УДК 676.026.4

Мельник Александр Петрович
ассистент кафедры машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Aleksandr Melnik
Lecturer of department of machines and devices of chemical and oil refining manufacturers
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО ПРЕСООВАНИЯ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА

THE MODELLING OF THE PROCESS OF HOT PRESSING OF PAPER WEB

Аннотация: *разработана математическая модель процесса горячего прессования бумажного полотна.*
Ключевые слова: *горячее прессование, бумажное полотно, сухость.*

Summary: *mathematical model of process of hot pressing of paper web was developed.*
Key words: *hot pressing, paper web, dryness.*

В процессе производства бумаги основные объемы тепловой энергии расходуются на сушку бумажного полотна, сухость которого на украинских бумагоделательных машинах, после удаления влаги на прессовой части, составляет 35–50% [1]. При этом 60–45% воды высушивается, в результате чего производство бумаги занимает второе место по удельным энергетическим затратам после металлургической промышленности. На высушивание воды расходуются значительные объемы тепловой энергии. Существенно снизить расход тепловой энергии, на сушильной части бумагоделательной машины можно увеличивая сухость бумажного полотна перед сушильной частью машины применяя на прессовой ее части метод горячего прессования. Известно, что в процессе прессования бумаги нагретыми валами можно получить сухость бумажного полотна до 70% [2], в зависимости от массы квадратного метра бумажного полотна и параметров процесса, однако в литературных источниках практически отсутствуют данные для создания методов расчета промышленных горячих прессов бумагоделательных машин. Поэтому работа по исследованию кинетики процесса горячего прессования является актуальной.

Целью данной работы является определение кинетических закономерностей и основных параметров процесса горячего прессования.

Процесс прессования бумажного полотна происходит в захвате пресса на мягкой подложке из прессового сукна (рис. 1). Поры, образованные волокнами бумажного полотна заполнены водой. В процессе прессования верхний слой 1 деформируется в результате чего вода из деформированных пор фильтруется через недеформированное бумажное полотно 2 в сукно 3, которое содержит поры большего размера и соответственно имеет больший коэффициент фильтрации, кроме того под действием градиента давления происходит фильтрация воды из бумаги в прессовое сукно.

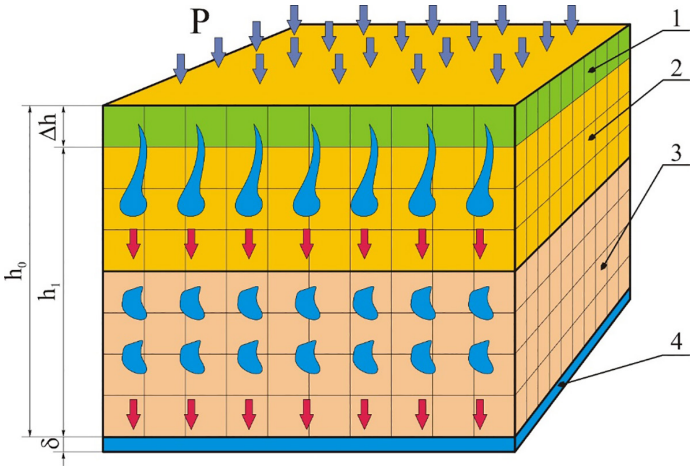
Теоретически толщина слоя отфильтрованной воды 4 соответствует величине деформации бумажного полотна.

Таким образом мы видим, что в результате прессования происходят два основных процесса. Процесс фильтрации воды, который описывается законом Дарси и процесс деформации бумажного полотна в результате которого изменяется его пористость. Скорость этих процессов описывает уравнение Дарси-Герсеванова [3]:

$$u - \varepsilon u_c = -k\frac{\partial H}{\partial z}. \qquad (1)$$

Движущей силой этих процессов является градиент давления, которое создается прижимающим валом в захвате пресса. Для определения скорости изменения давления в прессовом захвате с учетом деформации бумажного полотна Новиковым Н. Е. предложено уравнение [3]:

$$\frac{\partial H}{\partial \tau} = a^2\frac{\partial^2 H}{\partial z^2} \qquad (2)$$



1 — слой бумаги, который деформируется; 2 — недеформированное бумажное полотно; 3 — прессовое сукно; 4 — слой отфильтрованной воды

Рис. 1. Физическая модель процесса горячего прессования бумажного полотна

где

$$a^2 = \frac{(1+\varepsilon)k}{a_{сж}\gamma_в} \qquad (3)$$

где ε — коэффициент пористости; k — коэффициент фильтрации, м/с; $a_{сж}$ — коэффициент сжатия, м^2/Н; $\gamma_в$ — удельный вес воды, Н/м^3.

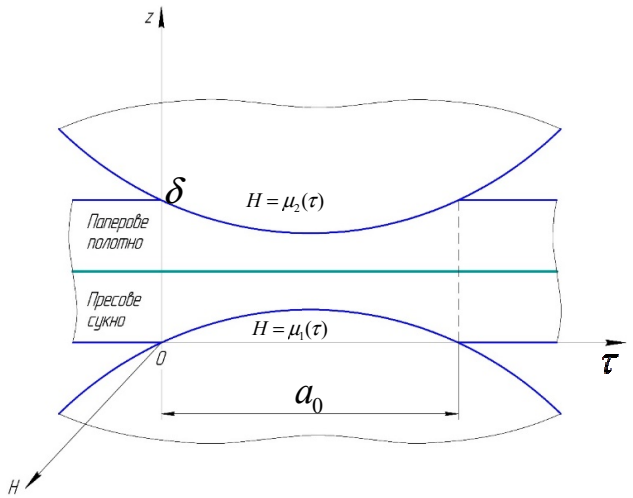


Рис. 2. Зона контакта прессовых валов

Учитывая, что давление в захвате пресса изменяется во времени по параболическому закону [3] (рис. 2) решение уравнения (2) можно получить численным методом при следующих начальных:

$$H(z,0) = \varphi(z) \qquad (4)$$

и граничных условиях:

$$\left.\begin{aligned} H &= \mu_1(\tau) + \mu_1(t) \;\; при \;\; z = 0 \\ H &= \mu_2(\tau) + \mu_2(t) \;\; при \;\; z = \delta \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

где $\mu(\tau)$ — зависимость напора от времени прессования; $\mu(t)$ — зависимость напора от температуры в межвалковом зазоре.

Температура испарения связана с температурой поверхности горячего вала зависимостью [4]:

$$t_s = t_в - \frac{q}{\alpha} \qquad (6)$$

Температура вала может быть найдена путем интегрирования уравнения нестационарной теплопроводности горячего вала с источником тепла расположенным внутри него.

Интегрируя уравнение (2) при указанных граничных и начальных условиях получим зависимость напора от времени прессования. Дифференцируя полученную зависимость по координате z получим зависимость градиента давления от времени прессования и толщины бумаги и сукна. Найденный градиент давления используем для интегрирования уравнения Дарси с целью определения количества воды, удаленной из бумажного полотна:

$$G = -k\rho\int_0^\tau \frac{\partial H}{\partial z}d\tau \qquad (7)$$

Что позволит определить конечную сухость бумажного полотна при горячем прессовании:

$$S_k = \frac{g_б - S_н}{g_б - G} \qquad (8)$$

где $g_б$ — маса одного метра квадратного бумаги, кг/м^2; $S_н$ — начальная сухость бумажного,%.

Выводы

Представленная математическая модель позволяет определить влияние основных параметров на процесс горячего прессования бумажного полотна, определить его конечную сухость, что позволит определить пути направления снижения энергоемкости оборудования.

Литература

1. Примаков С.П., Барбаш В.А. Технологія паперу і картону: Навч. посіб. / Друге видання, переробл. — Київ: ЕКМО, 2008. — 425 с.

2. Результати досліджень процесу гарячого пресування паперового полотна. В.М. Марчевський, О.П. Мельник. Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. № 1 — 2008. статья.

3. Прессование бумажного полотна. Новиков Н.Е. «Лесная промышленность», 1972 г. 240 с.

4. А.Г. Касаткин Основные процессы и аппараты химической технологии. 9-е изд. — М.: Химия, 1973. — 750 с.