, то есть: $10 \cdot 10 \cdot 2 = 200$ часов.