

УДК 676.1.017.4.

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПОТОКА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БУМАЖНОЙ МАССЫ

О. А. ТЕРЕНТЬЕВ, Э. А. СМИРНОВА, В. С. КУРОВ

Ленинградский технологический институт ЦБП

Высокое качество бумажного полотна во многом зависит от гидродинамических процессов в массоподводящих системах бумагоделательных машин, в частности, от стабильности напуска и равномерного распределения волокон при формовании. Последнее условие обеспечивается напуском бумажной массы в диспергированном режиме. Для достижения высокой степени диспергированности необходимо обеспечить высокую турбулентность в потоке бумажной массы. Турбулентное движение является пульсационным и сопровождается изменениями давления и скорости, причем низкочастотные пульсации приводят к нестабильному напуску и колебаниям массы 1 м^2 бумаги, а высокочастотные турбулентные пульсации способствуют диспергированию бумажной массы.

Существующие теоретические модели и уравнения реологических характеристик волокнистых суспензий [2, 3] касаются, в основном, таких режимов течения бумажной массы, когда после значительных структурных преобразований устанавливается диспергированный режим течения, характеризующийся прямолинейным участком реологической характеристики.

Поэтому для описания закономерностей изменения касательных напряжений в условиях ламинарного и турбулентного движений бумажной массы предлагается использовать реологическую характеристику, содержащую после прямолинейного участка (при высоких скоростях сдвига) криволинейную часть, характеризующую турбулентное течение.

На рис. 1 показаны реологические характеристики волокнистых суспензий концентрацией 6 и 5 г/л соответственно, полученные на ротационном вискозиметре, конструкция которого и методика проведения исследований подробно изложены в работе [2].

Реологическая характеристика (кривая 1) бумажной массы (содержащей 50 % древесной массы степенью помола 78...79 °ШР, 25 % сульфитной беленой и 25 % сульфатной беленой целлюлоз степенью помола 18...20 °ШР) представляет собой обычную реологическую кривую, имеющую аномальную часть «*аб*», соответствующую структурным преобразованиям в суспензии, прямолинейный участок «*бв*» диспергированного режима течения, а также криволинейный участок «*вг*», определяющий начало турбулентного течения суспензии. Кривая 2 является полной реологической характеристикой суспензии беленой сульфитной целлюлозы концентрацией 5 г/л, отличающейся от кривой 1 меньшими аномальными свойствами и наступлением турбулентного режима течения при более низких скоростях сдвига.

С учетом того, что в зазоре вискозиметра существует достаточно однородное поле осредненных скоростей сдвига и напряжений, полные касательные напряжения трения τ_{xy} для турбулентного потока представляем формулой [1]:

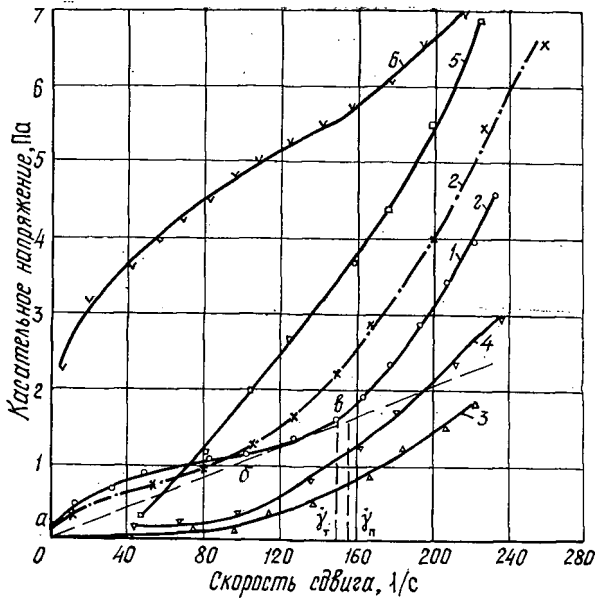


Рис. 1. Реологические характеристики: 1 — бумажной массы концентрацией 6 г/л; 2 — волокнистой суспензии белой сульфитной целлюлозы концентрацией 5 г/л; 3 — волокнисто-порошковой суспензии концентрацией 7...11 г/л; 4 — воды (рифленный внутренний цилиндр); 5 — воды (шероховатые измерительные поверхности); 6 — бумажной массы концентрацией 10 г/л

$$\tau_{xy} = (\mu + A) \frac{du}{dy}, \quad (1)$$

где μ — динамический коэффициент вязкости (ламинарного течения);

A — динамический коэффициент турбулентной вязкости;

$\frac{du}{dy} = \dot{\gamma}$ — скорость сдвига для осредненного движения.

Для характеристики, представленной на рис. 1 (кривая 1, участок «ав»), разработано реологическое уравнение в общем виде [2], которое, с учетом турбулентного участка, можно записать следующим образом:

$$\tau_{xy} = \sum_{k=1}^{n+1} A_k e^{-\alpha_k \dot{\gamma}_{ij}} + (\mu + \mu_T) \dot{\gamma}_{ij}. \quad (2)$$

Здесь A_k , α_k — коэффициенты реологического уравнения;

μ — коэффициент динамической вязкости диспергированного течения;

μ_T — динамический коэффициент турбулентной вязкости в диспергированном потоке.

В соответствии с уравнением (2) на реологической характеристике (рис. 1, кривая 1) из полной величины касательных напряжений, зафиксированных на поверхности измерительного цилиндра, можно выделить значения турбулентных напряжений, которые появляются в суспензии после скоростей сдвига $\dot{\gamma}_T$. Из величин турбулентных напряжений вычислены значения турбулентной вязкости μ_T , показанные на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость динамического коэффициента турбулентной вязкости от скорости сдвига для: 1 — бумажной массы концентрацией 6 г/л; 2 — волокнистой суспензии беленой сульфитной целлюлозы концентрацией 5 г/л; 3 — волокнисто-порошковой суспензии концентрацией 7... 11 г/л; 4 — воды (рифленный внутренний цилиндр); 5 — воды (шероховатые измерительные поверхности)



Как следует из рис. 2, турбулентная вязкость представляет собой функцию, линейно возрастающую с увеличением скорости сдвига.

Причем линейаризация начинается не с точки $\dot{\gamma}_t$, а с несколько более высоких скоростей сдвига (точка $\dot{\gamma}_n$), где наблюдается значительное изменение турбулентной вязкости.

Соответственно турбулентную вязкость после точки $\dot{\gamma}_t$ можно определить с помощью коэффициента β

$$\beta = \frac{\mu_{т.кон} - \mu_{т.п}}{\dot{\gamma}_{кон} - \dot{\gamma}_n}, \tag{3}$$

где $\mu_{т.п}$, $\dot{\gamma}_n$ — значения турбулентной вязкости и скорости сдвига в точке перегиба $\dot{\gamma}_n$;

$\mu_{т.кон}$, $\dot{\gamma}_{кон}$ — координаты какой-либо конечной точки прямой.

Тогда уравнение (2) для определения касательных напряжений в любой точке реологической характеристики можно записать, с учетом формулы (3), в следующем виде:

$$\tau_{ij} = \sum_{k=1}^{n+1} A_k e^{-\alpha_k \dot{\gamma}_{ij}} + [\mu + \beta (\dot{\gamma}_{ij} - \dot{\gamma}_n)] \dot{\gamma}_{ij}. \tag{4}$$

Для невысоких скоростей сдвига (до наступления турбулентного режима течения, когда $\beta = 0$) уравнение (4) превращается в реологическое, полученное в работе [2]:

$$\tau_{ij} = \sum_{k=1}^{n+1} A_k e^{-\alpha_k \dot{\gamma}_{ij}} + \mu \dot{\gamma}_{ij}. \tag{5}$$

По величинам турбулентной вязкости, найденным из реологической характеристики волокнистой суспензии, предлагаем оценивать масштаб турбулентности, исходя из формулы Прандтля [1]:

$$\tau = \rho l^2 \left(\frac{d\bar{u}}{dy} \right)^2 = \mu_t \frac{d\bar{u}}{dy}. \tag{6}$$

Динамический коэффициент турбулентной вязкости вычисляем следующим образом:

$$\mu_t = \rho l^2 \left| \frac{d\bar{u}}{dy} \right| = \rho l^2 |\dot{\gamma}_{ij}|, \tag{7}$$

где l — путь смещения;
 ρ — плотность суспензии.

Из формулы (7) определяем путь смещения, или масштаб турбулентности:

$$l = \sqrt{\frac{\mu_T}{\rho |\dot{\gamma}|}} \quad (8)$$

Сравнение реологических характеристик волокнисто-порошковых суспензий (рис. 1, кривая 3) и чистой воды (кривые 4, 5), полученных на рифленых и шероховатых измерительных поверхностях соответственно, показывает, что присутствие мелковолоконистой фракции в дисперсной системе снижает значения турбулентных напряжений, хотя характер изменения динамического коэффициента турбулентной вязкости остается приблизительно линейным (рис. 2, кривые 3, 4, 5).

Вычисленные из этих данных по формуле (8) величины пути смешения, или масштаба турбулентности, представлены на рис. 3. Как следует из рис. 3, пути смешения турбулентных потоков рассматриваемых выше сред возрастают с увеличением скорости и не превышают $3 \cdot 10^{-4}$ м.

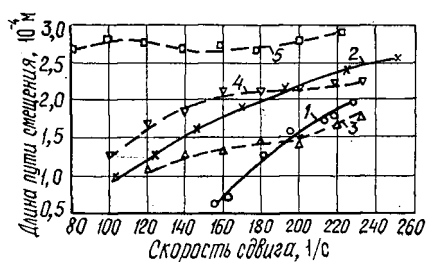


Рис. 3. Зависимости масштаба турбулентности от скорости сдвига для: 1 — бумажной массы концентрации 6 г/л; 2 — суспензии белой сульфитной целлюлозы концентрации 5 г/л; 3 — волокнисто-порошковых суспензий концентрацией 7...11 г/л; 4 — воды (рифленый внутренний цилиндр); 5 — воды (шероховатые измерительные поверхности)

Размер волокон рассматриваемых суспензий, кроме волокнисто-порошковых, как правило, составляет в среднем около $1 \cdot 10^{-3}$ м. То есть в пристенном слое возникает мелкомасштабная турбулентность, размеры вихрей которой меньше длины волокна в 3 раза. Увеличению масштаба турбулентности способствует повышение скорости потока.

В рассматриваемом диапазоне скоростей сдвига величины динамического коэффициента турбулентной вязкости μ_T волокнистых суспензий сравнимы с величинами коэффициента динамической вязкости μ диспергированного режима течения. Однако в случае чистой воды (рис. 1, кривая 4) этот коэффициент превышает коэффициент вязкости при ламинарном течении более чем в 10 раз. Сравнение масштабов турбулентности потоков волокнистой суспензии и воды (рис. 3, кривые 1, 2, 5) показывает, что наличие волокон способствует уменьшению длины пути смешения турбулентного течения, т. е. замедляется развитие турбулентности.

Повышение концентрации волокон бумажной массы с 6 (рис. 1, кривая 1) до 10 г/л (кривая 6) способствует полному гашению турбулентных пульсаций в диапазоне исследуемых скоростей сдвига.

В данном случае появление турбулентности наблюдается при значительно больших скоростях сдвига, а экспериментальная реологическая характеристика (кривая 6) в рассматриваемом диапазоне скоростей сдвига (0...220 1/с) описывается реологическим уравнением (5).

Таким образом, из предлагаемой реологической характеристики можно определить величины динамического коэффициента турбулентной вязкости и масштаб турбулентности. Это позволяет оценить степень диспергированности потока при напуске бумажной массы и производить формирование бумаги с требуемой структурой.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа.— М.: Наука, 1973.— С. 639—643. [2]. Терентьев О. А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве.— М.: Лесн. пром-сть,— 1980.— 248 с. [3]. Терентьев О. А., Смирнова Э. А. Комплексная реологическая характеристика волокнистых суспензий // Лесн. журн.— 1984.— № 1.— С. 87—91.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 1 ноября 1989 г.

УДК 678.652 : 676.6

КРАХМАЛОКАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫЙ КЛЕЙ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОКЛЕЙКИ БУМАГИ

*И. Н. КОВЕРНИНСКИЙ, В. И. АЗАРОВ, Н. П. МАШУТА,
А. А. БОНДАРЬ*

Московский лесотехнический институт
Советский целлюлозно-бумажный завод

Расширение применения вспомогательных химических материалов в бумажном и картонном производстве позволит успешно решить многие задачи отрасли и в том числе улучшить качество бумаги для печати. В этом отношении хорошо зарекомендовал себя метод поверхностной проклейки, позволяющий активно и эффективно управлять механической и поверхностной прочностью, гидрофобностью, оптическими и печатными свойствами. Ограниченность ассортимента химических материалов для поверхностной проклейки, главным образом крахмала и его модификаций, снижает возможность проклейки. Поиск и разработка новых материалов, целенаправленно и эффективно повышающих требуемые показатели бумажно-картонной продукции,— важная задача. Сопоставляя технологические, экономические и экологические аспекты применения карбамидоформальдегидных олигомеров в мебельном и бумажно-картонном производствах, авторы на их основе создали клей для поверхностной проклейки бумаги, конкурентноспособный с крахмалопродуктами, натрийкарбоксиметилцеллюлозой, поливиниловым спиртом и другими дефицитными дорогостоящими материалами.

Преимущества карбамидоформальдегидных олигомеров: высокая адгезия к целлюлозным материалам, легкость химической и физической модификации, повышенная прочность и водостойкость покрытия в отвержденном состоянии, недефицитность и низкая стоимость. Поэтому клей на основе таких олигомеров, на наш взгляд, позволяет полностью или в подавляющей массе высвободить крахмалопродукты и им подобные пищевые, а также дефицитные и дорогостоящие материалы для целей поверхностной проклейки. Кроме того, клей позволяет придать большую прочность поверхности бумаги с повышенной стойкостью к выщипыванию и действию влаги, улучшить печатные свойства, повысить содержание минерального наполнителя в бумаге и снизить ее себестоимость.

Неустойчивость водных растворов мочевиноформальдегидных олигомеров в интервале концентраций (являющемся рабочим при поверхностной проклейке бумаги) 5—15 %, повышенная жесткость отвержденных продуктов, хрупкость проклеенной бумаги и наличие в воздухе рабочих зон свободного формальдегида — главные отрицательные факторы, ограничивающие использование обычных, широко применяемых в деревообработке олигомеров в бумажно-картонном производстве. На решение задачи снижения отрицательных свойств олигомеров до приемлемого уровня был направлен комплекс исследований по разработке целевого клеевого состава.