

Научная статья
УДК 676.054.48

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ «РАМА»

Михаил Алексеевич Кузнецов¹, Алина Сергеевна Чечулина²,
Сергей Николаевич Исаков³

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ reasons13why@yandex.ru

² lina.2000.ac@yandex.ru

³ isakovsn@m.usfeu.ru

Аннотация. Моделирование движения жидкости в потокораспределителе напускного устройства лабораторной бумагоделательной машины. Сравнение аналитического расчета с компьютерным.

Ключевые слова: бумажная масса, потокораспределитель, компьютерная модель

Original article

SIMULATION OF THE OPERATION OF THE FLOW DISTRIBUTOR OF THE LABORATORY PAPER MAKING MACHINE “RAMA”

Mikhail A. Kuznetsov¹, Alina S. Chechulina², Sergey N. Isakov³

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ reasons13why@yandex.ru

² lina.2000.ac@yandex.ru

³ isakovsn@m.usfeu.ru

Abstract. The article deals with the simulation of fluid movement in the flow distributor of the inlet device of a laboratory paper-making machine. Comparison of analytical calculation with computer calculation is given.

Keywords: paper pulp, flow distributor, computer model

Бумага изготавливается на бумагоделательных машинах из бумажной массы – водоволокнистой суспензии. Она подается чаще всего в напускное устройство поперек движения массы с одной (рис. 1, *а*) или с двух сторон (рис. 1, *б*, *в*). Масса подается в напускное устройство (НУ) (1) по распределительным трубам (2), которые в некоторых случаях снабжены регулиро-

вочными задвижками (3) [1]. Для исключения нехватки подаваемой массы в НУ ее закачивается больше примерно на 10 %, чем расходуется на производство бумаги. Излишки удаляются через перелив (4). Сама же масса подается и движется по потокораспределителю (5). Две основные функции потокораспределителя – это выравнивание скоростей и давления в распределительных трубах, т. к. от этих параметров будет зависеть равномерность отлива бумажного полотна и стабильность качественных показателей бумаги.

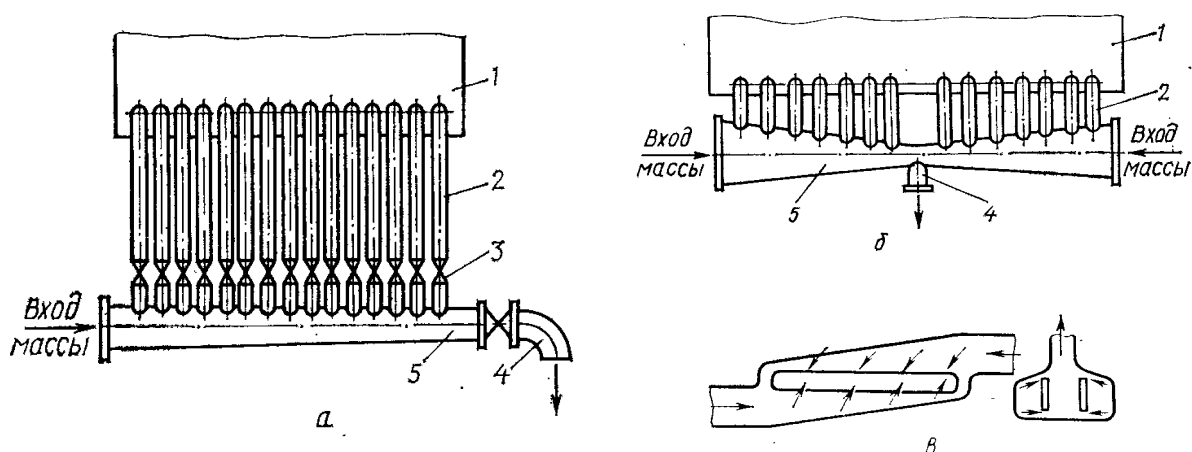


Рис. 1. Схемы поперечного подвода бумажной массы к бумагоделательной машине:
а – с односторонним; *б, в* – с двусторонним подводом

Продольный подвод бумажной массы (машинное направление) представлен на рис. 2, *а, б*.

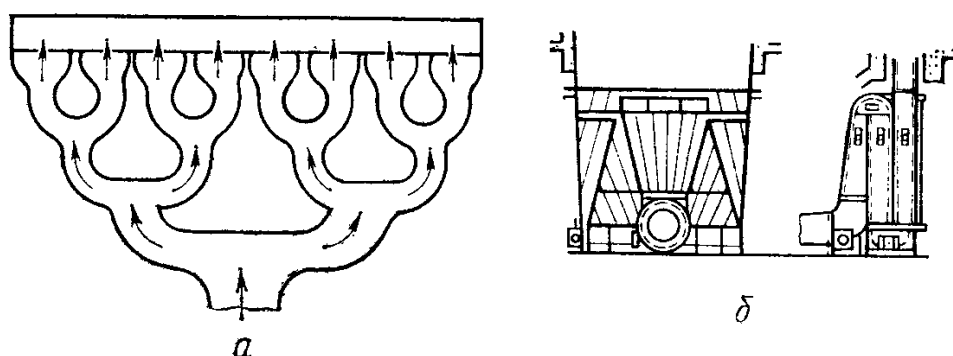


Рис. 2. Потокораспределитель с продольным подводом бумажной массы:
а – система разветвленного трубопровода; *б* – многоходовой распределитель массы

Объем бумажной массы, требуемый для изготовления бумажного полотна на экспериментальной бумагоделательной машине при скорости 1,5 м/с бумаги граммажем 45 г/м², составляет 2,45 кг/с или 2,44 л/с. С учетом 10 % перелива объем, подаваемый в напускное устройство, должен

быть 2,68 л/с. При этом давление в напускном устройстве требуется обеспечить 0,114 м водного столба или 1 117 Па.

Для моделирования движения бумажной массы в потокорапределителе в программе «Компас 3Д» создана твердотельная модель массы (рис. 4). Моделирование основано на конечно-элементном методе, для этого требуется разбить модель на конечные элементы [2]. Конечно-элементная модель представлена на рис. 5.

Работа потокораспределительной системы описывается следующим уравнением по формуле 1 [3]:

$$2 \cdot T_{oms} \cdot \xi_{oms} \cdot \omega_{oms}^2 \cdot \frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}} \cdot \frac{d^2\bar{Q}}{d\bar{x}^2} + T \cdot \xi_f \cdot \omega^2 \cdot \frac{d\xi_f}{d\bar{x}} \cdot \left(\frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}} \right)^2 + (2 \cdot \bar{Q} - \theta_{oms} \cdot \omega_{oms}) \cdot \frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}} - \frac{\bar{Q}^2}{\omega} \cdot \frac{d\bar{\omega}}{d\bar{x}} + t_r = 0, \quad (1)$$

где $\xi_{oms} = 3$ – коэффициент гидравлического сопротивления элементов отвода; $T_{oms} = \frac{1}{2 \cdot \alpha_0} \cdot \left(\frac{R_0}{\psi_{oms} \cdot L} \right)^2 = 162$ – критерий, характеризующий конструкцию круглого отвода, получим

$$\psi_{oms} = \frac{r_{oms}^2}{l \cdot R_0} = \frac{0,005^2}{0,03 \cdot 0,067} = 0,0124, \quad (2)$$

$r_{oms} = 0,005\text{ м}$ – радиус отвода; $l = 0,03\text{ м}$ – расстояние между отводами; $R_0 = 0,067\text{ м}$ – эквивалентный радиус потокораспределителя; $\omega_{oms} = 0,0000785\text{ м}^2$ – площадь одного отвода; $\omega = 0,0036\text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения трубопровода $Q = 0,00268\text{ м}^3/\text{с}$ – расход жидкости в основном трубопроводе; $d\bar{Q}$ – изменение расхода жидкости; $d\bar{x}$ – приращение координаты вдоль оси; $T = \frac{1}{2 \cdot \alpha_0} \cdot \left(\frac{b_0}{\psi \cdot L} \right)^2 = 10,59$ – критерий, характеризующий конструкцию прямоугольного коллектора; $L = 0,3\text{ м}$ – длина пронизываемой части коллектора; $\alpha_0 = 1$ – корректив количества движения; $\psi = \frac{h_{расч}}{h} = 0,0435$ – коэффициент живого сечения; $h = 0,06\text{ м}$ – высота коллектора; $h_{расч} = \frac{\omega_{oms} \cdot n}{L} = 0,00261\text{ м}$ – расчетная высота живого сечения; $n = 10$ – количество отводов; $b_0 = 0,06\text{ м}$ – ширина начального сечения; $\xi_f = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{\omega}{0,015 \cdot h} \right) = 0,375$ – коэффициент гидравлического сопротивления; $\theta = 3,4\text{ м/с}$ – проекция скорости отделяющего потока на ось основного трубопровода; $t_r = K_{Tnp} \cdot \left(\frac{h}{b_0 \cdot \bar{\omega}} + 1 \right) \cdot \bar{Q}^2 = 6,25$ – коэффициент, учитывающий трение бумажной массы в прямоугольном коллекторе; $K_{Tnp} = \frac{\lambda \cdot L}{4 \cdot \alpha_0 \cdot h} = 0,041$ – критерий трения коллектора с прямоугольным

поперечным сечением; $\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,033$ – коэффициент гидравлического трения в коллекторе;

$\Delta_s = 0,033$ – параметр шероховатости стенок; $\text{Re} = \frac{V \cdot d_{\text{экв}}}{\nu} = 49580$ – число Рейнольдса, его значение свидетельствует о турбулентном характере движения жидкости в потокораспределителе; $V = \frac{Q}{\omega} = 0,74 \text{ м/с}$ – скорость бумажной массы на входе в потокораспределитель; $d_{\text{экв}} = 0,067 \text{ м}^2$ – эквивалентный диаметр; $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость.

Подставим эти значения в уравнение и выразим распределение скоростей по отводам $\theta_{\text{отв}}(x)$, получим уравнение по формуле

$$\theta_{\text{отв}}(x) = \frac{12738 \cdot \left(0,00536 \cdot \frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}} + 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}} \cdot \frac{d^2\bar{Q}}{d\bar{x}^2} + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}} \right)^2 - \frac{\bar{Q}^2 \cdot d\bar{\omega}}{\omega} \right)}{\frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}}} \quad (3)$$

Произведя вычисления, получили график распределения скоростей по отводам, расположенным вдоль потокораспределителя (рис. 3).

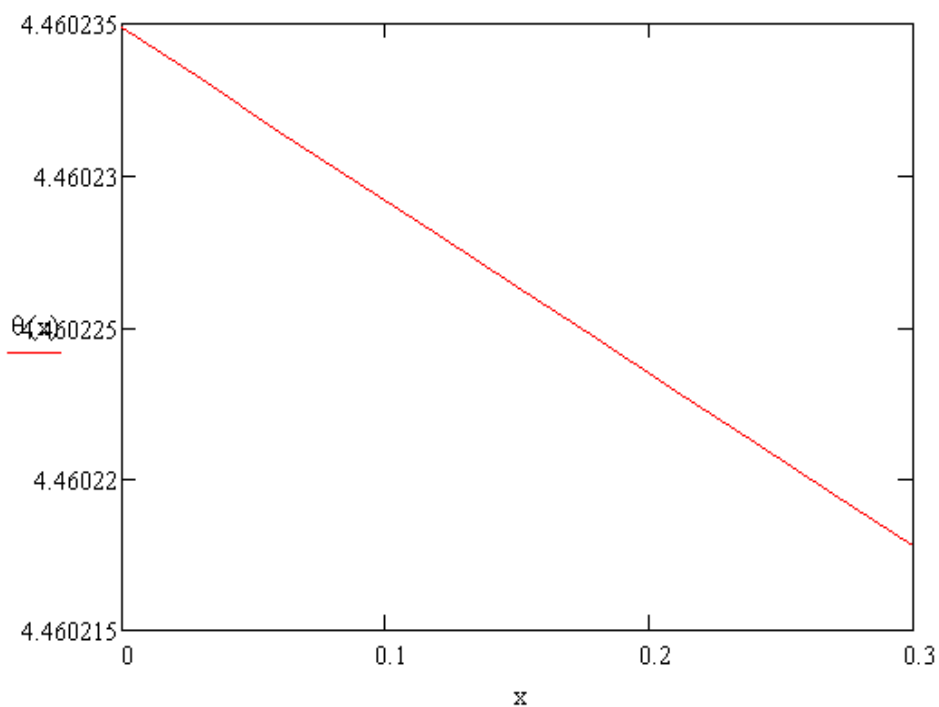


Рис. 3. График скоростей в отводах, расположенных между потокораспределителем и напускным устройством

Модели в потокораспределителе показаны на рис. 4 и 5.

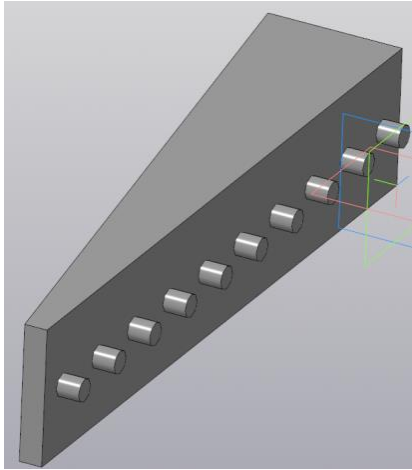


Рис. 4. Твёрдотельная модель жидкости в потокораспределителе

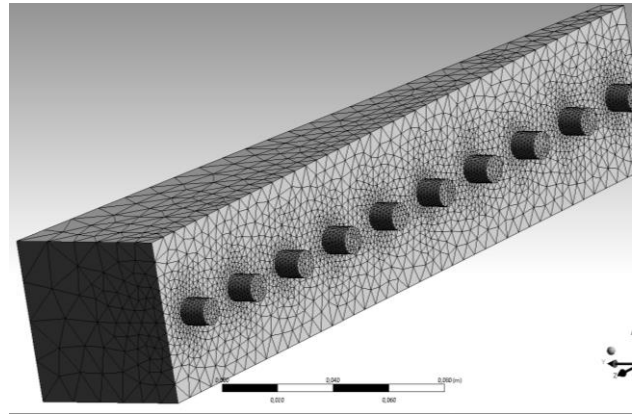


Рис. 5. Конечно-элементная модель бумажной массы в потокораспределителе

Результаты расчетов представлены в виде картин распределения скоростей в векторном виде (рис. 6.) и в виде поля распределения скоростей (рис. 7).

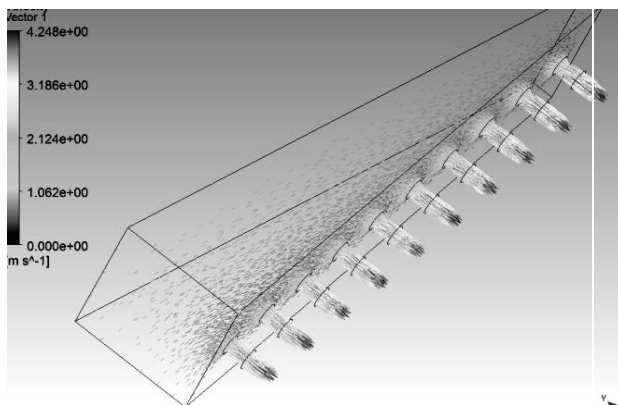


Рис. 6. Векторная картина распределения скоростей в бумажной массе

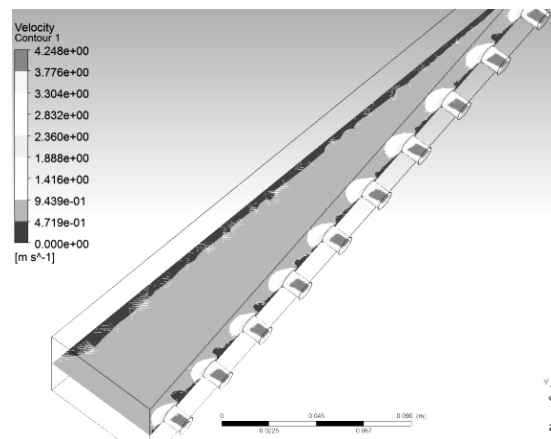


Рис. 7. Поле распределения скоростей

Поля распределения давления и линии тока представлены на рис. 8 и рис. 9 соответственно.

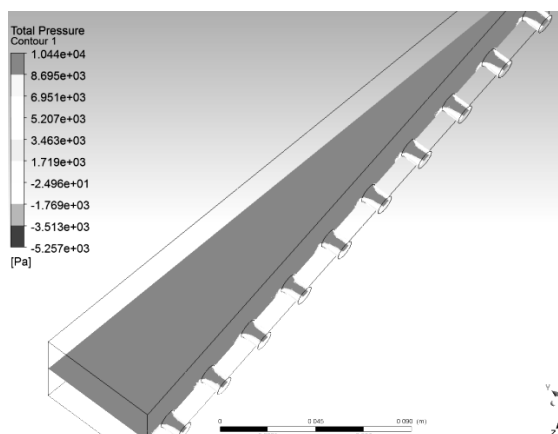


Рис. 8. Поля распределения давлений в потокораспределителе

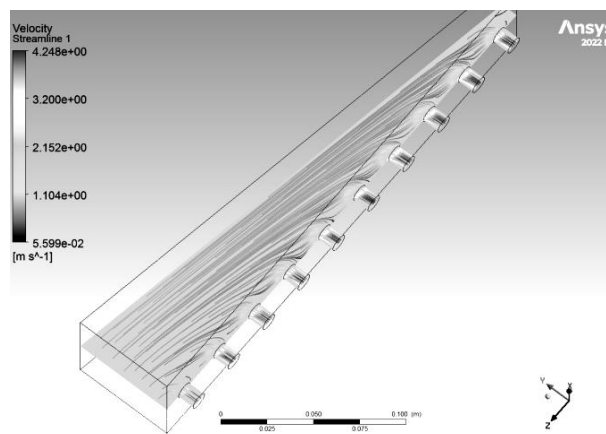


Рис. 9. Линии тока бумажной массы в потокораспределителе

Расчеты показали, что результаты расчетов аналитической модели близки компьютерной с разницей 5,1 %.

Список источников

1. Фляте Д. М. Технология бумаги : учебник для вузов. М. : Лесная промышленность, 1988. 440 с.
2. Калмыков Д. С., Исаков С. Н. Исследование гидродинамических процессов в модернизированном напускном устройстве // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции (Екатеринбург, 04–15 апреля 2022 года). Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. С. 334–337.
3. Терентьев О. А. Массоподача и равномерность бумажного полотна. М. : Лесная промышленность, 1986. 264 с.