



А.В. Локтионов, В.Г. Буткевич, Т.А. Мачихо

## Исследование процесса смешивания волоконистых компонентов при формировании нетканых полотен

Предприятия Республики Беларусь стремятся снизить себестоимость выпускаемой продукции без значительного изменения технологии ее производства. Традиционно нетканые полотна формировались из шерстяных, хлопковых, химических волокон и их отходов на оборудовании, предназначенном для переработки только данного вида сырья. В настоящее время себестоимость продукции на 60–70% зависит от стоимости сырья. Из-за высокой стоимости волокон шерсти и хлопка производство нетканых полотен становится нерентабельным. Снижение себестоимости выпускаемой продукции возможно при уменьшении затрат на сырье и замене дорогостоящих волокон дешевыми льняными отходами.

Одной из основных технологических операций при производстве нетканых материалов является операция смешивания. При смешивании волоконистых компонентов необходимо равномерное распределение волокон с разными свойствами внутри каждого компонента и каждого компонента во всей смеси. Различают случайный (неорганизованный) и организованный способы смешивания. При неорганизованном способе и при беспорядочном характере движения смешиваемых частиц наблюдается случайное пребывание каждой частицы в любом участке смеси и наименьшее отклонение состава любой части смеси от заданного рецепта. При случайном распределении компонентов (клочков и волокон) в любом ее объеме, во всей массе неорганизованный способ смешивания осуществляется в камерах питателей с игольчатыми решетками и при сгущении формируемого волоконистого слоя. Организованный способ смешивания осуществляется как сложением разных потоков волокон при продольном их соединении, так и циклическим сложением одного потока. При этом в каждом поперечном сечении формируемого потока число волокон компонентов равно суммарному числу отдельных складываемых компонентов. При отсутствии неровноты складываемых компонентов в формируемом волоконистом потоке сохраняется заданное рецептом их соотношение.

Комбинация организованного и неорганизованного способов позволяет ускорить и улучшить смешивание компонентов, значительно различающихся по своим свойствам. При этом обеспечивается наибольшая вероятность получения случайного распределения частиц смеси [1]. Для получения смеси, содержащей заданное количество волокон, могут применяться разные способы смешивания, которые устанавливаются в зависимости от объема перерабатываемой смеси, требований, предъявляемых к качеству продукта, и типа используемого оборудования. При смешивании необходимо получить более равномерные по составу и по свойству продукты заданных себестоимости и

качества, обеспечив при этом требуемую производительность технологических операций [2–4]. При производстве нетканых материалов смешивание осуществляется сгущением волокнистого продукта при аэродинамическом воздействии на формируемый настил. Наиболее простая схема формирования настила осуществляется в прямой шахте, куда подается волокнистый материал и осаждается в процессе движения на сетчатый конденсор.

В работе аналитически исследован процесс смешивания отходов льняного волокна на базовом оборудовании, предназначенном для переработки шерсти. Для получения оптимальной смеси необходимо установить закон ее распределения по объему шахты. В общем случае концентрация материала  $Y$  является функцией координат и времени  $Y = Y(x, y, z, t)$ . (1)

При загрузке волокнистой массы в любой части конденсора настил неравномерен и является функцией координат и времени. Поэтому описать в общем случае процесс выравнивания настила, происходящего в трех  $x, y, z$  направлениях, достаточно сложно. В работе предложен упрощенный анализ процесса формирования настила в холст, при котором отсутствует неравномерность волокнистой массы в поперечном и вертикальном направлениях.

Принимаем, что на интенсивность осаждения волокнистой массы  $M$  влияют концентрация материала  $Y(x, t)$  вблизи настила, загрузка  $G(x, t)$  и разрежение  $f(x, t)$  внутри конденсора. Загрузка  $G(x, t)$  кг/м<sup>3</sup> – это удельная масса волокон в единице объема. Уравнение осаждения волокон на сетку конденсора имеет вид

$$\frac{dG(x, t)}{dt} = F [Y(x, t); f(x, t); G(x, t)].$$

Для конденсоров шахтного типа [1]  $F = a \frac{Y(x, t) f(x, t)}{G(x, t) + C}$ . (2)

где  $a$  и  $C$  – константы, определяемые из начальных условий (или экспериментально).

С учетом (2) уравнение (1) примет вид

$$\frac{dG(x, t)}{dt} = a \frac{Y(x, t) f(x, t)}{G(x, t) + C}. (3)$$

В быстроходных конденсорах (типа КБ) отсасывающий вентилятор работает равномерно, разрежение не зависит от времени, и процесс распределения продукта по длине бункера описывается функцией

$$Y(x, t) = R(x)Q(t), (4)$$

где  $R(x)$  – распределение в установившемся режиме концентраций волокна по длине бункера;

$Q(t)$  – отношение концентрации волокна в любой точке к базовой концентрации.

При установившемся режиме работы разрежение во всех точках конденсора постоянно, но различно, и регулируется при помощи специальных щитков и заслонок. Изменение загрузки зависит от массы  $M$  волокна в бункере шахтного типа и положения заслонки, регулирующей воздушно-волокнистый поток

в рабочей зоне шахты смесовой машины. Конкретная конструкция конденсора, зависящая от наличия щитков и заслонок, учтена функцией  $\varphi(x)$ . В бункерах шахтного типа внутреннее разрежение зависит от их заполнения волокном, то есть от массы  $M$  волокна, которая фактически является для функции разрежения коэффициентом пропорциональности. Для базового режима принимаем  $Q(t) = 1$ . Тогда уравнение (3) можно представить в виде

$$\frac{dG(x,t)}{dt} = \frac{M\varphi(x)}{G(x,t)+C} \quad (5)$$

Учитываем, что  $\frac{dG}{dt} = \frac{\partial G}{\partial t} + V \frac{\partial G}{\partial x}$ , где  $V = \frac{dx}{dt}$  – скорость транспортера конденсора.

Тогда уравнение (5) примет вид

$$\frac{dG(x,t)}{dt} = \frac{\partial G(x,t)}{\partial t} + V \frac{\partial G(x,t)}{\partial x} = \frac{M\varphi(x)}{G(x,t)+C} \quad (6)$$

Определим суммарное количество волокна, осевшего на решетку конденсора, если концентрация волокна в бункере равна базовой концентрации  $\rho$  ( $\rho \approx 0.8 - 1$  кг/м<sup>3</sup>). Для установившегося режима, при  $\frac{\partial G(x,t)}{\partial t} = 0$ ,  $G(x) = 0$  бункер волокном не наполняется.

Из уравнения (6) имеем:  $\int_0^l \frac{dG}{dt} dx = \int_0^l \frac{M\varphi(x)}{C} dx$ . Учитывая что

$$V \frac{dG(x)}{dx} = \frac{M\varphi(x)}{G(x)+C} \quad (7)$$

из уравнения (7) после преобразований получим

$$G(x) = \sqrt{\frac{2M}{V} \int_0^x \varphi(x) dx + C^2} - C, \quad (8)$$

где  $\varphi(x)$  – есть, как отмечено выше, функция, определяемая конкретной конструкцией конденсора.

Функция  $\varphi(x)$  определена экспериментально. А именно если остановить конденсор, очистить его (то есть  $G(x) = 0$ ), и затем, обеспечив равномерность его загрузки, определить за достаточно малый промежуток времени приращение загрузки по длине конденсора. Доля, которую составляет загрузка в точке  $x$  от общего количества материала, осевшего на поверхности конденсора, равна  $\varphi(x)$ . Оптимальная установка заслонок и их геометрия в стандартном оборудовании, используемом для переработки шерстяных волокон, позволяют качественно организовать процесс смешивания льняных волокнистых отходов. Рекомендовано для смешивания льняных отходов использовать оборудование по переработке шерстяных волокон. При этом ско-

рость отводящей решетки смесовой машины  $V$  изменяется в пределах от 0,12 до 6 м/мин. Экспериментальные исследования показали, что оптимальная скорость должна находиться в пределах 1,2–2,4 м/мин, при этом плотность смеси в камере оптимальная и равна 32–34 кг/м<sup>3</sup>. Установлено также, что при оптимальной загрузке ( $\approx 35$  кг/м<sup>3</sup>) в камере должно находиться 80–85 кг волокнистых отходов. При таком количестве волокна обеспечивается максимальная смешивающая способность машины.

Можно обеспечить такой режим работы конденсора, при котором

$\int_0^x \varphi(t) dx = 1$ . Тогда уравнение (8) – кривая, зависящая от константы  $C$ , массы

клочка волокон и скорости вхождения волокна в рабочую зону конденсора.

Из уравнения (8) следует, что загрузка с увеличением скорости  $V$  решетки уменьшается по параболической зависимости. Из уравнения (8) также следует, что конденсор работает более интенсивно на выходе волокнистой массы из камеры и менее интенсивно при входе ее в камеру. При этом для интенсификации работы конденсора в зоне входа волокон в камеру целесообразно создать дополнительный воздушный поток, перераспределяющий воздушно-волокнистую массу внутри конденсора.

Таким образом, для аналитического определения оптимальных параметров скорости настила на поверхности конденсора и массы волокна в камере смесовой машины получено уравнение (8), описывающее процесс смешивания льняных технологических отходов, которое представляет упрощенную модель формирования холста на оборудовании для переработки шерстяных волокон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петканова Н.Н., Урумова Д.Г., Чернев В.П. Переработка текстильных отходов и вторичного сырья. – М., 1991. – 238 с.
2. Нетканые текстильные полотна. Справочное пособие / Е.Н. Бершеев, Г.П. Смирнов, Б.В. Заметта, Ю.П. Назаров, В.Н. Корнеев. – М., 1987. – 400 с.
3. Гензер М.С. Механическая технология нетканых текстильных полотен. – М., 1978. – 200 с.
4. Гусев В.Е. Сырье для шерстяных и нетканых изделий и первичная обработка шерсти. – М., 1977. – 408 с.

## S U M M A R Y

*To obtain non-woven fabrics with different ways of forming the process of mixing fibre components with flex fibre wastes has been studied. It has been proposed the equation which describes the technological process of mixing. The optimum parameters of covering speed and of fibre mass in the chamber of mixing machine have been recommended.*

*Поступила в редакцию 7.04.2004*