

4. Определение основных гидродинамических параметров процесса течения степенной жидкости по проницаемой поверхности насадки произвольной формы / Рябчук Г.В., Никулин И.А., Голованчиков А.Б., Попович Г.А., Мишта П.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 20-26.
5. Определение меридиональной, тангенциальной и осевой скоростей течения степенной жидкости по внутренней поверхности криволинейной насадки и насадки с произвольным профилем / Никулин И.А., Голованчиков А.Б., Кузнецов А.В., Мишта П.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 26-31.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969. – 743с.

Движение твердой сферической частицы в пленке двухслойной неньютоновской жидкости, текущей по внутренней поверхности центробежной конической насадки

к.т.н. доц. Мишта П.В, Мишта Е.А., к.т.н. Блинов Д.С.
ФГБОУ ВПО ВолгГТУ, ООО «Научный подход»
+7-84422-248028, mapt@vstu.ru

Аннотация. В статье рассмотрено движение твердой сферической частицы в пленке двухслойной неньютоновской жидкости при течении ее по внутренней поверхности центробежной конической насадки, при реализации процесса нанесения пленкообразующих покрытий на гранулированные материалы.

Ключевые слова: центробежное поле, неньютоновская жидкость, коническая насадка, пленочное покрытие, твердая частица.

Системный подход и анализ информации по существующим технологическим процессам получения гранулированных продуктов позволил установить, что улучшение потребительских свойств, связанное с приданием гранулам сферической формы, улучшение качества материала гранул за счет экстракции ими необходимых дополнительных веществ, растворимых в жидкости, обкатка гранул для увеличения плотности, возможно на стадии после процесса гранулирования, то есть только после формирования гранул.

Поскольку этот процесс должен быть непрерывным, высокоэффективным и совмещать в одном аппарате все необходимые операции по улучшению потребительских свойств гранул, нами предлагается центробежный аппарат с комбинированной насадкой.

Процесс улучшения потребительских свойств сферических гранул с нанесением на их поверхность двухслойного покрытия реализуется следующим образом (рисунок 1).

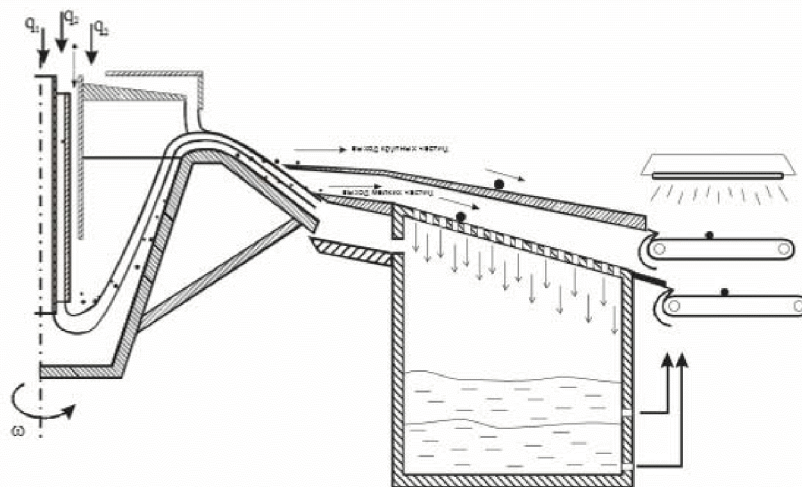


Рисунок 1 – Физическая модель процесса нанесения двухслойной оболочки на сферические гранулы

На коническую насадку по подводящему устройству в виде трубы в трубе подаются две несмешивающиеся жидкости, которые под действием центробежных сил растекаются по поверхности конической насадки в виде двух плёнок. По внешней трубе, расположенной коаксиально к подводящему патрубку, подаются сферические гранулы. Плотность частиц выше плотности жидкостей. Поскольку подвод гранул реализуется вблизи оси вращения конической насадки, то есть в области с малым радиусом вращения, то центробежной силы, действующей на гранулу, не хватает для преодоления сил поверхностного натяжения верхней плёнки и частица движется по её поверхности с максимальными скоростями течения верхней плёнки. Будем полагать, частица движется с максимальными скоростями течения верхней плёнки в течение всего процесса прохождения поверхности раздела фаз. При достижении частицей радиуса $g_{вх}$, когда центробежной силы хватает для преодоления поверхностного натяжения, начинается стадия прохождения поверхности раздела фаз газовая среда – жидкость верхней плёнки. В начальный момент глубина погружения частицы в плёнку жидкости равна нулю и скорость прохождения поверхности раздела фаз также равна нулю. Физическая картина процесса прохождения гранулой поверхности раздела фаз свидетельствует, что этот процесс происходит при переменном расстоянии от оси вращения насадки до центра масс гранулы, то есть при переменной центробежной силе. При прохождении частицей поверхности раздела фаз из всех сил, действующих на гранулу, существенна только сила инерции, центробежная и кориолисова силы и центробежная сила Архимеда.

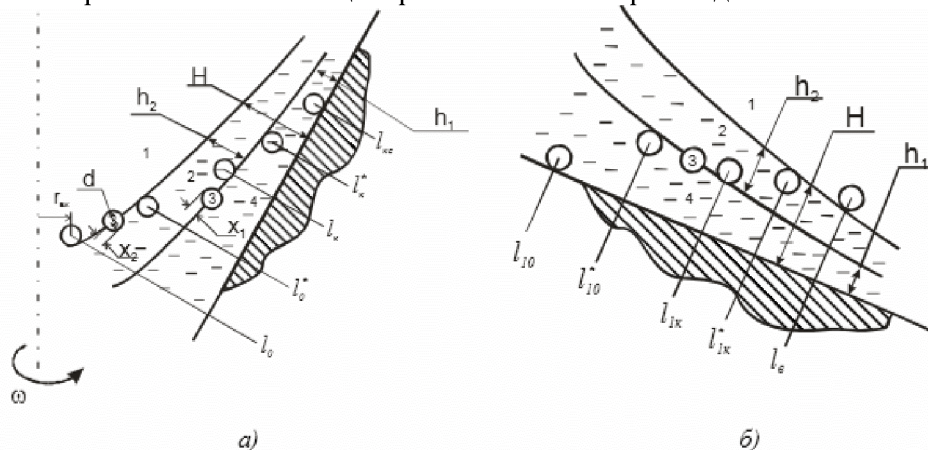


Рисунок 2 – Принципиальные схемы прохождения частицей двух пленок жидкости текущих по внутренней поверхности (а) и наружной поверхности (б) вращающейся конической насадки

При движении сферической гранулы в плёнках неньютоновских жидкостей, текущих по внутренней и наружной поверхностям конического ротора существует несколько областей движения частицы (рисунок 2).

По внутренней поверхности: 1) область входа частицы в пленку; 2) область движения частицы в верхней пленке жидкости; 3) область прохода частицей поверхности раздела жидкостей; 4) область движения частицы в нижней пленке жидкости; 5) область, в которой частица катится по поверхности ротора в нижней пленке жидкости.

По наружной поверхности: 1) область движения частицы в нижней пленке жидкости; 2) область прохода частицей поверхности раздела жидкостей; 3) область движения частицы в верхней пленке жидкости; 4) область выхода частицы из пленки неньютоновской жидкости.

При прохождении частицей поверхности раздела фаз силой вязкостного трения частицы о плёнку жидкости можно пренебречь, поскольку она много меньше сил поверхностного натяжения и центробежной силы [1, 2].

Уравнение движения частицы через поверхность раздела фаз в конической системе координат, жёстко связанной с конусом, запишется в виде:

$$m_{\text{ч}} \cdot x'' = F_{\text{цб}} - \Pi - F_{\text{кр}} - Ar_{\text{ц}}, \quad (1)$$

где: x – положение частицы относительно поверхности раздела фаз; $F_{\text{цб}}$, $F_{\text{кр}}$ – центробежная и кориолисова силы соответственно; Π – сила поверхностного натяжения; $Ar_{\text{ц}}$ – сила Архимеда для центробежного поля; $m_{\text{ч}}$ – масса частицы; " – обозначены производные по времени.

Силу поверхностного натяжения Π найдём из уравнения свободной энергии системы «твёрдое тело–жидкость–газ», которое определяется выражением:

$$E = 2\pi R x \sigma_{23} + 2\pi R (2R - x) \sigma_{13} - \pi (2Rx - x^2) \sigma_{12}, \quad (2)$$

где: R – радиус твёрдой частицы; σ_{12} , σ_{23} , σ_{13} – коэффициенты поверхностного натяжения на поверхности раздела фаз 1–2, 2–3, 1–3 соответственно. В этом случае:

$$\Pi = -\frac{\partial E}{\partial x} = 2\pi R (\sigma_{13} + \sigma_{12} - \sigma_{23}) - 2\pi x \sigma_{12}. \quad (3)$$

Полагая, что $\sigma_{12} \cong \sigma_{23} \ll \sigma_{13}$, уравнение прохода твёрдой шарообразной частицей поверхности плёнки жидкости можно представить в виде:

$$m_{\text{ч}} x_2'' - 2\pi \sigma_{12} x_1 - 0,5 (m_{\text{ч}} - m_{\text{жс}}) \omega^2 l \sin 2\theta + 2\omega (m_{\text{ч}} - m_{\text{жс}}) V_{1\phi} \sin \theta + \pi d \sigma_{12} = 0. \quad (4)$$

Начальные условия, при которых должно решаться уравнение (4), запишутся в виде:

- для прохождения поверхность раздела фаз «газ–жидкость»:
при $t=0$ $x=0$, $x'=0$;
- для прохождения поверхность раздела фаз «жидкость–жидкость» (рисунок 2а,б):
при $t=0$ $x=0$, $x'=V_{\text{зч}}$ ($z=h_1$);
- для прохождения поверхность раздела фаз «жидкость–газ»:
при $t=0$ $x=0$, $x'=V_{\text{зч}}$ ($z=H$).

В уравнении прохождения сферической частицы поверхности верхней плёнки (1):

$$\text{– центробежная сила } F_{\text{цб}} = m_{\text{ч}} \left(\frac{V_{2\phi(z^*=h_2)}}{1} \right)^2 \text{ctg}\theta; \quad (6)$$

$$\text{– кориолисова сила } F_{\text{кр}} = 2m_{\text{ч}} \frac{V_{2\phi(z^*=h_2)}^2}{1} \text{ctg}\theta; \quad (7)$$

$$\text{– центробежная сила Архимеда } Ar_{\text{ц}} = m_{\text{ж}} \left(\frac{V_{2\phi(z^*=h_2)}}{1} \right)^2 \text{ctg}\theta. \quad (8)$$

В зависимостях (6) – (8) масса жидкости, вытесняемой частицей во время прохождения поверхности раздела фаз, переменна во времени и изменяется от нуля в начальный момент прохождения до максимального значения в момент полного погружения частицы в плёнку жидкости. Для получения аналитического решения уравнения (1) рассмотрим самый неблагоприятный случай, когда масса вытесненной жидкости постоянна и равна 0,63 от максимальной. Это же относится и к центробежной кориолисовой силе.

В этом случае уравнение прохождения сферической частицей поверхности верхней плёнки принимает вид:

$$x_1'' - 12 \frac{\sigma_{12} x_1}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3} + \left(\frac{\rho_{\text{ч}} - 0,63 \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ч}}} \right) \frac{V_{2\phi(z^*=h_2)}^2}{1} \text{ctg}\theta + \frac{6\sigma_{12}}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^2} = 0. \quad (9)$$

Уравнение (9) должно интегрироваться при следующих начальных условиях:

$$\text{при } t=0 \quad x = 0 \quad x' = 0. \quad (10)$$

За время прохождения частицей поверхности раздела фаз её меридиональная координата несколько возрастает и, как следствие, увеличивается центробежная сила, действующая на

частицу. Поэтому для определения координаты гарантированного погружения частицы в плёнку жидкости будем полагать, что погружение происходит при постоянной меридиональной координате. В этом случае решение уравнения (9) с учётом начальных условий (10) принимает вид:

$$x_1 = \left[\frac{(\rho_u - 0,63\rho_{жс})V_{2\phi}^2 d_u^3 \operatorname{ctg}\theta}{12\sigma_{12}l} + \frac{1}{2}d_u \right] \left(1 - \operatorname{ch} \left(\frac{12\sigma_{12}}{\rho_u d_u^3} t \right) \right). \quad (11)$$

Скорости жидкости V_ϕ и V_1 определены в работах [4, 5]

Для определения времени полного погружения сферической частицы в плёнку жидкости t_n необходимо в зависимость (11) вместо x поставить d_u . Определив время погружения t_n , можно определить координату l_n , на которой это событие произойдёт:

$$l_n = l_0 + V_{2l(z^*=h_2)} t_n \quad (12)$$

Уравнение движения сферической частицы в верхней плёнке жидкости имеет вид:

$$\frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_u}{2} \right)^{n_2+1} \Delta\rho_2 \omega^2 l \sin 2\theta \frac{\Psi(n_2)}{k_2} \right)^{1/n_2}}{V_{1l(z=h_1)} \left(1 + \frac{\frac{n_2}{n_2+1} A_2 (\rho_2/k_2)^{1/n_2} h_2^{(n_2+1)/n_2}}{V_{1l(z=h_1)} [A_2^2 + B_2^2]^{n_2-1/2n_2}} \right)} dl = \left[1 - \left(1 - \frac{z^*}{h_2} \right)^{\frac{n_2+1}{n_2}} \right] dz \quad (13)$$

где: n - индекс течения жидкости, B_2, A_2 - определены в [3].

Интегрируя уравнение (13) и учитывая граничное условие: при $z=h_1+d_u/2$ $l=l_k$, найдём меридиональную координату точки касания нижней плёнки:

$$l_k = \left[\frac{h_1 + \frac{d_u}{2} + \left(\frac{n_2}{2n_2+1} \right) \left(h_2 - h_1 - \frac{d_u}{2} \right)^{\frac{2n_2+1}{n_2}} h_2}{R} \right]^\varepsilon \quad (14)$$

$$\text{где: } R = \left[\frac{2n_1 + 2n_1n_2 + n_2 + 1}{n_2(2n_1 + 1)} \right] \frac{V_{1l(z=h_1)} \left(1 + \frac{\frac{n_2}{n_2+1} A_2 \left(\frac{\rho_2}{k_2} \right)^{\frac{1}{n_2}} h_2^{\frac{n_2+1}{n_2}}}{V_{1l(z=h_1)} [A_2^2 + B_2^2]^{\frac{n_2-1}{2n_2}}} \right)}{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_u}{2} \right)^{n_2+1} \Delta\rho_2 \omega^2 \sin 2\theta \frac{\Psi(n_2)}{k_2} \right)^{1/n_2}}; \quad \varepsilon = \frac{n_2(2n_1 + 1)}{2n_1 + 2n_1n_2 + n_2 + 1}.$$

Уравнение прохода частицей поверхности раздела плёнок будем решать аналогично проходу поверхности раздела фаз «газ-жидкость» с соответствующими начальными условиями. Опуская промежуточные выкладки, найдём:

$$x_2 = \left[\frac{(\rho_u - 0,63\rho_{1ж})V_{1\phi(z=h_1)}^2 d_u^3 \operatorname{ctg}\theta}{12\sigma_{24}l} + \frac{1}{2}d_u \right] \left(C_3 e^{\left(\frac{12\sigma_{24}}{\rho_u d_u^3} \right) t} + C_4 e^{-\left(\frac{12\sigma_{24}}{\rho_u d_u^3} \right) t} \right), \quad (15)$$

где: $C_3 = \frac{\left(\frac{1}{9}\left(\frac{d_q}{2}\right)^{n_2+1} \Delta\rho_2 \omega^2 l_k \sin 2\theta \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2}\right)^{1/n_2}}{2 \frac{12\sigma_{24}}{\rho_q d_q^3}} - \frac{1}{2}$; $C_4 = \frac{\left(\frac{1}{9}\left(\frac{d_q}{2}\right)^{n_2+1} \Delta\rho_2 \omega^2 l_k \sin 2\theta \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2}\right)^{1/n_2}}{2a \frac{12\sigma_{24}}{\rho_q d_q^3}} + \frac{1}{2}$.

Уравнение движения сферической частицы в нижней плёнке запишется в виде:

$$\frac{\left(\frac{1}{9}\left(\frac{d_q}{2}\right)^{n_1+1} \Delta\rho_1 \omega^2 l \sin 2\theta \frac{\Psi_{(n_1)}}{k_1}\right)^{1/n_1}}{\left(\frac{n_1}{n_1+1}\right)\left(\frac{1}{1+\alpha}\right)M_1 h_1^{n_1}} dl = \left[1 - \left(1 - \left(\frac{1}{1+\alpha}\right)\left(\frac{z}{h_1}\right)\right)^{n_1+1}\right] dz \quad (16)$$

Интегрируя уравнение (16) с заданными начальными условиями и учитывая уравнение для скоростей из [4-6], определим координату касания частицы поверхности конической насадки:

$$l_{kc} = \left\{ \frac{\left[\frac{n_1(2n_1+1)}{3n_1^2+4n_1+1} \right] \left[\frac{d_q}{2} + \left(\frac{n_1}{2n_1+1}\right) \left(1 - \left(\frac{1}{1+\alpha}\right) \frac{d_q}{2h_1}\right)^{2n_1+1} (1+\alpha)h_1 \left(\frac{n_1}{n_1+1}\right)\left(\frac{1}{1+\alpha}\right)M_1 h_1^{n_1}\right]^{\frac{n_1(2n_1+1)}{2n_1^2+3n_1+1}}}{\left(\frac{1}{9}\left(\frac{d_q}{2}\right)^{n_1+1} \Delta\rho_1 \omega^2 \sin 2\theta \frac{\Psi_{(n_1)}}{k_1}\right)^{1/n_1}} \right\} \quad (17)$$

При попадании сферической частицы на наружную поверхность конической насадки она под действием центробежной силы мгновенно отрывается от поверхности ротора, поэтому силу трения частицы о стенку можно не учитывать. В этом случае уравнение движения твёрдой частицы в нижней плёнке запишется в виде:

$$\frac{\left(\frac{1}{9}\left(\frac{d_q}{2}\right)^{n_1+1} \Delta\rho_1 \omega^2 l_1 \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_1)}}{k_1}\right)^{1/n_1}}{\left(\frac{n_1}{n_1+1}\right)\left(\frac{1}{1+\alpha}\right)M_1 h_1^{n_1}} dl = \left[1 - \left(1 - \left(\frac{1}{1+\alpha}\right)\left(\frac{z}{h_1}\right)\right)^{n_1+1}\right] dz \quad (18)$$

Интегрируя уравнение (18) с заданными начальными условиями в предположении, что инерционные члены в уравнении движения плёнки на отрезке всплытия частицы от стенки ротора до поверхности раздела плёнок остаются неизменными, и учитывая уравнение для скоростей жидкости [4-6], определим координату касания частицей поверхности раздела плёнок:

$$l_{10}^* = \left\{ \frac{\left[\left(h_1 - \frac{d_q}{2}\right) + \left(\frac{n_1}{2n_1+1}\right) \left(1 - \left(\frac{1}{1+\alpha}\right) \frac{h_1 - \frac{d_q}{2}}{h_1}\right)^{2n_1+1} (1+\alpha)h_1 \left(\frac{n_1}{n_1+1}\right)\left(\frac{1}{1+\alpha}\right)M_1 h_1^{n_1}\right]^{\frac{n_1(2n_1+1)}{2n_1^2+3n_1+1}}}{\left(\frac{1}{9}\left(\frac{d_q}{2}\right)^{n_1+1} \Delta\rho_1 \omega^2 \sin 2\theta \frac{\Psi_{(n_1)}}{k_1}\right)^{1/n_1}} \right\} \quad (19)$$

Уравнение прохода частицей поверхности раздела плёнок будем решать аналогично прохождению этой же поверхности при течении плёнок по внутренней поверхности кониче-

ской насадки. Опуская промежуточные выкладки, найдём:

$$x_1^* = \left[\frac{\left(\rho_{\text{ч}} - 0,63 \frac{\rho_{1\text{ж}} + \rho_{2\text{ж}}}{2} \right) V_{1\varphi(z=h_1)}^2 d_{\text{ч}}^3 \text{ctg} \theta_1}{12\sigma_{42} l_{10}^*} + \frac{1}{2} d_{\text{ч}} \left(C_5 e^{\frac{12\sigma_{42} t}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} + C_6 e^{-\frac{12\sigma_{42} t}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} \right) \right] \quad (20)$$

где: $C_5 = \frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_1+1} \Delta \rho_1 \omega^2 l_{10}^* \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_1)}}{k_1} \right)^{1/n_1}}{2 \frac{12\sigma_{42}}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} - \frac{1}{2}$; $C_6 = \frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_1+1} \Delta \rho_1 \omega^2 l_{10}^* \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_1)}}{k_1} \right)^{1/n_1}}{\frac{12\sigma_{42}}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} + \frac{1}{2}$.

Уравнение движения твёрдой частицы в верхней плёнке при двухплёночном течении по наружной поверхности конического ротора запишется в виде:

$$\frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_2+1} \Delta \rho_2 \omega^2 l_1 \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2} \right)^{1/n_2}}{V_{\text{II}(z=h_1)} \left(1 + \frac{\frac{n_2}{n_2+1} A_2 \left(\frac{\rho_2}{k_2} \right)^{\frac{1}{n_2}} h_2^{\frac{n_2+1}{n_2}}}{V_{\text{II}(z=h_1)} [A_2^2 + B_2^2]^{\frac{n_2-1}{2n_2}}} \right)} dl = \left[1 - \left(1 - \frac{z^*}{h_2} \right)^{\frac{n_2+1}{n_2}} \right] dz \quad (21)$$

Интегрируя уравнение (21) при соответствующих граничных условиях, найдём меридиональную координату точки касания частицей поверхности верхней плёнки:

$$l_{1\kappa}^* = \left[\frac{\left(h_2 - \frac{d_{\text{ч}}}{2} \right) + \left(\frac{n_2}{2n_2+1} \right) \left(1 - \frac{h_2 - d_{\text{ч}}}{h_2} \right)^{\frac{2n_2+1}{n_2}} h_2}{R} \right]^{\varepsilon} \quad (22)$$

где: $R = \left[\frac{2n_1 + 2n_1 n_2 + n_2 + 1}{n_2 (2n_1 + 1)} \right] \frac{V_{\text{II}(z=h_1)} \left(1 + \frac{\frac{n_2}{n_2+1} A_2 \left(\frac{\rho_2}{k_2} \right)^{\frac{1}{n_2}} h_2^{\frac{n_2+1}{n_2}}}{V_{\text{II}(z=h_1)} [A_2^2 + B_2^2]^{\frac{n_2-1}{2n_2}}} \right)}{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_2+1} \Delta \rho_2 \omega^2 \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2} \right)^{1/n_2}}$; $\varepsilon = \frac{n_2 (2n_1 + 1)}{2n_1 + 2n_1 n_2 + n_2 + 1}$.

Уравнение выхода частицы с верхней плёнки будем решать аналогично уравнению прохода частицей поверхности раздела плёнок при соответствующих начальных условиях. Опуская промежуточные выкладки, найдём:

$$x_2^* = \left[\frac{(\rho_{\text{ч}} - 0,63 \rho_{2\text{ж}}) V_{2\varphi(z=h_2)}^2 d_{\text{ч}}^3 \text{ctg} \theta_1}{12\sigma_{21} l_{1\kappa}^*} + \frac{1}{2} d_{\text{ч}} \left(C_7 e^{\frac{12\sigma_{21} t}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} + C_8 e^{-\frac{12\sigma_{21} t}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} \right) \right] \quad (23)$$

$$\text{где: } C_7 = \frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_2+1} \Delta \rho_2 \omega^2 I_{1\text{к}}^* \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2} \right)^{1/n_2}}{2 \frac{12\sigma_{21}}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} - \frac{1}{2}; \quad C_8 = \frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_2+1} \Delta \rho_2 \omega^2 I_{1\text{к}}^* \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2} \right)^{1/n_2}}{2 \frac{12\sigma_{21}}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} + \frac{1}{2}.$$

Таким образом, проведенный анализ движения частицы по поверхности вращающейся конической насадки дает возможность определить основные конструктивно-технологические параметры работы центробежного ротора, позволяющие достичь заданных параметров улучшения потребительских свойств гранулированных продуктов.

Литература

1. Дегазация нелинейно-вязкой жидкости при течении по нагретой поверхности конического ротора / Беднарская Е.А., Валентинова В.В., Мишта П.В., Рябчук Г.В., Щукина А.Г. // Теоретические основы химической технологии. 2005. Т. 39. № 2. с. 163-169.
2. Разделение тонкодисперсных суспензий с неньютоновской дисперсионной средой на роторно-пленочных центрифугах / Богданова Ю.Н., Мишта П.В., Щукина А.Г. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 105-108.
3. Двухслойное течение вязкой жидкости по внутренней поверхности вращающейся конической насадки / Блинов Д.С., Гордон В.А., Осокин В.А., Попович Г.А., Рябчук Г.В. // Известия вузов. Химия и химическая технология: науч.-тех. журнал. 2006, Т 49. вып. 6, с. 112-115.
4. Определение меридиональной, тангенциальной и осевой скоростей течения степенной жидкости по внутренней поверхности криволинейной насадки и насадки с произвольным профилем / Никулин И.А., Голованчиков А.Б., Кузнецов А.В., Мишта П.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 26-31.
5. Математическое моделирование процесса течения вязкопластической среды по вращающейся конической насадке / Анохин Д.А., Рябчук Г.В., Балашов В.А., Мишта П.В. // Химическая технология. 2007. Т. 8. № 1. с. 44-47.
6. Определение основных гидродинамических параметров процесса течения степенной жидкости по проницаемой поверхности насадки произвольной формы / Рябчук Г.В., Никулин И.А., Голованчиков А.Б., Попович Г.А., Мишта П.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 20-26.

Изучение интенсивности тепловыделения светодиодных источников света при культивировании светозависимых микроорганизмов

к.т.н. Мальцевская Н.В.

Университет машиностроения
8 (499) 267-12-67, maltsevskaya@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема тепловыделения искусственных источников света (светодиодов) при культивировании светозависимых микроорганизмов. Выполнены практические исследования по данному вопросу на примере культивирования зелёной микроводоросли *Chlorella* sp.

Ключевые слова: тепловыделение, светозависимые микроорганизмы, светодиодные источники света.

Светозависимые микроорганизмы – это, главным образом, микроорганизмы, свет для которых является необходимым фактором их существования (фототрофные микроорганизмы). Существует также группа микроорганизмов, для которых свет является «катализатором» того или иного процесса, например, образования различных ценных веществ (пигментов и пр.).