

УДК 661.185-3:661.62

С. А. САКИБАЕВА

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИСПЕРГИРУЮЩЕГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ИНГРЕДИЕНТОВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ В СМЕСИТЕЛЯХ ВАЛКОВОГО ТИПА

Диспергирующее смешение каучуков с ингредиентами резиновых смесей является стадией технологии производства резиновых изделий, которая определяет показатели качества конечного продукта и общие энергозатраты [1].

Диспергирование смеси происходит путем перестройки структуры частиц с использованием вещества данной частицы и последующего ее разрушения с образованием новых частиц. Массообмен с окружающей средой при этом отсутствует, но осуществляется взаимодействие первичных частиц между собой. Тогда процесс диспергирующего перемешивания можно представить как временное образование более крупных неустойчивых вторичных частиц, обладающих избыточной энергией [2, 3].

Согласно такому подходу и на основании теории блочного роста и диспергирования [2] частицы дисперсной фазы распределены не только по размеру, но и по степени диспергированности.

В настоящей работе приведена диффузионно-фрактальная модель диспергирующего перемешивания и представлено сравнение результатов численных исследований, проведенных по этой модели, с данными экспериментальных измерений эволюции массовой функции распределения частиц резиновой смеси в процессе диспергирующего перемешивания.

В основу математической модели диспергирующего перемешивания положено динамическое уравнение Смолуховского для распределения частиц с учетом взаимодействия частиц с различными внутренними степенями свободы [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho(s, n, t) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{ds}{dt} \rho(s, n, t) \right) = \\ = \int \rho(s_1, n_1, t) \rho(s_2, n_2, t) \times \\ \times F(s, n / s_1, n_1; s_2, n_2) ds_1 ds_2 dn_1 dn_2. \quad (1) \end{aligned}$$

Уравнение диспергирующего перемешивания после ряда преобразований удастся представить в виде системы двух уравнений для плотности распределения функции $\varphi(s, t)$ по степени диспергированности и плотности распределения функции $P(n, t)$ по числу первичных частиц в глобулах:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \varphi(s, t) + \frac{\partial}{\partial s} \left[\frac{ds}{dt} \varphi(s, t) \right] + \\ + \varphi(s, t) \int_0^1 R(s, l; s', l) \varphi(s\xi, t) d\xi' + \\ + \varphi(s, t) \int_2^\infty K(s, l; s^*, n) P(n, t) dn = 0, \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} P(n, t) + \frac{\partial}{\partial n} \left[P(n, t) \int_0^1 R(s, l; s^*, n) \varphi(s, t) d\xi \right] - \\ - \frac{1}{2} \int_2^\infty \int_2^\infty R(s^*, n_1; s^*, n_2) \times \\ \times \left[\delta(n - n_1 - n_2) - \delta(n - n_1) - \delta(n - n_2) \right] \times \\ \times P(n_1, t) P(n_2, t) dn_1 dn_2 = 0. \quad (3) \end{aligned}$$

В системе (2), (3): $\rho(s, n, t)$ – нестационарная плотность распределения частиц; $\varphi(s, t)$ – плотность распределения первичных частиц по степени диспергированности; $P(n, t)$ – плотность распределения вторичных частиц по числу содержащихся в них частиц; s^* – степень диспергированности вторичных частиц; n – число первичных частиц; $R(s_1, n_1; s_2, n_2)$ – дисперсионное ядро; $\theta(s_1, n_1; s_2, n_2)$ – степень диспергированности

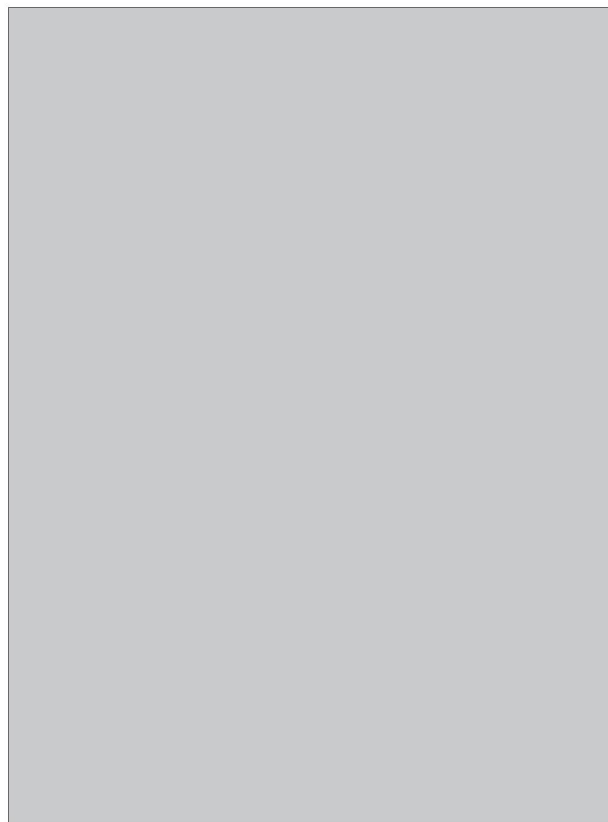
частиц, образующихся при диспергирующем перемешивании частиц с параметрами s_1, n_1 и s_2, n_2 .

При организации процесса диспергирующего перемешивания в аппарате периодического действия объем рабочей зоны, в которой происходит диспергирование и перемешивание ингредиентов, меняется во времени.

Тогда соответствующие кинетические уравнения приобретают вид

$$\frac{\partial \varphi(s, t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} [\zeta(s, t) \varphi(s, t)] + c\lambda(s) \varphi(s, t) \int_1^{\infty} F(n) P(n, t) dn + \varphi(s, t) \frac{d}{dt} \ln V(t) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial P(n, t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial n} [v(n, t) P(n, t)] + P(n, t) \frac{d}{dt} \ln V(t) = 0. \quad (5)$$



* – каучук 1;
● – каучук 2

Рис. 1. Экспериментальная массовая функция распределения частиц каучука по размерам до диспергирующего перемешивания

Здесь $V(t)$ – объем реактора.

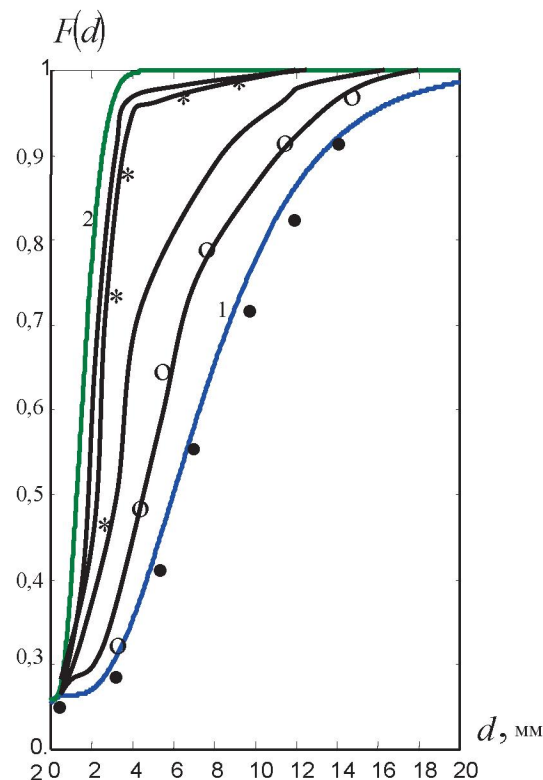
Мощность, потребляемая при осуществлении процесса диспергирующего перемешивания ингредиентов резиновых смесей, складывается из двух основных составляющих. Во-первых, расход энергии на перемешивание вязкого вещества в аппарате, во-вторых, работа разрушения частиц исходной смеси, т.е. работа измельчения.

Удельная мощность перемешивания N на единицу объема смесителя V определяется по формуле [1]:

$$\frac{dN}{dV} = \tau \frac{du}{dr}, \quad (6)$$

где τ – напряжение сдвига; u – скорость сдвига; r – текущий радиус.

Для расчета мощности по формуле (6) необходимо знать реологические характеристики среды в виде реологического уравнения



1 – начальная функция распределения;
○ – 0,1 времени полного цикла;
● – 0,85 времени полного цикла;
2 – теоретическая кривая конечной функции распределения.

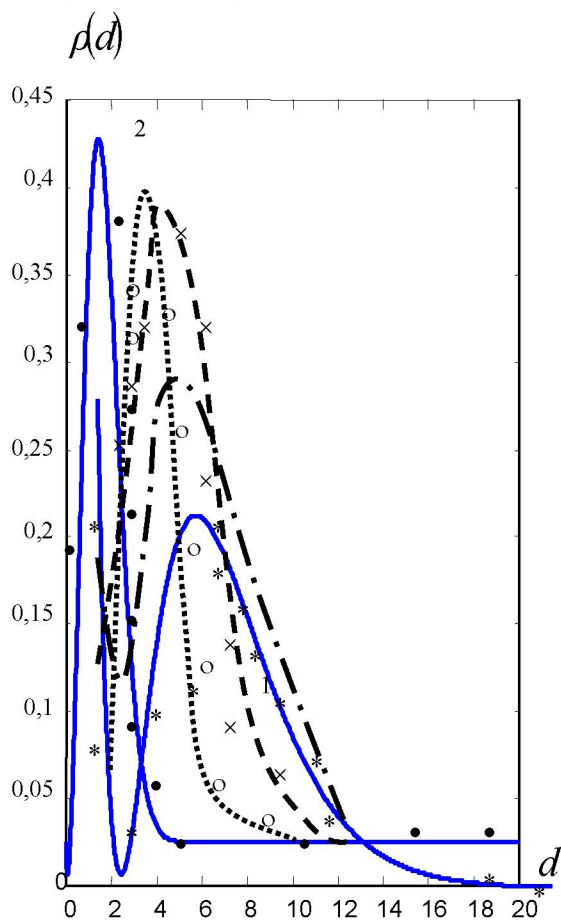
Рис. 2. Сравнение массовых функций распределения частиц каучука 1 по размерам до (1) и после (2) диспергирующего перемешивания

$$\eta = \mu_0 \left(\frac{1}{2} I_2 \right)^{\frac{1-1/n}{2}}, \quad (7)$$

где I_2 – квадратичный инвариант, вычисляемый при известной структуре потоков в объеме смесителя:

$$I_2 = 2 \left[\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right)^2, \quad (8)$$

где u_x, u_y, u_z – компоненты скорости перемешиваемой субстанции в рабочей зоне смесителя.



1-начальная плотность; 2- конечная плотность
 — через 0,15 времени полного цикла
 - · - · через 0,75 времени полного цикла
 ······ через 0,9 времени полного цикла

Рис. 3. Изменение массовой плотности распределения частиц смеси в процессе диспергирующего смешения

Для плотности мощности перемешивания с учетом реологического уравнения смешиваемого вещества можно записать

$$\frac{dN}{dV} = \mu_0 \left(\frac{\gamma}{t_m} \right)^{1+\frac{1}{n}}. \quad (9)$$

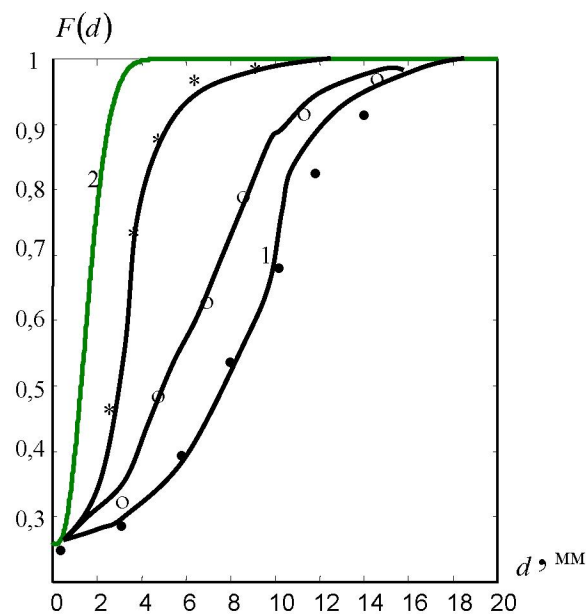
Отсюда находим составляющую мощности, потребляемой на перемешивание ингредиентов смеси:

$$N_m = \mu_0 \int_V \left(\frac{\gamma}{t_m} \right)^{1+\frac{1}{n}} dv. \quad (10)$$

В процессе диспергирующего перемешивания происходит увеличение полной поверхности частиц смеси:

$$\Delta S = \Delta S_t + \Delta S_n, \quad (11)$$

где ΔS_t – составляющая увеличения поверхности при диспергировании, обусловленная деформацией сдвига; ΔS_n – составляющая увеличения



1 – начальная функция распределения;
 ○ – 0,1 времени полного цикла;
 * – 0,85 времени полного цикла;
 2 – теоретическая кривая конечной функции распределения.

Рис. 4. Сравнение массовых функций распределения частиц каучука 2 по размерам до перемешивания (1) и после перемешивания (2)

поверхности при диспергировании, обусловленная деформацией растяжения.

Составляющую мощности, расходуемой на диспергирование, можно рассчитать по формуле

$$N_d = \frac{\sigma \Delta S}{t_m}, \quad (12)$$

где t_m – характерное время смешения; σ – удельная энергия образующейся поверхности.

С использованием описанной математической модели и на основании измерения расходуемой на перемешивание мощности можно рассчитать изменение массовой функции распределения частиц перемешиваемых ингредиентов в процессе диспергирующего перемешивания.

Экспериментальные исследования процесса диспергирующего перемешивания были проведены в смесителе периодического действия валкового типа.

В ходе экспериментов исследовали процесс изготовления резиновых смесей на основе двух типов каучука: 1- СКИ-3; 2-СКМС-30 АРКМ15. В процессе экспериментов проводили повремен-

ной анализ дисперсного состава смеси на основе известных методик [2].

Отдельные результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 1–3.

Результаты исследований, на наш взгляд, убедительно подтверждают адекватность принятой диффузионно-фрактальной модели диспергирующего перемешивания и позволяют рекомендовать ее для расчета дисперсного состава резиновых смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вострокнутов Е.Г., Новиков М.И.* Современные представления о механизме смешения каучуков с ингредиентами резиновых смесей. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971. 76 с.
2. *Торнер Р.В.* Основные процессы переработки полимеров. Теория и методы расчета. М.: Химия, 1972. 454 с.
3. *Волощук В.М.* Кинетическая теория коагуляции. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 324.
4. *Мор В.Д.* Теория смешения и диспергирования // Переработка термопластичных материалов / Под ред. Э. Бернхардта М.: Химия, 1965. С. 435.

*Южно-Казахстанский
государственный университет
им. М. Ауезова*

Поступила 15.03.06г.