

Н. И. Еникеева, Н. Б. Сосновская

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ

Ключевые слова: центробежные распылители, расчет мощности, неньютоновские жидкости, растворы белково-витаминных концентратов.

Рассчитана потребляемая мощность центробежного распылителя в зависимости от технологических, конструктивных параметров и реологии жидкости как для вязкой жидкости, так и для неньютоновской жидкости, в частности, для растворов белково-витаминных концентратов.

Keywords: centrifugal sprayers, power calculation, non-Newtonian fluids, solutions of protein and vitamin concentrates.

Calculated power consumption of centrifugal spray depending on technology, design parameters and fluid rheology for viscous fluid, and for a non-Newtonian fluid, in particular, for the solution of protein-vitamin concentrates.

Устройства для распыливания жидкостей широко применяются в современной технике [1]. Несмотря на большое разнообразие распылителей, их можно классифицировать по принципу действия. Они предназначены для дробления жидкости на большое число капель и их распределения в пространстве. Распыление жидкости, представляющее собой сложный физический процесс, зависит от множества факторов, как внешних, так и внутренних.

Внешние – аэродинамические силы, величина которых зависит от относительной скорости жидкости вытекающей из распылителя и плотности окружающего газа. Внутренними причинами распада являются различного рода начальные возмущения и т.д. Внешние причины в большинстве случаев являются для процесса распыления определяющими. По этому признаку распылители можно объединить в три группы: 1) механические, 2) электрические, 3) газовые. Вращающиеся распылители относятся к группе механических распылителей.

Распыление жидкости позволяет создать в объеме аппарата развитую поверхность контакта фаз между жидкостью и газом. Это является необходимым условием для успешного проведения тепло-массообменных процессов, например сушки. Поэтому изучение работы этих аппаратов, установление оптимальных режимов их работы является актуальной задачей.

Центробежные распылители имеют ряд преимуществ перед другими распылителями. В них имеется возможность создания большой удельной поверхности на единицу объема аппарата, более равномерного распыла, а также они могут работать в широком диапазоне скоростей подачи, не требуя больших давлений, пригодны для обработки любых растворов, включая пасты, суспензии и т.д.

Общую мощность N на валу вращающегося распылителя можно представить как сумму мощностей [2]:

$$N = N_1 + N_2 + N_3$$

где N_1 – мощность на сообщение кинетической энергии распыляемой жидкости, N_2 – мощность для преодоления трения при движении жидкости внутри

распылителя, N_3 – мощность для преодоления трения распылителя о газовую среду.

$$N_1 = \frac{Q\rho U^2}{2 \cdot 75 \cdot 1.36} = 4.9 \cdot 10^{-3} Q\rho U^2 \quad (1)$$

где Q – производительность распылителя, ρ – плотность жидкости, U – абсолютная скорость жидкости при выходе ее из распылителя.

$$N_2 = mQ\rho\omega^2 \left[(R^2 - R_2^2) - \frac{1.2(R^{0.57} - R_2^{0.57})}{A^{0.92}\omega^{0.42}} \right] \quad (2)$$

где для круглых каналов

$$m = 4.9 \cdot 10^{-3}, A = 0.09 \pi K^{0.25} \sqrt{0.25} g^{-0.8},$$

для прямоугольных каналов

$$m = 5 \cdot 10^{-3}, A = 0.105 b^{0.35} \sqrt{0.25} g^{-0.8}.$$

$$N_3 = 2 \cdot 10^{-2} \cdot C \rho_2 \omega^3 R^5 (1 + 2.5 \frac{b_1}{R}) \quad (3)$$

где b_1 – высоты цилиндрических поверхностей.

Полученные отдельными исследователями значения $C = 0.073 R_0^{-0.2}$ лежат в границах $2.4 \cdot 10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-3}$.

Суммируя предыдущие уравнения, получаем приближенную формулу для расчета мощности на валу дискообразных распылителей с радиальными каналами:

$$N = 1.3 \cdot 10^{-5} \cdot U_0^2 \left[\frac{380 Q \rho_2 \chi^2}{D^2} + U_0^2 \rho_2 (1 + \frac{5b_1}{D}) \right] \quad (4)$$

где U_0 – окружная скорость распылителя, Q – производительность распылителя, χ – гидравлический кпд распылителя, D – диаметр диска, b_1 – толщина обода диска, ρ – плотность распыливаемой жидкости, ρ_2 – плотность газообразной среды.

Для быстрого определения кпд распылителя χ его можно рассчитать по формуле:

$$\chi = \chi_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3, \quad (5)$$

где χ_0 – гидравлический кпд распылителя с определенным размером канала $h_0 = 0.025m$ (у круглых каналов $h_0 = r_K$, у прямоугольных

$h_0 = b$); ε_1 - поправка на форму канала (для прямоугольного $\varepsilon_1 = 0,94$, для круглого $\varepsilon_1 = 1$).

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{h_0}{h}\right)^{0.14}, \quad \varepsilon_3 = \left(\frac{v_0}{v}\right)^{0.1}. \quad (6)$$

Необходимая мощность для вязкой жидкости определялась по формуле (4).

Гидравлический КПД распылителя можно определить по формуле (5). Для этого определяем

величину χ и поправки. В нашем случае $\varepsilon_1 = 0,94$,

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{h_0}{h}\right)^{0.14} = 1 \quad \varepsilon_3 = \left(\frac{v_0}{v}\right)^{0.1} = 0,95$$

В таблице 1 приведены результаты расчетов, полученные при различных оборотах вращения распылителя и кинематической вязкости.

Таблица 1

n , об/мин	6000	7000	8000	9000	10000
$\nu = 1 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{c}$					
N , кВт	39,92	54,35	77,72	90,07	111,29
$\nu = 30 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{с}}$					
N , кВт	40,193	54,81	79,11	90,86	112,247

Приближенные уравнения движения неньютоновской жидкости [3] имеют вид:

$$-\frac{K}{\rho} V_{r_0} \left(V_{r_0}^2 + V_{\varphi_0}^2 \right)^{\frac{n-1}{2}} \left(\frac{n+1}{n} \right) \left(\frac{1}{\delta} \right)^n + \omega^2 r \delta -$$

$$- 2\omega V_{\varphi_0} \delta \left(\frac{n+1}{2n+1} \right) = 0$$

$$-\frac{K}{\rho} V_{\varphi_0} \left(V_{r_0}^2 + V_{\varphi_0}^2 \right)^{\frac{n-1}{2}} \left(\frac{n+1}{n} \right) \left(\frac{1}{\delta} \right)^n$$

$$+ 2\omega V_{r_0} \delta \left(\frac{n+1}{2n+1} \right) = 0 \quad (7)$$

$$V_{r_0} = \frac{q}{2\pi r \delta} \left(\frac{2n+1}{n+1} \right).$$

Можно получить:

$$V_{\varphi_0} = \frac{1}{4} \left(\frac{2n+1}{n+1} \right) \omega r \left(1 - \sqrt{1 - \beta^{*2}} \right), \quad (8)$$

$$\text{где } \beta^* = \frac{q / 2\pi r \delta}{\omega r / 4} = 4 \frac{V_r}{\omega r}. \quad (9)$$

С большой степенью точности можно записать:

$$\sqrt{1 - \beta^{*2}} = 1 - \frac{1}{2} \beta^{*2}. \quad (10)$$

Тогда для средних радиальной и азимутальной скоростей и толщины пленки получаем выражения:

$$\bar{V}_r = 0.25 \omega R \left[2^{\frac{n+1}{2(2n+1)}} \cdot \Psi^{\frac{1}{2n+1}} \right] \quad (11)$$

Таблица 2

n , об/мин	Ψ_1	V_r	β^*	α_2	N_m , кВт
6000	0,0548	15,06	0,6	0,925	52,81
7000	0,0398	16,3	0,556	0,93	69,2
8000	0,0351	19,36	0,55	0,93	95,47
9000	0,035	20,44	0,54	0,947	121,45
10000	0,019	20,56	0,46	0,96	151,47
$\pi < 1$ и $\kappa = 4,2 \cdot 10^{-5}$					
0,6	1,04	43,41	1,2	0,709	84,89
0,8	0,85	77,49	2,2	0,45	71,72

$$V_{\varphi} = 0.125 \omega R \left[2^{\frac{n+1}{2(2n+1)}} \cdot \Psi^{\frac{1}{2n+1}} \right]^2 \quad (12)$$

$$\delta = 0.637 \frac{q}{\omega R^2} \left[2^{\frac{n+1}{2(2n+1)}} \cdot \Psi^{\frac{1}{2n+1}} \right] \quad (13)$$

где

$$\Psi = 2^{\frac{5n+1}{2}} \frac{\rho}{K} \left(\frac{n}{2n+1} \right)^n \left(\frac{q}{\pi} \right)^{n+1} \cdot \frac{1}{\omega^{2n-1} R^{3n+1}} \quad (14)$$

Мощность, расходуемая на течение неньютоновской жидкости, рассчитывалась по формуле:

$$N_m = N_1 + N_2 = 0.5 \rho q \omega^2 R^2 (1 + \alpha_2), \quad (15)$$

$$\text{где } \alpha_2 = 1 - 0.187 \beta^{*2} + 0.0156 \beta^{*4}. \quad (16)$$

Для определения величины β^* нужно найти радиальную скорость (формула (11)) и коэффициент Ψ_1 (формула (14)).

В таблице 2 приведены результаты расчетов при различных числах оборотов вращения распылителя.

На рис. 1 и рис.2 представлены зависимости мощности от числа оборотов для вязкой и неньютоновской жидкости.

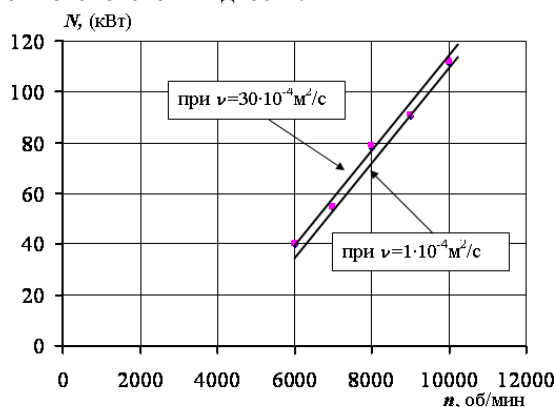


Рис. 1 - Зависимость мощности от числа оборотов для вязкой жидкости

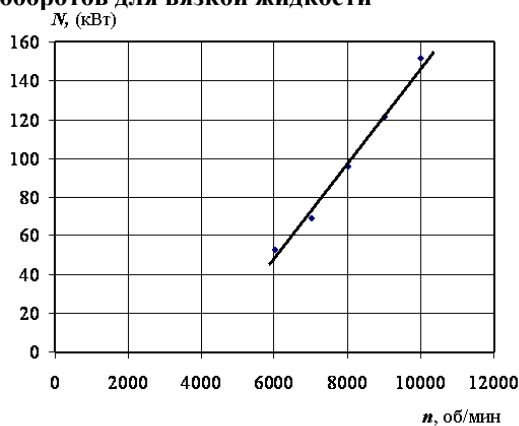


Рис. 2 - Зависимость мощности от числа оборотов для неньютоновской жидкости

Анализ приведенных выше результатов показывает, что для вязкой жидкости влияние вязкости (ее рост от 10^{-4} до $3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$) на потребляемую мощность незначительно, в то время как влияние угловой скорости вращения выражено более значительно. Рост потребляемой мощности в зависимости от n более сильно выражен для растворов БВК.

Литература

1. Зиннатуллин Н.Х., Булатов А.А., Николаева С.Г., Зиннатуллина Г.Н. Нанесение тонкопленочных покрытий в поле центробежных сил. Вестник КНИТУ, 2012, т.15, №1, с.125-127.
2. Ластовцев А.М. Расчет расхода энергии на вращающиеся распылители. //Труды МИХМ. – 1959. – Т. XIX.-с.87 – 92.
3. Рябчук Г.В. Определение мощности распыления жидкотекучих сред центробежными насадками, применяющимися в химической технологии – Волгоград: ВПИ, 1969.- с.137.