

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 ΔSx_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 ρ . Тогда уравнение процесса смешивания (3) можно представить

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

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

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

Коэффициент ρ можно выразить

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

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

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

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

В связи с тем, что S_c 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 σ - 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 Ξ 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 $0,2 \text{ м}^3$ суперфосфата и $0,1 \text{ м}^3$ калийной соли. Установлено, что на длине камеры $0,5 \text{ м}$ 40% проб объемом 5 см^3 каждая содержала $2,3 \text{ см}^3$ калийной соли и $2,7 \text{ см}^3$ 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

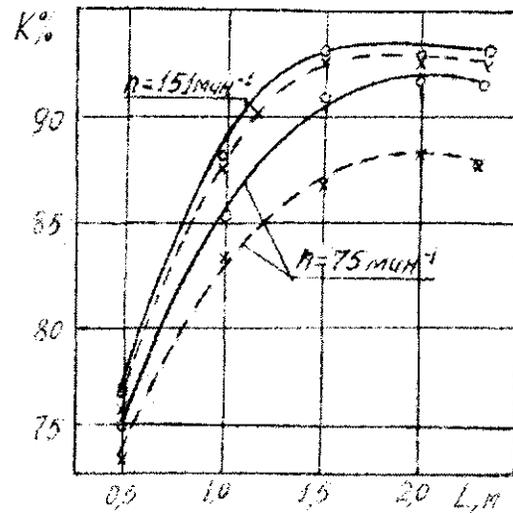
$$\xi \cdot S_c = \frac{\ln \frac{1}{1-0,9}}{1 - e^{-1,0k}},$$

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 $V_e = (0,2 + 0,1) / 0,1 = 3 \text{ м}^3$. 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 $L = 1,3 \text{ м}$.

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^{-1} на длине камеры $1,24 \text{ м}$ 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^{-1} для винтовой схемы расход энергии на процесс смешивания $2,98 \text{ кВт}$, для комбинированной $3,58 \text{ кВт}$.

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.