

**СИНТЕЗ ЯЧЕЕЧНОЙ МОДЕЛИ МАССООБМЕНА
В ПРОЦЕССЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА
РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ**

**THE SYNTHESIS OF A MASS TRANSFER CELL MODEL
IN THE PROCESS OF A FIBROUS MATERIAL DEHYDRATION
BY DISTRIBUTED PRESSURE**

С.В. ЕРШОВ, Е.Н. КАЛИНИН
S.V. ERSHOV, E.N. KALININ

(Ивановская государственная текстильная академия)
(Ivanovo State Textile Academy)
E-mail: enkalini@gmail.com

Разработана ячеечная модель процесса массообмена при механическом воздействии на текстильный материал в валковом устройстве, дающая возможность определения зависимости между остаточной влажностью текстильного материала и входными параметрами процесса обезвоживания.

The cell model of the process of mass transfer under mechanical action on the textile material in a roll, making it possible to determine the relationship between residual moisture content of a textile material and the input parameters of the process of dehydration, has been developed.

Ключевые слова: динамический режим нагружения, массообмен, капиллярно-пористая структура, валковое устройство, ячеечная модель.

Keywords: dynamic loading conditions, mass transfer, a capillary-porous structure, the roller unit cell model.

Целью математического моделирования обезвоживания является установление связи между остаточной влажностью текстильного материала и основными параметрами процесса. Традиционно процесс механической обработки длинномерного материала распределенным давлением в валковых устройствах осуществляется в статическом режиме нагружения при постоянной технологической нагрузке. При динамическом режиме нагружения в потоке жидкости, движущейся через капиллярно-пористую структуру текстильного материала, возникают кавитационные явления и явления гидравлического удара, которые повышают эффективность обезвоживания. Разработанная нами модель описывает фильтрацию жидкости в ткани при статическом режиме нагружения и является первой стадией моделирования обезвоживания при динамическом режиме нагружения валов.

Традиционно теоретической основой исследований в этой области являются: дифференциальные уравнения массопереноса; трехфазная структура ткани, состоящая из твердых частиц, связанной и свободной воды; контактная задача, описывающая процесс напряженно-деформированного состояния системы и другие факторы, существенно влияющие на технологический процесс механической обработки текстильного материала. Возможность получения аналитических решений этой задачи связана с введением весьма существенных допущений, с дискретизацией процессов в пространстве и во времени, что существенно снижает универсальность таких моделей и алгоритмов расчета, а также точность прогнозирования выходных параметров исследуемых явлений. Имеющийся в практике метод ячеечного подхода [1], основанный на тео-

рии цепей Маркова, дает возможность корректного решения представленной задачи и позволяет создать модель процесса механической обработки текстильного материала, применимую в широком диапазоне параметров исследуемой системы.

Основные элементы модельного представления процесса механического обезвоживания текстильного материала показаны на рис. 1. Обрабатываемый материал проходит через отжимную пару валкового устройства. Между валами установлен зазор h_{\min} , величина которого меньше толщины $h_{\text{тк}}$ ткани в свободном состоянии. Ткань состоит из твердых частиц (скелета), связанной и свободной воды. Скелет ткани считается абсолютно упругим. В зоне контакта валов с тканью на последнюю действуют гидравлическое давление $H=H(x)$, характеризующееся фильтрационными свойствами ткани, скоростью ее проводки и геометрией зоны контакта, и давление сжатия $P=P(x)$, которое определяется величиной силы прижима валов отжимного устройства.

Переход к ячеечной модели связан с пространственно-временной дискретизацией процесса. Длина зоны контакта валов с текстильным материалом, заключенная между сечениями а-а и с-с (рис. 1), то есть тот участок, на котором непосредственно происходит удаление влаги, разбивается на m ячеек идеального смещения одинаковой длины Δx , все параметры которых равномерно распределены в своем объеме. В некоторый момент времени распределение частиц жидкости вдоль длины контактной полоски текстильного материала представлено вектором-столбцом массы жидкости в ячейках:

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_j \\ \dots \\ W_m \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где W_j – влагосодержание в рассматриваемой

ячейке; j – номер рассматриваемой ячейки.

Переход из одного состояния в другое происходит через промежуток времени одного перехода Δt , который принимается достаточно малым для того, чтобы частицы жидкости в течение перехода могли переместиться из данной ячейки только в соседние, но не далее. В течение любого отдельно взятого перехода i распределение влаги в текстильном материале вдоль длины зоны контакта составляет величину W^i , которое через время Δt изменяется и становится равным W^{i+1} . Оба этих состояния связаны матричным равенством:

$$W^{i+1} = PW^i, \quad (2)$$

где P – переходная матрица

$$P = \begin{bmatrix} p_{s1} & p_{b2} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ p_{f1} & p_{s2} & p_{b3} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{f2} & p_{s3} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & p_{s(m-2)} & p_{b(m-1)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & p_{f(m-2)} & p_{s(m-1)} & p_{bm} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & p_{f(m-1)} & p_{sm} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

а p_{sj} , p_{fj} , p_{bj} – вероятности остаться в j -й ячейке и перейти вперед и назад соответственно, каждая из которых должна удовлетворять условию $0 \leq p \leq 1$, а их сумма должна быть равна единице.

Пусть частицы жидкости движутся в капиллярно-пористой структуре текстильного материала со скоростью $V_{\text{ж}}$, а коэффициент их макродиффузии, характеризующий собой самопроизвольное перемещение частиц жидкости, приводящее к выравниванию их концентраций по всему занимаемому объему, равен D . Тогда вероятности перемещения влаги из одной ячейки в последующую и предыдущую составляют соответственно:

$$p_f = v + d, \quad p_b = d, \quad (4)$$

где

$$v = V_{\text{ж}} \frac{\Delta t}{\Delta x}, \quad d = D \frac{\Delta t}{\Delta x^2}, \quad (5)$$

При моделировании рассматриваемого процесса, когда движущаяся с постоянной скоростью $V_{\text{тк}}$ ткань проходит за один переход расстояние Δx , то есть одну ячейку, величины Δt и Δx зависимы и связаны соотношением:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{V_{\text{тк}}}, \quad (6)$$

Схема ячеечного представления процесса механического обезвоживания текстильного материала распределенным давлением и структура матрицы переходных вероятностей представлены на рис. 1 (1, 2 – валы отжимного устройства; 3 – обрабатываемый текстильный материал; 4 – твердый скелет ткани; 5 – свободная влага).

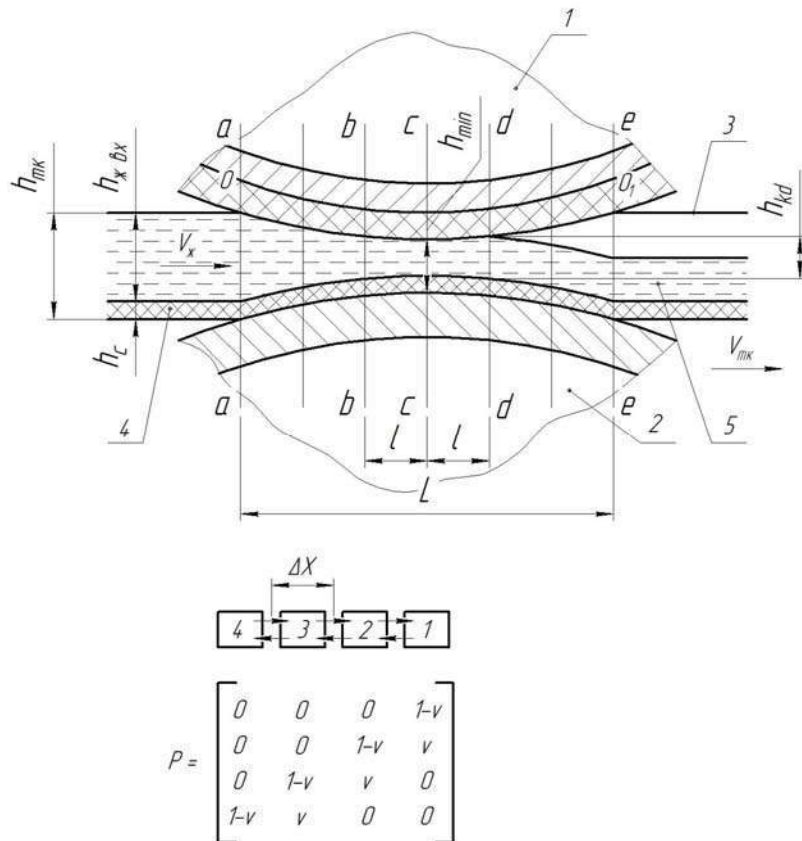


Рис. 1

Ячеечная модель построена для случая, когда $d=0$, и может быть прокомментирована на примере рассмотрения процесса влагопереноса в ячейках 1 и 2. Пусть каждая сторона ячейки в плане равна Δx , а перпендикулярно плоскости рисунка – единице. Расстояние между центрами ячеек также равно Δx . Под действием гидравлического давления, которое возникает в текстильном материале при сжатии, происходит вытеснение жидкости из ячейки 1, которая соответствует зоне с минималь-

ным сечением, в ячейку 2. Для этого перехода вероятность остаться в ячейке 1 определяется как разность между единицей и суммой вероятностей всех остальных возможных переходов, то есть суммой ненулевых элементов, встречающихся в столбце – $p_{s1}=1-v$. Соответственно, вероятность перехода во 2-ю ячейку p_{12} равна доле переносимой массы влаги v .

Переходная матрица P строится с учетом того, что скорость движения жидкости в материале по всей длине зоны контакта

валов с тканью меняется вследствие изменения сжимающего и гидравлического давлений вдоль этой зоны. Абсолютная скорость жидкости в любом сечении связана со скоростью проводки ткани равенством:

$$V_{жj} = V_{тк} \frac{h_{kd}}{h_{kj}}. \quad (7)$$

Если масса жидкости в ячейке становится больше предельной, то избыточная над предельным содержанием масса влаги переносится в последующие ячейки, что реализуется в модели за пределами матрицы P путем проверки и обработки вектора состояния W^{i+1} после перехода. Аналогичным образом учитывается удаление влаги из текстильного материала на входе в зону контакта, то есть удаление избыточной массы влаги из крайней ячейки цепи.

На выходной стороне зоны контакта отжимных валов давление в текстильном материале постепенно уменьшается, восстанавливается толщина полотна ткани. С прекращением давления градиент гидравлического давления падает до нуля, что приводит к возникновению частичного вакуума на выходе из зоны контакта валов с текстильным материалом, в результате чего происходит процесс повторного увлажнения материала. Установлено [2], что остаточная влажность ткани равна влагосодержанию в сечении $d-d$. Следует отметить, что влагосодержание в сечении $d-d$ соответствует влагосодержанию в сечении $b-b$, которые расположены на расстоянии l симметрично относительно линии, соединяющей центры вращения отжимных ва-

лов (рис. 1).

Таким образом, нами разработана ячеичная модель процесса механического обезвоживания текстильного материала распределенным давлением. Модель приведена к машинному виду и позволяет рассчитать остаточную влажность ткани, зная основные параметры процесса.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная нами ячеичная модель процесса механического обезвоживания текстильного материала распределенным давлением в валковых устройствах позволяет учесть все основные особенности многочисленных параметров процесса.

2. Модель является открытой и позволяет подключать в нее детальные описания отдельных составляющих процесса, а также может служить основой для разработки численного описания процесса обезвоживания при динамическом режиме нагружения исполнительных органов валкового устройства и с возможностью его реализации средствами компьютерного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мизонов В.Е. и др. Моделирование, расчет и оптимизация теплообменных процессов в текстильной промышленности: Монография. — Иваново, Иван. гос. хим.-технол. ун-т, Иван. гос. энергетич. ун-т, 2010.

2. Кузнецов В.А., Петров Н.А., Картошенко В.М. Физическая модель процесса отжима ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1987, №2. С.90...93.

Рекомендована кафедрой системного анализа.
Поступила 04.10.11.