

УДК 677.057.62

**КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНЫХ СОСТОЯНИЙ
ПРОЦЕССА МАССООБМЕНА
В ЗОНЕ КОНТАКТА ВАЛКОВОЙ ПАРЫ**

**A COMPUTER MODEL OF TRANSITION STATES
OF THE MASS TRANSFER PROCESS
IN A CONTACT ZONE OF ROLLS**

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

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

Проведен численный анализ компьютерной модели переходных состояний процесса массообмена в зоне контакта валковой пары. Установлены основные зависимости технологических характеристик процесса при динамическом режиме нагружения, которые образуют основу оптимального проектирования принципиально новых систем для механической обработки волокнистых материалов распределенным давлением с широким спектром конструктивных и технологических характеристик.

Numerical analysis of the transition states computer model of the mass transfer process in a contact zone of rolls has been carried out. Basic dependences of technological characteristics of the process under a loading dynamic mode which form the basis of optimal design of innovative systems for the mechanical processing of fibrous materials distributed by pressure with a wide range of structural and technological characteristics, have been established.

Ключевые слова: массообмен, зона контакта валковой пары, переходные состояния, ячеечная модель.

Keywords: mass transfer, a contact zone of rolls, transition states, a cell model.

Разработанная нами ячеечная модель процесса механического обезвоживания текстильного материала распределенным давлением [1] позволяет исследовать процесс фильтрации (движения жидкости) через капиллярно-пористую структуру волокнистого материала при его механической обработке в жале валов в статическом режиме нагружения.

Перспективным решением вопроса по повышению эффективности обезвоживания текстильного материала является использование динамического режима нагружения в системе валковая пара – текстильный материал. Обеспечение работы технологического оборудования в динамическом режиме возможно осуществить с использованием спроектированного нами устройства для создания импульсного режима нагружения исполнительных органов технологических машин [2]. В качестве средства создания упругих колебаний в разработанном нами устройстве используется пьезокерамический актюатор пакетного типа. При динамическом режиме нагружения в потоке жидкости, движущейся через капиллярно-пористую структуру текстильного материала, возникают кавитационные явления и явления гидравлического удара, которые интенсифицируют процесс фильтрации жидкости в структуре материала и тем самым повышают эффективность обезвоживания. Механические колебания нагрузки образуют ультразвуковые волны, которые, проходя через жидкую среду, содержащуюся в структуре волокнистого материала, создают зоны сжатия и зоны растяжения, меняющиеся местами в каждый полупериод волны. В результате к статической нагрузке в жале валов добавляется возникающее при этом дополнительное знакопеременное давление.

Переход от ячейной модели [1], описывающей процесс массообмена в капиллярно-пористой структуре текстильного материала, обрабатываемого в валковой паре при статическом режиме нагружения, к моделированию переходных состояний процесса массообмена в зоне контакта валковой пары при динамическом режиме нагружения возможен с учетом величины

знакопеременного давления ΔP , создаваемого механизмом нагружения и являющегося частью удельной нагрузки, необходимой для создания гидравлического давления в жале валов при динамическом режиме нагружения.

Величина знакопеременного давления ΔP зависит от технических характеристик и технологических параметров работы механизма нагружения, который обеспечивает динамический режим нагружения, и от свойств жидкой среды, содержащейся в структуре обрабатываемого текстильного материала:

$$\Delta P = \sqrt{\rho c I} \cdot 4,6 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкой среды, кг/м³; c – скорость распространения звуковых волн в среде, м/с; I – интенсивность – физическая величина, количественно характеризующая поток энергии, переносимой волной в направлении распространения, Вт/м²:

$$I = 2(\pi f \xi)^2 \rho c, \quad (2)$$

где f – частота упругих колебаний, Гц; ξ – амплитуда смещений, м.

Скорость фильтрации жидкости V_ϕ через капиллярно-пористую структуру текстильного материала в соответствии с законом фильтрации Дарси определяется равенством [3]:

$$V_\phi = \frac{k_\phi D_p}{\mu}, \quad (3)$$

где k_ϕ – коэффициент фильтрации текстильного материала; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с; D_p – перепад давления на длине среды l , Па.

При динамическом режиме нагружения к статической нагрузке в жале валов добавляется возникающее при этом дополнительное знакопеременное давление ΔP , вследствие чего выражение (3) примет вид:

$$V_\phi = \frac{k_\phi D_p + \Delta P}{\mu}, \quad (4)$$

Вычислительная процедура определения остаточной влажности текстильного материала в ячеечной модели [1] обеспечивается переходной матрицей, которая описывает распределение влаги в текстильном материале вдоль длины зоны контакта валов. Параметрами, формирующими переходную матрицу, являются скорость проводки текстильного материала $V_{\text{тк}}$ и скорость движения частиц жидкости в его капиллярно-пористой структуре $V_{\text{ж}}$. Скорость проводки текстильного материала $V_{\text{тк}}$, скорость движения частиц жидкости $V_{\text{ж}}$ и скорость фильтрации $V_{\text{ф}}$ связаны между собой равенством [4]:

$$V_{\text{ф}} = V_{\text{ж}} - V_{\text{тк}} \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что при постоянном значении величины скорости проводки текстильного материала $V_{\text{тк}}$ изменение скорости фильтрации жидкости $V_{\text{ф}}$ сопровождается изменением скорости движения частиц жидкости $V_{\text{ж}}$ в капиллярно-пористой структуре материала.

Таким образом, при динамическом режиме нагружения скорость движения частиц жидкости $V_{\text{ж}}$ и скорость фильтрации $V_{\text{ф}}$ в жале валов будут иметь большую величину, чем при статическом режиме нагружения за счет дополнительного знакопеременного давления ΔP . Подключая в ячеечную модель [1] дополнительные параметры устройства для создания динамического режима нагружения [2] и детальное описание физических явлений, происходящих в жале валов под действием упругих колебаний, мы получили компьютерную модель переходных состояний процесса массообмена в зоне контакта валковой пары при динамическом режиме нагружения. При этом структура переходной матрицы сохраняется.

Численный анализ [5] разработанной нами компьютерной модели выполнен применительно к хлопчатобумажной ткани миткаль арт. 15 при толщине ткани $h_{\text{тк}}=0,245$ мм и толщине скелета ткани $h_{\text{с}}=0,087$ мм [4], который состоит из твердых частиц и химически связанной с ними влаги. Условиям численного эксперимента

соответствуют: значение скорости ткани $V_{\text{тк}}=2,5$ м/с, значения диаметров валов $D_i=200$ мм, минимальная толщина деформированного слоя ткани $h_{\text{min}}=0,1$ мм, а также параметры пьезокерамического актюатора, генерирующего упругие колебания высокой частоты в устройстве для создания динамического режима нагружения, такие как амплитуда смещений $\xi=0,01$ мм и три значения частоты упругих колебаний f , равных 35, 42,5 и 50 кГц.

Результаты модельного эксперимента по определению скорости фильтрации жидкости $V_{\text{ф}}$ при статическом режиме нагружения ($f=0$ кГц) и динамическом для трех значений частоты f приведены на рис. 1.

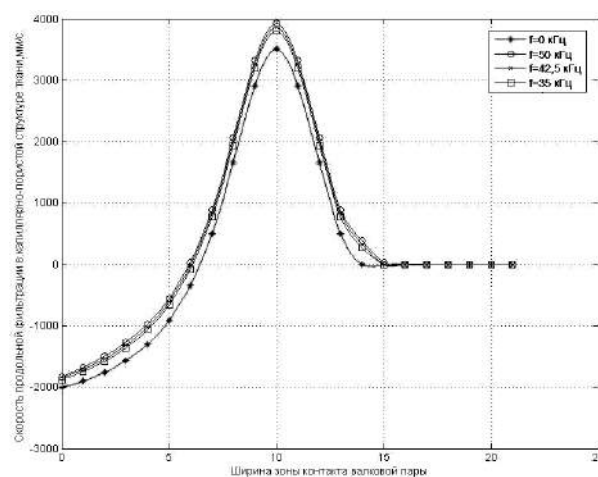


Рис. 1

Для статического режима нагружения максимальное значение скорости фильтрации жидкости $V_{\text{ф}}$ равно 3515 мм/с. При динамическом режиме максимальная скорость фильтрации жидкости $V_{\text{ф}}$ равна 3805, 3868 и 3930 мм/с для трех значений частоты f , равных 35, 42,5 и 50 кГц соответственно. Разница значений скоростей для статического и динамического режимов нагружения сохраняется на всей длине зоны контакта валов.

Остаточная влажность обрабатываемого текстильного материала в жале валов W при статическом и динамическом режимах нагружения представлена на рис. 2. Численный анализ разработанной нами компьютерной модели позволяет сделать вывод, что эффективность использования динамического режима нагружения по отно-

шению к традиционно используемому статическому режиму нагружения для указанных параметров текстильного материала, процесса обработки и механизма нагружения составляет 3%.

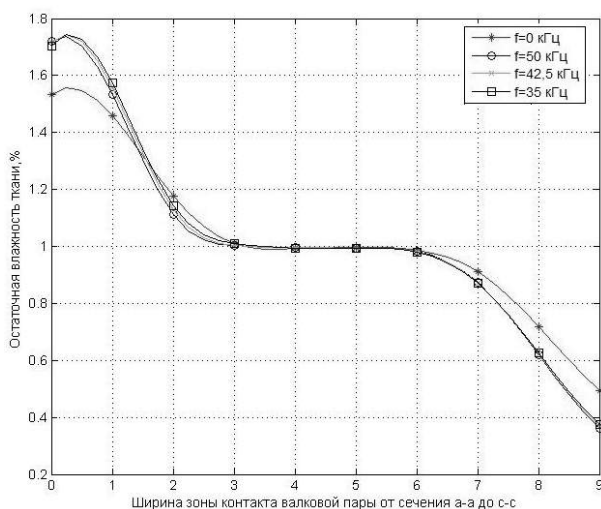


Рис. 2

ВЫВОДЫ

1. Результаты численного анализа компьютерной модели переходных состояний процесса массообмена в зоне контакта валковой пары подтверждают перспективность использования динамического режима нагружения в процессах мокрой обработки волокнистых материалов.

2. Установленные нами взаимосвязи компьютерной ячеечной модели технологических характеристик процесса при динамическом режиме нагружения исследу-

емого объекта образуют основу оптимального проектирования принципиально новых систем для механической обработки волокнистых материалов распределенным давлением, функционирование которых основано на переходных состояниях процесса массообмена в зоне контакта валковой пары.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ершов С.В., Калинин Е.Н.* Синтез ячеечной модели массообмена в процессе обезвоживания волокнистого материала распределенным давлением // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №6.
2. Пат. №2435992 Российская Федерация, МПК F15B 21/12, B06B 1/18. Устройство для создания импульсного режима нагружения исполнительных органов технологических машин / С.В. Ершов, Е.Н. Калинин [и др.]: заявитель и патентообладатель Ивановская государственная текстильная академия – №2010115551/06; явл. 19.04.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. №34.
3. *Новиков Н.Е.* Прессование бумажного полотна. – М.: Лесная промышленность, 1972.
4. *Кузнецов В.А., Петров Н.А., Картовенко В.М.* Физическая модель процесса отжима ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, №2. С. 90...93.
5. *Мартынов Н.Н., Иванов П.П.* Matlab 5.x. Вычисления, визуализация, программирование. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000.

Рекомендована кафедрой системного анализа.
Поступила 02.04.12.