

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССООБМЕННОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОМЫВКЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ершов С.В., к.т.н., Калинин Е.Н., д.т.н., проф., Кузнецов В.Б., д.т.н., проф.

*Ивановский государственный политехнический университет,
г. Иваново, Российская Федерация*

Реферат. В статье представлены результаты разработки авторами математической модели массообменного процесса, протекающего в зоне контакта обрабатываемого волокнистого материала с тканенаправляющими роликами, обеспечивающими натяжение полотна, при проводке материала в промывных машинах.

Ключевые слова: промывка волокнистых материалов, тканенаправляющие ролики, массообменный процесс.

Эффективность промывки волокнистых материалов в промывных машинах зависит от качественных и количественных показателей массообменных процессов, протекающих при этом в их структуре [1]. Отдельный интерес представляют переходные состояния массообменного процесса, имеющие место в зоне контакта с тканенаправляющими роликами, обеспечивающими натяжение полотна, при проводке волокнистого материала. Возникающие при этом дополнительные напряжения в обрабатываемом текстильном материале создают сопротивление движению жидкости через его волокнистую структуру, тем самым уменьшая ее скорость относительно скорости проводки текстильного материала, которая остается постоянной, что приводит к частичному обезвоживанию обрабатываемого волокнистого материала при огибании тканенаправляющих роликов.

Целью работы является разработка математической модели переходных состояний массообменного процесса при промывке расправленного волокнистого материала и оценки обезвоживания в зоне контакта обрабатываемого материала с тканенаправляющими роликами.

На рисунке 1 показано схематичное изображение зоны контакта текстильного материала с тканенаправляющим роликом в процессе промывки и эпюра распределения напряжений в волокнистой структуре текстильного материала по длине зоны контакта.

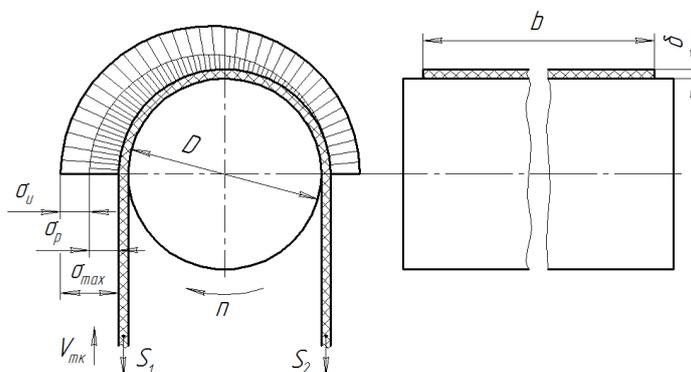


Рисунок 1 – Эпюра распределения напряжений в волокнистой структуре текстильного материала по длине зоны контакта с тканенаправляющим роликом

Геометрические параметры взаимодействия волокнистого материала и тканенаправляющего ролика определяются диаметром ролика D (мм), шириной b (мм) и толщиной δ (мм) полна обрабатываемого волокнистого материала.

Предварительное натяжение полотна волокнистого материала S_0 (Н), которое устанавливается при заправке ткани в промывную машину, в процессе пуска и последующей работы оборудования изменяется в зависимости от окружной силы передачи P (Н). В процессе промывки устанавливаются натяжения ведущей S_1 (Н) и ведомой S_2 (Н) ветвей огибающего тканенаправляющий ролик полотна, которые в соответствии с [2] определяются:

$$S_1 = S_0 + \frac{P}{2}, \quad (1)$$

$$S_2 = S_0 - \frac{P}{2}. \quad (2)$$

Величина окружной силы передачи P (Н) зависит от мощности привода ролика N (кВт) и его окружной скорости V (м/с):

$$P = \frac{2N}{V}, \quad (3)$$

Окружная скорость V (м/с) определяется как:

$$V = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}, \quad (4)$$

где D – диаметр ролика, мм; n – частота вращения ролика, об/мин.

В момент контакта обрабатываемого полотна текстильного материала с тканенаправляющим роликом в волокнистой структуре материала возникают так называемое полезное напряжение σ_p (Н/м²), вызванное разностью напряжений ведущей S_1 (Н) и ведомой S_2 (Н) ветвей огибающего тканенаправляющий ролик полотна и определяемое окружной силой передачи P (Н), и напряжение изгиба σ_u (Н/м²), которые в сумме дают максимальное значение напряжения σ_{max} (Н/м²) в структуре обрабатываемого волокнистого материала в процессе промывки. Значения возникающих в волокнистой структуре напряжений в соответствии с [2] определяются по формулам:

$$\sigma_p = \frac{P}{F}, \quad (5)$$

$$F = b\delta, \quad (6)$$

$$\sigma_u = \frac{\delta}{D} E, \quad (7)$$

$$\sigma_{max} = \sigma_p + \sigma_u, \quad (8)$$

где F – площадь поперечного сечения полотна текстильного материала, м²; E – модуль упругости (Н/м²).

Максимальное напряжение σ_{max} (Н/м²) в момент контакта обрабатываемого полотна волокнистого материала с тканенаправляющим роликом вызывает появление гидродинамического давления в структуре материала, вектор которого направлен противоположно направлению движения ткани, что снижает скорость движения и фильтрации жидкости через волокнистую структуру материала в месте контакта и приводит к появлению эффекта частичного обезвоживания обрабатываемого волокнистого материала в месте набегания полотна ткани на тканенаправляющий ролик.

Скорость фильтрации жидкости V_ϕ (м/с) через капиллярно-пористую структуру текстильного материала, в соответствии с законом фильтрации Дарси, определяется равенством:

$$V_\phi = \frac{k_\phi}{\mu} \cdot \frac{D_p}{l}, \quad (9)$$

где k_ϕ – коэффициент фильтрации текстильного материала; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с; l – длина рассматриваемого участка ткани в момент контакта с роликом, м; D_p – перепад давления на длине среды l , Па.

Скорость проводки волокнистого материала V_{mk} (м/с), скорость движения частиц жидкости $V_{жс}$ (м/с) и скорость фильтрации $V_{ф}$ (м/с) связаны между собой равенством [3]:

$$V_{ф} = V_{mk} - V_{жс} . \quad (10)$$

Из выражения (10) следует, что при постоянном значении величины скорости проводки волокнистого материала V_{mk} изменение скорости фильтрации жидкости $V_{ф}$ сопровождается изменением скорости движения частиц жидкости $V_{жс}$ в капиллярно-пористой структуре материала, что позволяет оценить условный расход жидкости через волокнистую структуру обрабатываемого материала до контакта ткани с роликом Q_1 (м³/с) и после момента контакта Q_2 (м³/с).

Т.к. скорость движения частиц жидкости в волокнистой структуре текстильного материала $V_{жс}$ до контакта ткани с роликом равна скорости движения самой ткани V_{mk} , то величина расхода Q_1 будет равна:

$$Q_1 = V_{mk} F . \quad (11)$$

Величина расхода после момента контакта ткани с роликом Q_2 определяется как:

$$Q_2 = V_{жс} F . \quad (12)$$

где

$$V_{жс} = V_{mk} - V_{ф} . \quad (13)$$

Таким образом, изменение расхода жидкости, движущейся через волокнистую структуру обрабатываемого текстильного материала, до и после момента контакта ткани с тканенаправляющим роликом позволяет оценить степень обезвоживания текстильного материала W (%) в момент контакта ткани с роликом в процессе промывки:

$$W = 100 - \frac{Q_2 \cdot 100}{Q_1} . \quad (14)$$

Разработанная модель массообменного процесса при промывке волокнистого материала в промывных машинах реализована нами в виде программного комплекса с использованием функций в системе MATLAB. Модель позволяет оптимизировать основные динамические и геометрические параметры промывного оборудования, такие как натяжение ткани, диаметр роликов, скорость проводки материала и мощность привода, в соответствии с заданными требованиями, учитывая толщину текстильного материала и ширину обрабатываемого полотна.

Список использованных источников

1. Берегов, М. А., Кузнецов, В. Б., Калинин, Е. Н. Анализ влияния профиля ребристых роликов и пространственных факторов на турбулентность жидкости в промывной ванне // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015, № 2 (63). – С. 5–9.
2. Иванов, М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов ; М. : Высшая школа, 1967. – 432 с.
3. Ершов, С. В., Калинин, Е. Н. Компьютерная модель переходных состояний процесса массообмена в зоне контакта валковой пары // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012. – №2. – С. 117–120.