

## ПРЕСУВАННЯ ФЛЮТИНГУ

Запропоновано фізичну модель та математичний опис процесу пресування паперу для гофрування (флютингу). Одержано розв'язок математичного опису у вигляді графічних залежностей сухості паперового полотна від тривалості пресування та режимних параметрів процесу.

**Ключові слова:** флютинг, пресування, прес башмачний.

© Марчевський В. М., Аксьонов І. О., 2016.

**Постановка проблеми.** Одним із способів підвищення сухості паперового полотна після пресу є збільшення тривалості пресування шляхом подовження зони пресування. Сухість паперового полотна в цьому разі становить 45...55 %. Такий спосіб реалізують у башмачних пресах. На остаточне висушування паперового полотна витрачають 2...3 кг пари на 1 кг висушеної вологи [1].

У паперовій промисловості України працюють лише два імпортованих башмачних преси на Рубежанському картоно-тарному комбінаті. Широке впровадження вітчизняних башмачних пресів стримується недостатнім дослідженням кінетики процесу і, відповідно, відсутністю методів розрахунків. Тому визначення кінетичних закономірностей пресування паперу на башмачному пресі та основних параметрів процесу, необхідних для проектування, є актуальною.

**Аналіз попередніх досліджень.** Результати досліджень кінетики пресування паперового полотна на звичайних двовальних пресах наведено в працях [1-2]. Дослідження в них базуються на законі Дарсі-Герсеванова, що враховує фільтраційний і деформаційний потоки води, що видаляється з паперу під час стискування в захваті пресу.

До недоліків цих праць можна віднести усереднення коефіцієнтів фільтрації. Папір і сукно вважають суцільним тілом. Окрім цього, межові умови на поверхні паперу, що контактує з поверхнею вала, прийнято у вигляді параболічного розподілу тиску в захваті пресу.

Наведені в працях [2, 3] розв'язки математичних моделей у вигляді залежностей сухості від швидкості є не зовсім коректними, оскільки тривалість пресування залежить не лише від швидкості, але й ширини захвату. Тому за однакової швидкості тривалість пресування може бути різною.

Кінетичні закономірності зневоднення паперу в захваті башмачного преса в літературних джерелах нами не знайдені.

**Метою** статті є розроблення фізичної моделі й математичного опису пресування флютингу для одержання параметрів, необхідних для розрахунку башмачного преса.

**Виклад основного матеріалу.** У пресах із поперечним фільтруванням вода під дією градієнта гідравлічного тиску фільтрується з паперового полотна в сукно, потім – крізь сукно в поперечному напрямі й виходить із сукна в жолобки вала преса.

Загальний потік відфільтрованої води складається з фільтраційного й деформаційного потоків, які описують рівняння Дарсі – Герсеванова [1]:

$$p_i - p_{e_i} = \rho k \frac{\partial H}{\partial z},$$

де  $u$  – загальна швидкість фільтрації, м/с;  $\varepsilon$  – відносна пористість;  $u_c$  – швидкість стискування паперового полотна, м/с;  $k$  – коефіцієнт фільтрації, м/с;  $H$  – напір, м;  $z$  – товщина паперу, м;  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>.

З урахуванням деформації паперового полотна, рівнянь Дарсі-Герсеванова, нерозривності та зміни пористості зміна фільтраційного напору з часом становитиме:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{(1 + \varepsilon)k}{\bar{a}\rho} \frac{\partial^2 H}{\partial z^2},$$

де  $\bar{a}$  – коефіцієнт стискування паперу, м<sup>2</sup>/кг.

Розв'язання рівняння (2) з відповідними межовими умовами дозволяє отримати рівняння напірної функції. Оскільки тиск в захваті башмачного преса є сталим,

$$\frac{\partial^2 H_n}{\partial z^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 H_c}{\partial z^2} = 0.$$

Якщо  $H_n|_{z=z_2} = H_0$ ,  $H_c|_{z=0} = 0$ , то за межових умов четвертого роду  $k_n \frac{\partial H_n}{\partial z}|_{z=z_1} = k_c \frac{\partial H_c}{\partial z}|_{z=z_1}$  можна одержати напір, що діє на поверхню паперового полотна

$$H_n = \frac{H_0 k_c z + H_0 (k_c - k_n) z_1}{(k_n - k_c) z_1 + k_c z_2},$$

де  $k_c$  – коефіцієнт фільтрації в сукні, м/с;  $k_n$  – коефіцієнт фільтрації в папері, м/с;  $z_1$  – товщина сукна, м;  $z_1$  – загальна товщина паперу й сукна, м;  $H_0$  – напір, м.

Диференціюючи це рівняння за товщиною полотна флютингу, одержимо градієнт тиску

$$\frac{dH_n}{dz} = \frac{H_0 k_c}{(k_n - k_c) z_1 + k_c z_2}$$

Кількість вологи, що видаляється з флютингу, розраховують за рівнянням Дарсі:

$$Q = - \left\{ \rho k_n \int_0^\tau \frac{\partial H_n}{\partial z} \Big|_{z=\delta} d\tau \right\}, \quad (1)$$

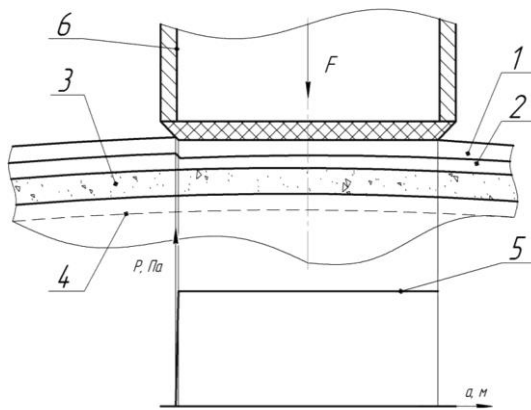
де  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $k_n$  – коефіцієнт фільтрації в папері, м/с;  $\delta$  – товщина паперового полотна для гофрування, м;  $\tau$  – тривалість пресування, с.

Інтегруючи це рівняння, можна визначити кількість води, що видаляється з 1 м<sup>2</sup> паперу.

Кінцеву сухість паперу при цьому можна визначити як  $S_k = \frac{g_0 S_0}{g_0 - Q}$ , де  $g_0$  – маса 1 м<sup>2</sup> вологого паперу до

преса, кг/м<sup>2</sup>;  $S_0$  – початкова сухість.

Рівняння (1) розв'язували за таких параметрів:  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta = 0,176$  мм;  $\tau_1 = 0,6$  с;  $\tau_2 = 0,3$  с;  $\tau_3 = 0,2$  с;  $\tau_4 = 0,15$  с;  $\tau_5 = 0,12$  с;  $\tau_6 = 0,1$  с;  $H_1 = 6,53$  м;  $H_2 = 19,59$  м;  $H_2 = 26,22$  м;  $k_{n1} = 4,3775 \cdot 10^{-9}$  м/с;  $k_{n2} = 1,7882 \cdot 10^{-9}$  м/с;  $k_{n3} = 1,401 \cdot 10^{-9}$  м/с [4]. Одержані результати наведено на рис. 2.



1 – сітка; 2 – паперове полотно; 3 – сукно; 4 – вал жолобчатий; 5 – розподіл тиску в захваті; 6 – башмак

Рис. 1 – Розподіл тисків у захваті башмачного преса

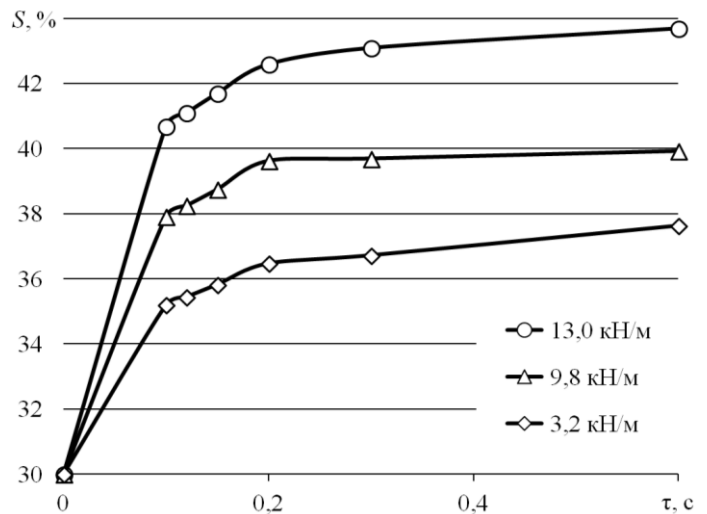


Рис. 2 – Залежності кінцевої сухості  $S$  від тривалості перебування паперу  $\tau$  у захваті преса за різного тиску

**Висновок.** Установлено, що максимальна швидкість зневоднення флютингу під час пресування в башмачному пресі відбувається в першому періоді. У другому періоді швидкість зменшується, у третьому періоді швидкість є сталою і мінімальною за величиною. Підвищення тиску в захваті преса збільшує швидкість зневоднення в першому періоді, тоді як у другому й третьому періодах відповідні швидкості зростають несуттєво, що обумовлено остаточним стисненням полотна флютингу та збільшенням гідравлічного опору.

#### Список використаної літератури

- Новиков Н. Е. Прессование бумажного полотна / Н. Е. Новиков. – М. : Лесн. пром-ть, 1972. – 240 с.
- Коновалов А. Б. Математическая модель двухкомпонентной фильтрации применительно к механическому обезвоживанию осадков / А. Б. Коновалов // Техн.-технол. проблемы сервиса. – 2011. – № 3. – С. 81-87.
- Коновалов А. Б. Имитационное моделирование рабочего процесса в прессах с продольной фильтрацией / А. Б. Коновалов // Технично-технологические проблемы сервиса. – 2012. – № 2. – С. 40-47.
- Агеев М. А. Изучение пористой структуры бумажного полотна при прессовании / М. А. Агеев, А. С. Шаклеин // Химия растительного сырья. – 2014. – № 3. – С. 265-269.

Надійшла до редакції 23.08.2015