

# ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. ЧУЕШКОВ, академик БИА, к.т.н., доцент(БГАУ);

В.В. ЧУЕШКОВ (Кооператив «Модуль»)

Как известно, назначение любого смесительного аппарата состоит в том, чтобы придать частицам смешиваемых компонентов пространственное перемещение путем увеличения первоначальной поверхности касания между ними. Количественное соотношение между величиной поверхности касания в данный момент  $S_t$  и продолжительностью смешивания  $t$  характеризует кинетику процесса смешивания, т.е.  $S_t = f(t)$ . При  $t = \infty$  поверхность соприкосновения будет  $S_{max}$ . За время  $t$  поверхность касания будет  $Sx_t$ .

При изменении времени от  $t$  до  $(t + \Delta t)$  поверхность соприкосновения изменяется на величину  $\Delta Sx_t$ , т.е.  $\Delta Sx_t = S_{max} - Sx_t$  и скорость соответственно

$$\frac{dSx_t}{dt} = k(S_{max} - Sx_t), \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности. В результате интегрирования уравнения (1) получим функциональную связь между  $t$  и  $Sx_t$

$$t = \frac{1}{k} \int \frac{dSx_t}{S_{max} - Sx_t} = \frac{1}{k} \ln \frac{S_{max}}{S_{max} - Sx_t}, \quad (2)$$

из формулы (2)

$$Sx_t = S_{max}(1 - e^{-kt}). \quad (3)$$

Рядом исследователей [1, 2] доказано, что смешивание сыпучих материалов является вероятностным и полного распределения компонентов между ними практически достичь невозможно. Это можно объяснить тем, что наряду со смешиванием происходит частичное разделение компонентов  $S\rho$ , которое можно характеризовать коэффициентом разделения  $\rho$ . Тогда уравнение процесса смешивания (3) можно представить

$$Sx_t = S_{max}(1 - e^{-kt})(1 - \rho). \quad (4)$$

С точки зрения поверхностей соприкосновения  $Sc$  и разделения  $S\rho$  можно написать

$$S_{max} = Sc + S\rho. \quad (5)$$

Коэффициент  $\rho$  можно выразить

$$\rho = \frac{S\rho}{S_{max}}. \quad (6)$$

Учитывая уравнения (4 - 6), уравнение (4) можно представить

$$Sx_t = Sc(1 - e^{-kt}). \quad (7)$$

В формуле (7)  $Sx_t$  характеризует равномерность смеси и при  $t = \infty$ ,  $Sx_t = Sc$ .

В связи с тем, что  $Sc$  не может быть определено экспериментально, то качество смешивания следует оценивать неравномерностью распределения частиц на основе анализа состава отобранных проб через коэффициент вариации  $v$ , т.е.

$$P = (100 - v_{cp}). \quad (8)$$

Полное, т.е. идеальное смешивание можно рассматривать теоретически. За счет рациональных рабочих органов его можно только приблизить к идеальному. Поэтому для характеристики эффективности процесса смешивания должен быть показатель, характеризующий идеальную смесь. Сопоставляя показатели равномерности для реальной смеси и идеальной, можно определить эффективность применяемого способа смешивания.

При смешивании отклонение соотношений компонентов подчиняется нормальному закону распределения вероятностей [1].

Учитывая изложенное, предлагается формула для определения теоретической степени равномерности смешивания

$$k_T = \left[ 1 - \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi} \cdot C_0} \cdot e^{-\frac{C_0^2}{2\sigma^2}} \right] \cdot 100\% \quad (9)$$

где  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение для каждого компонента;

$C_0$  - заданное соотношение компонентов;

$e$  - основание натурального логарифма.

Соотношение показателей  $k$  и  $k_T$  характеризует эффективность процесса смешивания, т.е.

$$\Theta = \frac{k}{k_T}. \quad (10)$$

Для проверки теоретических предпосылок эти показатели определялись для смеси минеральных удобрений (суперфосфат + хлористый калий), образованной путем неоднократного пересыпания компонентов.

В этом случае качество смеси приближалось к идеальному. В результате анализа проб определено средневзвешенное среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 0,5$ . При соотношении компонентов  $C = 1...4$   $k = 93\%$  и  $k_T = 97,4\%$ , тогда  $\Xi = 0,95$ . Показатель  $\Xi$  может служить критерием эффективности процесса смешивания.

На основании нормального закона распределения соотношений компонентов получены полные уравнения кинетики процесса смешивания сыпучих материалов в реальных условиях

$$P_t = 1 - e^{-\xi \cdot S_c (1 - e^{-kt})}; \quad (11)$$

$$(P_t)_E = 1 - \left[ e^{-\xi \cdot S_c (1 - e^{-kt})} \right] \frac{V_e}{V_0}, \quad (12)$$

где  $V_e$  - объем, содержащий контрольный компонент смеси;

$V_0$  - общий объем смеси.

По этим зависимостям можно определять некоторые параметры смесительных аппаратов, решая относительно параметра  $t$ , на основании опытных данных. Для смесителей циклического действия  $t$  - время смешивания, для смесителей непрерывного действия - длина смесительной камеры  $L$ . К примеру, в смесительной камере смешивались 0,2 м<sup>3</sup> суперфосфата и 0,1 м<sup>3</sup> калийной соли. Установлено, что на длине камеры 0,5 м 40% проб объемом 5 см<sup>3</sup> каждая содержала 2,3 см<sup>3</sup> калийной соли и 2,7 см<sup>3</sup> суперфосфата. На длине камеры 1 м 90% проб содержали такое же количество объемных единиц смешиваемых компонентов. Согласно агро-требованиям их содержание должно быть 95% из всех отобранных проб. Требуемая длина смесительной камеры, при которой соблюдались бы данные условия, определялась следующим образом. В уравнении (11, 12), подставив приведенные данные, можно записать

$$0,4 = 1 - e^{-\xi \cdot S_c (1 - e^{-0,5k})},$$

$$0,9 = 1 - e^{-\xi \cdot S_c (1 - e^{-1,0k})}.$$

После преобразования этих уравнений получим

$$\frac{\ln \frac{1}{1-0,4}}{1 - e^{-0,5k}} = \xi \cdot S_c = \frac{\ln \frac{1}{1-0,9}}{1 - e^{-1,0k}}.$$

Отсюда  $K = -2,4$ . Подставляя значение  $K$  в выражение

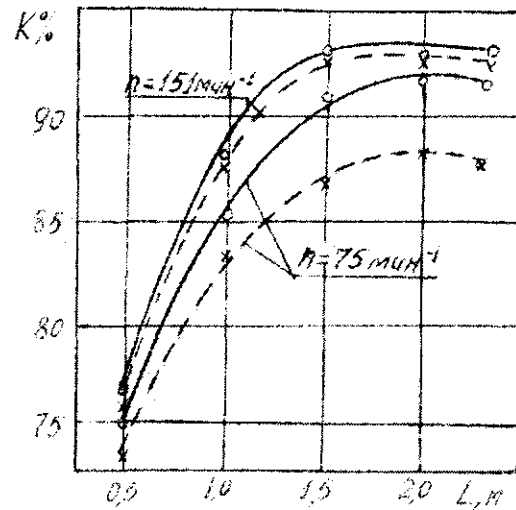
$$\xi \cdot S_c = \frac{\ln \frac{1}{1-0,9}}{1 - e^{-1,0k}},$$

определим  $\xi \cdot S_c = 0,23$ .

Значение  $V_e$  в уравнении (12) объемов, содержащий контрольный компонент смеси для нашего случая, определяем как частное от деления общего объема смеси  $V_0$  на общий объем калийной соли  $V_e = (0,2 + 0,1) / 0,1 = 3$  м<sup>3</sup>. Подставляя значения

$(P_t)_E = 0,95$ ,  $\xi \cdot S_c$ ,  $V_e$  и  $V_0$  в уравнение (12), и решая его относительно  $t(L)$ , получим длину камеры  $L = 1,3$  м.

По опытным данным построены зависимости (см. рис.). Из графиков видно, что при комбинированной схеме (наличие смешивающих и транспортирующих лопастей)



----- комбинированное;

----- винтовое.

Рис. Изменение степени равномерности смеси по длине смесительной камеры при различном расположении рабочих органов (лопастей) на валах.

тей) равномерность смеси выше, чем при винтовой (расположение лопастей на валах под углом 45° к оси валов). В режиме 151 мин<sup>-1</sup> на длине камеры 1,24 м качество смеси достигало требуемой равномерности для обеих схем, т.е. свыше 90%. С точки зрения качества смеси наиболее приемлемой схемой является комбинированная. Что касается расхода энергии, преимущество имеет винтовая схема. Так, при частоте вращения рабочих органов 151 мин<sup>-1</sup> для винтовой схемы расход энергии на процесс смешивания 2,98 кВт, для комбинированной 3,58 кВт.

## ВЫВОДЫ

1. Качество смешивания можно характеризовать коэффициентом вариации, теоретическим показателем и критерием эффективности процесса.

2. Полученные уравнения кинетики смешивания позволяют определять параметры смесительных аппаратов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Раскатова Е.А. Анализ физических основ процесса смешивания на основании общей схемы явлений акад. Горячкина В.П. "Земледельческая механика" (Сб. трудов), т. - УП. М.: Машиностроение, 1967г.

2. Ластовцев А.М. О критерии эффективности процесса смешивания твердых тел. Тезисы докладов на конф. МИХМ, №7, 1980г.

3. Бронштейн И.Н. и др. Справочник по высшей математике. - М.: Гостехиздат, 1967г.