

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.16

DOI: 10.53374/1993-0135-2023-3-248-251

Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 3. С. 248–251

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ СДВИГА СЛОЕВ ТЕЧЕНИЯ ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ В ПОЛОСТИ РАБОЧЕГО ЦИЛИНДРА ПРИ ЕЕ БЕЗНОЖЕВОМ РАЗМОЛЕ

Ю. Д. Алашкевич¹, А. А. Фомкина²

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

²Краевое государственное автономное профессиональное образовательное учреждение
«Ачинский техникум нефти и газа»
Российская Федерация, 662155, Красноярский край, г. Ачинск, ул. Дружбы Народов, 8

Основной целью работы являются: определение особенностей безножевого размол волокнистых полуфабрикатов с учетом комплексного параметра, базирующегося на коэффициенте динамической вязкости волокнистых суспензий; разработка нового способа определения вязкости волокнистых суспензий.

Для волокнистых суспензий, при прочих равных условиях, увеличение концентрации рабочей среды приводит к уменьшению значений скоростей потока. Это связано с тем, что с увеличением концентрации возрастает вязкость исследуемых жидкостей. Для воды, то есть ньютоновской жидкости, значение скорости истечения является наибольшей величиной.

Для определения коэффициента динамической вязкости при безножевом размол волокнистой массы, кроме величин скорости потока волокнистой суспензии необходимо рассчитать площадь сдвига слоев при течении волокнистых суспензий в полости рабочего цилиндра и определить силу сдвига.

В публикации представлен анализ течения волокнистых суспензий в процессе размол волокнистых полуфабрикатов безножевым способом. Для этого теоретически, с элементами эксперимента, определены силы сдвига слоев течения волокнистой суспензии в полости рабочего цилиндра.

Ключевые слова: процесс размол, безножевой способ, волокнистые суспензии из древесины хвойных пород, силы сдвига слоев.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 3, P. 248–251

DETERMINATION OF THE FORCE OF SHEAR OF THE LAYERS OF THE FLOW OF A FIBROUS SUSPENSION IN THE CAVITY OF THE WORKING CYLINDER DURING ITS KNIFELESS GRINDING

Y. D. Alashkevich¹, A. A. Fomkina²

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²Regional State Autonomous Vocational Educational Institution
“Achinsk Oil and Gas Technical School”
8. Druzhby Narodov str., Achinsk, Krasnoyarsk Territory, 662155, Russian Federation

The main purpose of the work is: to determine the features of knifeless refining of fibrous semi-finished products, taking into account a complex parameter based on the coefficient of dynamic viscosity of fibrous suspensions; development of a new method for determining the viscosity of fibrous suspensions.

For fibrous suspensions, ceteris paribus, an increase in the concentration of the working medium leads to a decrease in the flow rates. This is due to the fact that with increasing concentration, the viscosity of the studied liquids increases. For water, that is, a Newtonian fluid, the value of the outflow velocity is the largest value.

To determine the coefficient of dynamic viscosity during knifeless refining of the fibrous mass, in addition to the values of the fibrous suspension flow rate, it is necessary to calculate the shear area of the layers during the flow of fibrous suspensions in the cavity of the working cylinder and determine the shear force.

The publication presents an analysis of the flow of fibrous suspensions in the process of refining fibrous semi-finished products in a knifeless way. For this, theoretically, with the elements of the experiment, the shear forces of the layers of the fibrous suspension flow in the cavity of the working cylinder are determined.

Keywords: refining process, knifeless method, fibrous suspensions from softwood, layer shear forces.

ВВЕДЕНИЕ

До последнего времени в технологиях получения бумаги в целлюлозно-бумажном производстве (ЦБП) и производстве древесноволокнистых плит не уделяется должного внимания процессу размола волокнистых полуфабрикатов из хвойных и лиственных пород древесины. В то же время, процесс размола волокнистых полуфабрикатов является одной из важнейших технологических операций. От него зависят качественные характеристики готового продукта, производительность технологического оборудования и расходные энергозатраты. В связи с этим, исследования процесса размола волокнистых полуфабрикатов в ЦБП необходимо отнести к одной из важнейших проблем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для объективной оценки процесса размола волокнистых полуфабрикатов, необходимо исследовать реологические особенности волокнистых суспензий при размоле, поскольку на этот процесс оказывает серьезное влияние гидродинамика течения этих суспензий в зоне размола.

Для оценки качественных и количественных значений реологических особенностей волокнистых суспензий при их обработке, необходимо определить эти зависимости и, в частности, их вязкость, и выявить коэффициент динамической вязкости. В этом случае, можно более объективно оценить механизм процесса размола волокнистых полуфабрикатов, в отличие от предыдущих исследований, где оценивался механизм размола при течении воды в размольных установках.

Для объективной оценки качества помола волокнистых полуфабрикатов в ЦБП, требуются следующие серьезные длительные исследования.

1. Бумагообразующих свойств размалываемой волокнистой массы, среди которых: степень помола по шкале Шоппер-Риглера, вид растительного полу-

фабриката, концентрация массы, средняя длина волокна, водоудерживающая способность волокнистой массы, её внешняя удельная поверхность.

2. Физико-механических характеристик готовых изделий, среди которых: межволоконные силы связи, разрывная длина, число двойных перегибов, продавливание, раздирание и другие.

3. Энергосиловых параметров процесса размола, среди которых: производительность размольной установки, её энергопотребление.

Можно значительно упростить определение механизма процесса размола волокнистых полуфабрикатов с учетом реологических особенностей течения волокнистых суспензий в размольных установках и, в частности, использования значений показателей динамической вязкости волокнистых суспензий в процессе размола.

Для определения коэффициента динамической вязкости волокнистых суспензий в полости рабочего цилиндра при безножевом размоле, необходимо проанализировать силы сдвига.

На рис. 1 представлена условная схема распределения скоростей жидкости в поперечном сечении рабочего цилиндра и развертка произвольно выбранного слоя этой жидкости [1; 2].

Известно, что площадь прямоугольника рассчитывается как произведение двух сторон. Из рис. 1. а выбираем произвольный сдвиг слоев исследуемой жидкости и делаем его развертку, которая представлена на рис. 1. б.

Исходя из этого, площадь сдвига слоев рассчитывается по формуле

$$s_{\text{сд}} = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot l, \quad (1)$$

где $l = (v_1 - v_2)$ – разница скоростей соседних слоев (рис. 2), м [2].

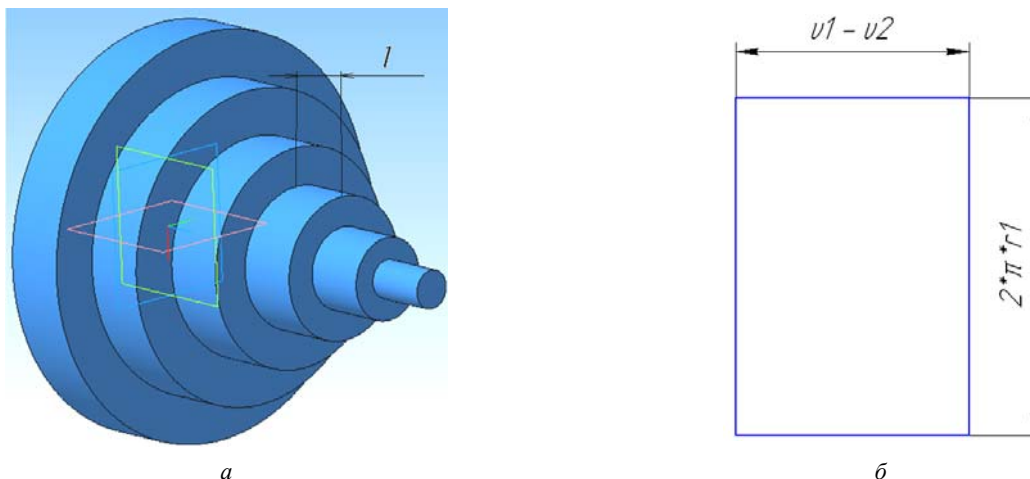


Рис. 1. Определение площади сдвига слоев:

а – условное распределение скоростей при ламинарном режиме; б – развертка цилиндрического слоя жидкости

Подставив значения r_1 и l в зависимость (1), получим расчетные значения s , результаты которых представлены в табл. 1.

Таблица 1
Расчетные значения площадей сдвига слоев

Входные параметры		Выходные параметры
Исследуемая жидкость	Концентрация C , %	$s_{сд}$, м ²
Вода		0,00444
Целлюлоза	0,5	0,00394
	1	0,00385
	1,5	0,00374

Из табл. 1 видно, что для волокнистых суспензий, при прочих равных условиях, в соответствии с результатами эксперимента, увеличение концентрации приводит к уменьшению значений площадей сдвига. Для воды площадь сдвига имеет наибольшее значение.

Установлено, что размер полостей рабочих каналов при одинаковых значениях концентрации, как и следовало ожидать, существенно влияет на изменение величины площади сдвига. Уменьшение диаметра полостей рабочих каналов приводит к значительному увеличению значения площади сдвига [2].

Сила сдвига для суспензии $F_{сд}^c$ до настоящего времени определялась достаточно трудоемким способом. Это связано с конструктивными сложностями, а также с достаточно большими затратами на изготовление и монтаж измерительного оборудования. В одном из исследований по сдвиговому течению волокнистых систем ученые [4] установили, что с увеличением концентрации сила сдвига суспензии увеличивается, поэтому можно сделать вывод, что сила сдвига суспензии больше силы сдвига воды $F_{сд}^c > F_{сд}^B$.

Для определения силы сдвига для воды $F_{сд}^B$ воспользуемся выражением (2).

$$\mu = \tau \cdot \frac{dr}{dv} = \frac{\tau \cdot (r_2 - r_1)}{(v_1 - v_2)} = \frac{F_{сд} \cdot (r_2 - r_1)}{s_{сд} \cdot (v_1 - v_2)}, \quad [2] \quad (2)$$

где τ – касательное напряжение внутреннего трения, Па; $\frac{dv}{dr}$ – градиент скорости, с⁻¹; $F_{сд}$ – сила сдвига, Н; $s_{сд}$ – площадь сдвига слоев, м²; r_1 , r_2 – расстояния соседних слоев от оси трубопровода, м; v_1 , v_2 – скорости соседних слоев, м/с.

Существующие ранее способы определения динамической вязкости, основанные на свободном времени истечения жидкости из определенного сосуда, имели погрешность, связанную с постоянно меняющимся объемом жидкости. В предложенном способе эта погрешность эксперимента устранена, так как вискозиметр обеспечивает принудительное движение жидкости (волокнистой суспензии) с заданной постоянной скоростью.

На способ определения коэффициента динамической вязкости волокнистых суспензий получен патент на изобретение [6].

Принципиальная технологическая схема работы предложенного вискозиметра представлена на рис. 2.

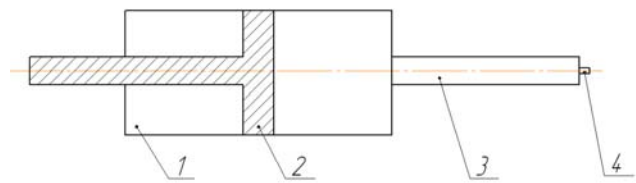


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема вискозиметра:

1 – рабочий цилиндр; 2 – поршень; 3 – удлинитель; 4 – насадка

В качестве примера, в табл. 2 приведены результаты обработки бисульфитной небеленой целлюлозы концентрацией $C = 0,5, 1,0$ и $1,5$ %, при температуре $t = 25$ °С, давлении $P = 7$ МПа и начальном градусе помола 18° ШР, в сравнении с водой.

Таблица 2
Расчетные значения скоростей в соседних слоях жидкости

Входные параметры		Выходные параметры	
Исследуемая жидкость	Концентрация C , %	Скорость v_2 , м/с	Скорость соседнего слоя, v_1 , м/с
Вода		0,043	0,06
Целлюлоза	0,5	0,0383	0,054
	1	0,0373	0,0526
	1,5	0,0363	0,051

$$F_{сд}^B = \frac{\mu^B \cdot (v_1^B - v_2^B) \cdot s_{сд}^B}{(r_2^B - r_1^B)}. \quad (3)$$

Учитывая, что $F_{сд}^c > F_{сд}^B$, отношение $\frac{F_{сд}^c}{F_{сд}^B}$ больше во столько же раз, во сколько больше отношение $\frac{(v_1^B - v_2^B) \cdot s_{сд}^B}{(v_1^c - v_2^c) \cdot s_{сд}^c}$. Из этого следует: $\frac{F_{сд}^c}{F_{сд}^B} = k > 1$.

На основании этого можем записать:

$$\frac{(v_1^B - v_2^B) \cdot s_{сд}^B}{(v_1^c - v_2^c) \cdot s_{сд}^c} = k > 1. \quad (4)$$

С учетом этого:

$$\frac{F_{сд}^c}{F_{сд}^B} = \frac{(v_1^B - v_2^B) \cdot s_{сд}^B}{(v_1^c - v_2^c) \cdot s_{сд}^c}. \quad (5)$$

Из зависимости (5) получим:

$$F_{сд}^c = \frac{F_{сд}^B \cdot (v_1^B - v_2^B) \cdot s_{сд}^B}{(v_1^c - v_2^c) \cdot s_{сд}^c}. \quad (6)$$

Подставив расчетные значения (табл. 2 и 1) в зависимость (3) и (6), получим значения силы сдвига.

Коэффициент динамической вязкости μ^B воды при заданной температуре известен [5]. Результаты расчетов по силе сдвига представлены в табл. 3.

Таблица 3
Расчетные значения силы сдвига
для исследуемых жидкостей

Входные параметры		Выходные параметры	
Исследуемая жидкость	Концентрация C, %	$(v_1 - v_2)$, м/с	$F_{сд}$, Н
Вода		0,02	0,000016
Целлюлоза	0,5	0,0179	0,00002
	1	0,0175	0,000021
	1,5	0,017	0,000022

ВЫВОД

Результаты экспериментов показывают, что значение силы сдвига с увеличением концентрации суспензии возрастает, что согласуется с мнениями других исследователей [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Физический энциклопедический словарь / под общ. ред. А. М. Прохорова. М. : Советская энциклопедия, 1983. 928 с.
2. Ерофеева А. А., Алашкевич Ю. Д. Зависимость изменения коэффициента динамической вязкости волокнистых суспензий от их физического состояния // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск : СибГТУ, 2009. Т. 1. С. 327–334.
3. Анализ распределения скорости струи суспензии при течении ее в рабочих органах размольной установки «струя – преграда» / А. А. Ерофеева [и др.] // Лесной вестник. 2010. № 4. С. 157–160.
4. Фейтельсон Л. А., Ковтун В. П. Сдвиговое течение монодисперсных волокнистых композиций // Тепло- и массообмен в полимерных системах и суспензиях : материалы междунаро. школы-семинара // Минск, 1984. Ч. II. С. 198–205.

5. Ерофеева А. А., Ковалев В. И., Алашкевич Ю. Д. Определение коэффициента динамической вязкости макулатурной массы // Лесной журнал. 2011. № 4. С. 115–119.

6. Патент 2441217 Российская Федерация. Способ измерения вязкости неньютоновских жидкостей / Ю. Д. Алашкевич, В. И. Ковалев, А. А. Ерофеева. № 2010144231/28; заявл. 28.10.2010; опубл. 27.01.2012. 5 с.

REFERENCES

1. Physical encyclopedic dictionary / under the general editorship of A. M. Prokhorov. M. : Soviet Encyclopedia, 1983. 928 p.
2. Erofeeva A. A., Alashkevich Yu. D. Dependence of changes in the coefficient of dynamic viscosity of fibrous suspensions on their physical state // Forest and chemical complexes – problems and solutions : collection of All-Russian Scientific and practical conf. Krasnoyarsk : SibSTU, 2009. Vol. 1, pp. 327–334.
3. Analysis of the velocity distribution of the suspension jet during its flow in the working organs of the jet – barrier grinding plant / A. A. Erofeeva [et al.] // Lesnoy vestnik. 2010. No. 4, pp. 157–160.
4. Feitelson L. A., Kovtun V. P. Shear flow of monodisperse fibrous compositions // Heat and mass transfer in polymer systems and suspensions : materials international. schools-seminars // Minsk, 1984. Part II, pp. 198–205.
5. Erofeeva A. A., Kovalev V. I., Alashkevich Yu. D. Determination of the coefficient of dynamic viscosity of waste paper mass // Lesnoy zhurnal. 2011. No. 4, pp. 115–119.
6. Patent 2441217 Russian Federation. Method of measuring the viscosity of non-Newtonian liquids / Yu. D. Alashkevich, V. I. Kovalev, A. A. Erofeeva. No. 2010144231/28; application 28.10.2010; publ. 27.01.2012. 5 p.

© Алашкевич Ю. Д., Фомкина А. А., 2023

Поступила в редакцию 20.10.2022

Принята к печати 10.05.2023