

УДК 676.024.61

А.А. Ерофеева, В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич

Сибирский государственный технологический университет

Ерофеева Анна Александровна родилась в 1984 г., окончила в 2007 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, ассистент кафедры технологии конструкционных материалов СибГТУ. Имеет 15 печатных работ в области изучения вязкости волокнистых материалов.
E-mail: annakrasnoyarsk@rambler.ru



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Предложено для определения коэффициента вязкости макулатурной массы использовать усовершенствованную формулу Ньютона.

Ключевые слова: размол, вязкость, волокнистая суспензия, коэффициент динамической вязкости, скоростные характеристики, макулатурная масса, уравнение Ньютона.

Последнее время предприятия все чаще сталкиваются с проблемой утилизации отходов, в том числе и бумажных. Использование макулатуры – это решение сразу двух проблем: вторичной переработки отходов и создания упаковочных изделий. Поэтому изучение процесса движения волокнистых суспензий, в частности макулатурной массы, а также определение их физических характеристик является весьма актуальным вопросом.

Наибольший интерес представляет определение коэффициента динамической вязкости, поскольку данный физический параметр играет большую роль в расчетах оборудования, перемещающего жидкости по трубопроводам, каналам и рабочим полостям гидравлических машин.

Определение вязкости волокнистых суспензий связано со значительными проблемами, в частности, с невозможностью использования вискозиметров для ньютоновских жидкостей. Одно из наиболее простых решений данной проблемы – использование уравнения Ньютона [5, 6], связывающего между собой вязкость жидкости и скоростные характеристики потока:

$$\mu = \frac{F_{\text{сд}}(r_2 - r_1)}{(v_1 - v_2)s}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;
 $F_{\text{сд}}$ – сила сдвига, Н;
 $r_2 - r_1$ – расстояние между слоями жидкости, м;
 $v_1 - v_2$ – разность скоростей движения соседних слоев жидкости, м/с;
 s – площадь сдвига слоев, м².

Ранее нами было предложено [1] модернизированное уравнение Ньютона для определения коэффициента динамической вязкости макулатурной массы (v – вода, m – масса):

$$\mu^M = \frac{\mu^B F_{\text{сд}}^M l^B s^B}{F_{\text{сд}}^B l^M s^M}, \quad (2)$$

где $l = v_1 - v_2$ – разность скоростей соседних слоев (см. рисунок), м.

В соответствии с рисунком обозначаем скорости движения слоев при ламинарном движении через v . Выбираем две произвольные точки скоростей движения слоев жидкости в потоке (v_1 и v_2) и производим по ним расчет.

Согласно зависимости (2) для определения коэффициента динамической вязкости воды и малоконсистентных волокнистых суспензий необходимо определить их скоростные характеристики, силы и площади сдвига.

Площадь сдвига слоев (см. рисунок) рассчитываем по формуле:

$$s = 2\pi r_1 l, \quad (3)$$

Для определения силы сдвига используем формулу из работы [7]:

$$F_{\text{сд}}^M = \frac{F_{\text{сд}}^B (v_1^B - v_2^B) s^B}{(v_1^M - v_2^M) s^M}. \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (2), получаем формулу для определения коэффициента динамической вязкости:

$$\mu = \frac{\mu^B (v_2^B - v_1^B)^4}{(v_2^M - v_1^M)^4}, \quad (5)$$

где μ^B – коэффициент динамической вязкости воды, Па·с (данный параметр при заданной температуре выбирают из справочника [4]);

$v_2^B - v_1^B$ – разность скоростей движения соседних слоев воды, м/с;

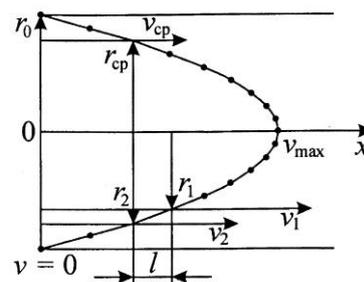
$v_2^M - v_1^M$ – разность скоростей движения соседних слоев макулатуры, м/с.

Таким образом, нами получена формула (5), с помощью которой можно определить коэффициент динамической вязкости волокнистых суспензий, зная их скоростные характеристики.

В целях определения указанных параметров была использована размольная безножевая установка «струя–преграда» [3], разработанная в лаборатории кафедры МАПТ СибГТУ. В качестве исследуемых жидкостей использовали воду и макулатурную массу МС-1 производства ООО «СибБумага» концентрацией 0,5; 1,0 и 1,5 %. Эксперимент проводили в четыре этапа при температуре 25 °С и объеме полости рабочего цилиндра $V_{\text{ц}} = 0,008 \text{ м}^3$.

Для анализа характера распределения скоростей необходимо знать время истечения t объема исследуемой жидкости $V_{\text{ц}}$ из насадки, т.е. секундный расход (Q , м³/с). Время истечения замеряли с точностью до 0,001 с, используя скоростную видеокамеру и последующую обработку полученных результатов с помощью программы AVI MPEG ASF WMV Splitter.

Схема распределения скоростей жидкости в ламинарном потоке



Секундный расход рассчитывали по формуле

$$Q = \frac{V_{\text{ц}}}{t}, \quad (6)$$

где $V_{\text{ц}}$ – объем полости рабочего цилиндра установки, м^3 .

Результаты эксперимента и расчетные данные при $V_{\text{ц}} = 0,008 \text{ м}^3$ представлены в таблице.

Показатель	Значение показателя для исследуемой жидкости			
	Вода	Макулатурная масса концентрацией, %		
		0,5	1,0	1,5
Время истечения t , с	15,22	16,02	17,92	19,53
Секундный расход Q , $\text{м}^3/\text{с}$	0,00052	0,00047	0,00044	0,00041
Скорость* потока в полости установки, м/с:				
v_2	0,091	0,083	0,077	0,071
v_1	0,071	0,064	0,059	0,055
Радиус*, м:				
r_2	0,033036	0,033426	0,033492	0,033354
r_1	0,030000	0,030000	0,030000	0,030000
Динамический коэффициент вязкости μ , Па·с	0,000894	0,001464	0,001943	0,002711

*Скоростные характеристики определены по методике [2].

Из данных таблицы следует, что вода имеет наименьшее время истечения и как ньютоновская жидкость обладает наибольшей скоростью истечения (секундным расходом). Для макулатурной массы, при прочих равных условиях, увеличение концентрации рабочей среды приводит к росту времени истечения и снижению скоростей потока. Это связано с тем, что с увеличением концентрации возрастает вязкость исследуемых жидкостей.

Результаты расчета коэффициента динамической вязкости по формуле (5), приведенные в таблице, показывают, что с увеличением концентрации макулатурной массы μ возрастает.

Выводы

1. Впервые рассчитаны скоростные характеристики потока макулатурной массы различной концентрации.

2. Усовершенствована классическая зависимость Ньютона, которая позволяет достаточно точно определить коэффициент динамической вязкости малоконсистентных водных волокнистых суспензий, в частности макулатурной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерофеева А.А., Алашкевич Ю.Д. Коэффициент динамической вязкости волокнистых суспензий // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: СибГТУ, 2010. Т. 2. С. 89–92.

2. Определение скоростных характеристик течения волокнистых суспензий в каналах / Е.В. Петров [и др.] // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: СибГТУ, 2010. Т. 2. С. 100–103.

3. Пат. 1559026 СССР, D21D 1/34, B02C 19/06. Установка для измельчения волокнистого материала/ А.Г. Лахно, В.Г. Васютин, Ю.Д. Алашкевич, Н.А. Войнов, С.М. Репях; заявитель и патентообладатель СибГТУ. № 4399132; заявл. 28.03.88; опубл. 23.04.90, Бюл. № 15. 6 с.

4. Справочник химика. Т. 1. Л.; М.: Госхимиздат, 1964. 1070 с.

5. *Терентьев О.А.* Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производств. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 248 с.

6. Физический энциклопедический словарь / Под ред. А.М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.

7. *Элер, В.Д., Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И.* Определение силы сдвига при течении волокнистых суспензий в каналах размольной установки // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: СибГТУ, 2010. Т. 2. С. 104–106.

A.A. Yerofeeva, V.I. Kovalyov, Yu.D. Alashkevich
Siberian State Technological University

Determination of Wastepaper Dynamic Viscosity Coefficient

Improved Newton formula is proposed to determine viscosity coefficient of wastepaper.

Keywords: grinding, viscosity, fibrous suspension, dynamic viscosity coefficient, speed characteristics, wastepaper, Newton equation.

