

170—180 °С. Разрушение карбаминоформальдегидных полимеров наступает раньше и протекает с более высокой скоростью.

Последняя область ТМҚ (рис. 1) имеет, в отличие от карбаминоформальдегидных полимеров, как бы два участка (кроме системы СФК-100). На первом участке, возможно, происходит термоокислительная деструкция немодифицированной или малоструктурированной части полимера. Особенно резко это выражено для систем СФК-20 и СФК-40. На втором участке происходит деструкция основной массы полимера, причем скорость деструкции для модифицированной системы ниже, чем для контрольной. Это можно объяснить ингибирующим влиянием модификатора на реакции деструкции.

С целью установления поведения полимеров под действием постоянных температур нами проведены исследования в изотермическом режиме. Полученные экспериментальные данные представлены на рис. 3.

ТМҚ показывают, что введение капрола в фенолоформальдегидную систему достаточно эффективно с точки зрения повышения прочности и термостабильности. Максимальный прирост жесткости для всех систем происходит при температуре 150 °С. С увеличением температуры до 200 °С жесткость систем снижается: контрольной — в 3 раза; СФК-40 — в 1,49; СФК-20 — в 1,56; СФК-60 — в 1,71; СФК-100 — в 1,6 раза. Это указывает в первую очередь на деструктивные процессы, происходящие в фенолоформальдегидном полимере, и на снижение прочности материала под действием повышенных температур. Стабилизирующее действие капрола, при введении его до 60 %, также очевидно при сравнении участков ТМҚ с максимальными значениями жесткости. Работоспособность фенолоформальдегидных полимеров при 150—200 °С за счет предлагаемой модификации может быть повышена на 16—30 %. Характер ТМҚ модифицированных капролом карбаминоформальдегидных [1] и фенолоформальдегидных полимеров свидетельствует о схожести механизмов отверждения и позволяет установить влияние амидного и фенольного компонентов на свойства полимерных систем.

Модифицированные фенолоформальдегидные полимеры можно использовать в качестве связующего в производстве древесностружечных плит и клеев для склеивания фанеры, что выгодно с точки зрения повышения качества и снижения себестоимости продукции.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Тришин С. П., Цветков В. Е. Термомеханические исследования модифицированных карбаминоформальдегидных полимеров. — Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1984, № 5, с. 83—86.

Поступила 24 февраля 1986 г.

УДК 674.816.2

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ СО СВЯЗУЮЩИМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

О. Г. БАРАШКО, П. В. ПОЛЗИК

Белорусский технологический институт

Важная стадия в производстве древесностружечных плит (ДСП) — процесс смешивания древесных частиц со связующим. Этот процесс обуславливается рядом технологических и экономических особенностей:

1) он имеет двойственный детерминированно-стохастический характер. Стохастический характер проявляется, прежде всего, в неравномерности распределения потока смеси по времени пребывания, размерам, влажности, траекториям; в случайном распределении потоков древесных частиц — по рабочему объему смесителя;

2) в структуре плитного производства процесс смешивания знаменует собой переход от подготовки древесного сырья и связующего требуемого качества к формированию физико-механических свойств плит;

3) только на стадии смешивания в процессе производства ДСП участвует дорогостоящее связующее, которое составляет 30—35 % от себестоимости плит. Увеличение количества связующего на единицу массы улучшает физико-механические свойства плит, но приводит к росту их себестоимости.

Рассчитать процесс смешивания, с учетом вышеперечисленных особенностей, можно методами математического моделирования. Детерминированный подход к описанию процесса [2] — лишь предварительная идеализация его. Более глубокое представление о сущности процесса смешивания дает стохастический подход. В работе [7] рассматривается применение теории корреляционных функций для математического описания процесса смешивания, которая позволяет анализировать работу лишь линейных систем. Наличие значительных по уровню возмущающих воздействий [1] и конструктивное оформление процесса предполагают нелинейность характеристик процесса смешивания, учесть которые можно с помощью аппарата теории марковских процессов.

Однако прежде чем заменить реальный процесс смешивания на непрерывный марковский, необходимо убедиться в правомерности такой замены. Дело в том, что реальные процессы, и в том числе процесс смешивания, не являются одномерными марковскими процессами, так как последние недифференцируемы, а существенной особенностью реально возникающих процессов как раз является дифференцируемость, связанная с неизбежной инерционностью всех реальных динамических систем. Замена реального процесса марковским допустима, когда реальный процесс определяется дифференциальным уравнением, содержащим функцию возмущения в виде нормального белого шума [9].

Класс объектов, описывающий такое поведение системы, имеет уравнение вида:

$$\frac{dx_i}{dt} = A_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t) + \zeta_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t), \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

где A_i — совокупность детерминированных воздействий;

ζ_i — совокупность стохастических воздействий;

x_i — совокупность обобщенных координат, определяющих протекание процесса.

Принимаем, что ζ_i — дельта-коррелированные случайные функции с математическим ожиданием, равным нулю, т. е.:

$$M[\zeta_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t)] = 0; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \zeta_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \zeta_j(x_1, x_2, \dots, x_n, t + \tau) = \\ = D_{ij}(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \delta(\tau), \end{aligned} \quad (3)$$

где D_{ij} — коэффициент диффузии;

$\delta(\tau)$ — дельта-функция;

M — знак математического ожидания.

Процесс, выраженный формулами (1)—(3), является марковским и имеет полное вероятное описание в форме уравнения Фоккера — Планка — Колмогорова (для одномерного случая) [9]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial^2 (D_x f)}{\partial x^2} - \frac{\partial (V_x f)}{\partial x}. \quad (4)$$

Здесь f — плотность вероятности распределения;
 D_x и V_x — коэффициенты диффузии и сноса (по аксиальной координате).

Хотя процесс смешивания идет в двух направлениях — аксиальном и радиальном — его протекание рассматривается только по одной (аксиальной) координате $x = l/L$ (где l — текущая аксиальная координата, а L — длина смесителя). Это обусловлено тем, что скорость движения потока в радиальном направлении (15—20 м/с) намного превышает его скорость в аксиальном (0,15—0,2 м/с), поэтому радиальной составляющей можно пренебречь.

В нашем случае плотность вероятности распределения отождествляется с влажностью древесных частиц, которая влияет на продолжительность прессования и физико-механические свойства плит [8], а коэффициенты диффузии и сноса рассматриваются как коэффициенты смешивания и скорости процесса соответственно.

Докажем, что процесс смешивания древесных частиц со связующим сводится к уравнению вида (1). Запишем уравнение движения отдельной древесной частицы массой m

$$m \frac{du}{dt} = G + F + K, \quad (5)$$

где G — внешняя массовая сила;
 F — сила взаимодействия частицы со связующим;
 K — сила взаимодействия между частицами при столкновении;
 u — скорость частицы.

В работе [3] сила взаимодействия частицы твердого с жидкостью принимается пропорциональной относительной скорости

$$F = \Phi(c, |s - u|)(s - u), \quad (6)$$

Здесь c — фракционный состав частиц;
 Φ — коэффициент сопротивления;
 s — скорость жидкости.

Далее делаем следующие допущения.

1. Коэффициент сопротивления Φ — функция лишь фракционного состава древесных частиц такая, что для изолированной частицы совпадает с формулой Стокса:

$$\Phi(0) = k_\Phi \mu, \quad (7)$$

где k_Φ — коэффициент формы древесных частиц;
 μ — вязкость связующего.

Это уравнение широко применяют в различных областях математического описания процессов (например, в теории смазки). Данное допущение проверено авторами при численном решении задачи.

2. Силой взаимодействия частиц при столкновении K в рассматриваемой области можно пренебречь ($K = 0$), так как при уплотнении их центробежными силами смесь рассматривают как гомогенную массу. Это применимо к рассматриваемому в статье процессу, происходящему в быстроходных смесителях.

3. Время релаксации скорости частиц $q = m/\Phi(c)$ мало по сравнению с характерными временными масштабами задачи. Это позволяет

пренебречь инерцией частиц, т. е. левую часть уравнения (5) считать равной нулю.

4. Скорость жидкости s можно представить в виде суммы

$$s = v + \omega, \quad (8)$$

где v — средняя скорость несущего потока;

ω — флуктуационная составляющая, описывающая стохастическое влияние движения частиц.

С учетом этих допущений, скорость частицы $u = dx/dt$ выразится как

$$\frac{dx}{dt} = \frac{G}{\Phi(0)} + v + \omega. \quad (9)$$

Уравнения (1) и (9) идентичны, т. е. реальный процесс смешивания сводится к непрерывному марковскому. Два первых слагаемых в правой части уравнения (9) отражают детерминированную часть процесса, а третье — стохастическую.

При математическом описании рассмотрим лишь процессы, происходящие в зонах введения связующего и его перераспределения и определяющие весь процесс смешивания. Для того чтобы уравнение вида (4) было полностью определено, дополняем его начальными и граничными условиями.

С учетом вышесказанного, структура стохастической модели процесса смешивания древесных частиц со связующим имеет вид:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial^2 (D_x f)}{\partial x^2} - \frac{\partial (V_x f)}{\partial x}. \quad (10)$$

Начальные условия

$$f(x, 0) = f_0(x). \quad (11)$$

Граничные условия

$$V_x f - \frac{\partial (D_x f)}{\partial x} = V_x f_0(x) |_{x=0}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 0 |_{x=1}. \quad (13)$$

Так как система уравнений (10) — (13) не имеет аналитического решения, то ее решали численным методом (методом сеток) на ЭВМ ЕС-1033 [6]. Для установления адекватности модели определяли коэффициенты D_x и V_x . Коэффициент D_x определяет площадь потока древесных частиц, покрытого связующим в единицу времени. Предполагается, что он носит экспоненциальный характер [5]:

$$D_x = 1 - \exp(-kx), \quad (14)$$

где x — аксиальная координата;

k — параметр, зависящий от фракционного состава.

Коэффициент V_x определяет аксиальную скорость потока и носит гармонический характер из-за особенностей конструктивного оформления смешивающих органов

$$V_x = A \sin\left(\frac{1}{T}x\right) + B. \quad (15)$$

Здесь A — амплитуда колебаний скорости;

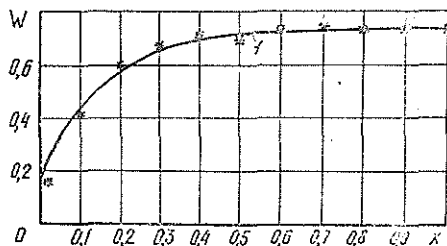
B — средняя аксиальная скорость потока;

T — шаг между смешивающими лопастями.

Значения x , k , A , B , T нормированы и получены методами имитационного моделирования [10] для средней производительности смесителя 8 т/ч при нормальной плотности распределения влажности древесных частиц на входе в смеситель.

Профиль влажности древесных частиц по аксиальной координате смесителя.

$x = 0-1$ (0-1,3 м); $W = 0-1$ (0-20 %); t — численное решение.



На основании решения уравнений (10)—(15) получены профили изменения влажности древесных частиц по длине смесителя (аксиальной координате). Для примера на рисунке представлен профиль влажности древесных частиц при $k = 1$; $A = 0,15$; $B = 0,6$; $T = 0,06$ и начальной влажности с нормированным математическим ожиданием $W = 0,15$. Адекватность модели проверена и подтверждена путем сравнения с реализациями процесса [4] по критерию Манна — Уитни [10] при уровне значимости 15 %.

Данную стохастическую модель применяют для расчета процесса смешивания при проектировании нового смесительного оборудования с учетом влияния свойств сырья (начальная влажность древесных частиц, их фракционный состав) и конструктивного оформления процесса (геометрия смесителя, число оборотов смешивающих органов).

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аврусин А. А., Векслер А. К. Стабилизация влажности осмоленых древесных частиц в цехах СП25.— *Деревообраб. пром-сть*, 1977, № 6, с. 8—10. [2]. Балмасов Е. Я. Характеристики объектов управления в производстве древесных плит.— В кн.: Автоматизация лесной и деревообрабатывающей промышленности. Науч. тр. МЛТИ, М.: МЛТИ, 1973, вып. 59, с. 26—40. [3]. Дейч В. Г., Стальский В. В. Анализ процесса непрерывного сгущения суспензий на основе уравнения Фоккера — Планка — Колмогорова.— *Теоретические основы химической технологии*, 1984, 18, № 1, с. 66—71. [4]. Исследование объектов и разработка локальных систем автоматического регулирования процессами производства древесностружечных плит на участке бункер сырой стружки — горячий пресс: Отчет/ Белорус. технол. ин-т; Руководитель работы П. В. Ползик. № ГР 76088553.— Минск, 1981.— 83 с. [5]. Кафаров В. В. Основы массопередачи.— М.: Высш. школа, 1962.— 655 с. [6]. Лис В. И., Цурко В. А. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ.— Минск, 1981, вып. 28.— 104 с. [7]. Определение основных статических и динамических параметров смесителя как объекта регулирования/ М. Ш. Пильцер, В. И. Музалевский, Г. М. Шварцман и др.— В кн.: Новое в технике и технологии производства фанеры, древесностружечных плит и древесностружечных пластиков. Сб. тр. ЦНИИФ. М.: Лесн. пром-сть, 1978, вып. 9, с. 58—66. [8]. Отлев И. А., Жуков Н. И. Влияние влажности сухой и осмоленной стружки на процесс изготовления плит.— *Плиты и фанера. Экспресс-информ.*, 1981, № 5.— 12 с. [9]. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы.— М.: Советское радио, 1977.— 488 с. [10]. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука.— М.: Мир, 1978.— 418 с.

Поступила 16 сентября 1985 г.