

УДК 676.024

ВЗАИМОСВЯЗЬ ОТДЕЛЬНЫХ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ И КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ПРИ РАЗМОЛЕ ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ

© Ю.Д. Алашкевич^{1*}, А.А. Фомкина², А.А. Карелина¹

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. им. газеты Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037 (Россия), e-mail: alashkevichud@sibsau.ru

² Ачинский техникум нефти и газа, ул. Дружбы Народов, 8, Ачинск, 662155 (Россия)

Процесс размол связан с перемещением больших масс волокнистых суспензий в рабочих органах размалывающих машин, что сказывается как на самом процессе размол, так и на энергозатратах при перемещении волокнистой суспензии. В связи с этим эффективность размольного оборудования может быть обеспечена на основе знания гидродинамических процессов, происходящих при взаимодействии рабочих органов размольного оборудования с волокнистой суспензией [1, 7].

При течении волокнистых суспензий базовой реологической особенностью является их вязкость, которая позволяет судить о внутренних силах, действующих в потоке [8, 9]. Особенно это важно при безножевом способе размол с использованием установки «струя–преграда» [2].

Для того чтобы наиболее полно судить о направлении процесса размол (в сторону поперечного укорочения волокон или в направлении продольного их фибриллирования), необходимо контролировать бумагообразующие свойства волокнистой массы и физико-механические показатели отливок.

В публикации представлен анализ влияния бумагообразующих свойств волокнистой массы на качество ее помола, целесообразно найти зависимость этих показателей от реологических особенностей течения волокнистой суспензии в зоне размол, то есть определить взаимосвязь бумагообразующих свойств волокнистой массы с коэффициентом динамической вязкости при течении волокнистой суспензии в зоне размол.

Ключевые слова: размол, волокнистая суспензия, динамическая вязкость, коэффициент, бумагообразующие свойства, течение суспензий, безножевой размол.

Введение

В последнее время ученые и промышленники в целлюлозно-бумажном производстве и производстве древесноволокнистых плит все большее внимание стали уделять процессам размол волокнистого полуфабриката в технологиях получения готовой продукции [1, 2].

Подготовка волокнистых полуфабрикатов или их размол при получении готовой продукции определяют ее качественные показатели, производительность оборудования и определенные энергозатраты.

Процесс размол волокнистых полуфабрикатов – весьма сложное явление, сущность которого не раскрыта в полной мере до настоящего времени. Объясняется это тем, что размол волокнистой массы представляет собой комплексный процесс, который связан с механическими, гидродинамическими, кавитационными воздействиями на волокно, а также сложными коллоидно-химическими явлениями [3, 4–6].

Для оценки зависимости качества готовой продукции целлюлозно-бумажного производства от качественных характеристик процесса размол волокнистых полуфабрикатов, важно подвергнуть оценке влия-

Алашкевич Юрий Давыдович – профессор,
e-mail: alashkevichud@sibsau.ru

Фомкина Анна Александровна – преподаватель,
e-mail: annakrasnoyarsk@mail.ru

Карелина Александра Александровна – аспирант,
e-mail: karelina.alexandra@mail.ru

ние основных бумагообразующих свойств волокнистой массы после размол, среди которых: показатель водоудерживающей способности, внешняя удельная поверхность, межволоконные силы связи.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Все эти бумагообразующие свойства волокнистой массы анализируются при различных значениях ее концентрации.

Цель исследований – выяснить взаимосвязь указанных бумагообразующих свойств волокнистой массы от реологических особенностей течения волокнистой суспензии в зоне размола и в частности от коэффициента динамической вязкости.

При определении качественных характеристик процесса размола это позволит пользоваться значениями коэффициента динамической вязкости при течении волокнистой суспензии в зоне размола без выявления ее трудоемких бумагообразующих свойств.

Предложен новый способ определения коэффициента динамической вязкости волокнистых суспензий с использованием разработанного вискозиметра, принцип работы которого основан на истечении волокнистых суспензий из цилиндра под постоянным давлением, контроле времени истечения и применении закона вязкости Ньютона [7–9].

Экспериментальная часть

В качестве исследуемых жидкостей использовались: бисульфитная небеленая целлюлоза – полуфабрикат ООО «Енисейский ЦБК», макулатура марки МС – 1А – полуфабрикат ООО «Сиббумага» и вода. Концентрация волокнистых суспензий менялась в следующих пределах: 0.5; 1.0; 1.2 и 1.5%.

Исследование проводилось при изменении температуры исследуемых жидкостей 25, 35 и 45 °С. Скорость истечения суспензии в вискозиметре регулировалась от 0.03 до 0.09 м/с, что соответствовало давлению в рабочем цилиндре вискозиметра от 4 до 13 МПа. Величина степени помола волокнистой массы по шкале Шоппер-Риглера на размольной установке обеспечивалась следующими значениями: (18, 30, 50, 70)° ШР – для целлюлозы, (30, 45, 60, 70)° ШР – для макулатуры.

Обсуждение результатов

Влияние коэффициента динамической вязкости на отдельные бумагообразующие свойства волокнистой массы. В последнее время для оценки качества волокнистой суспензии при ее размоле стали широко применять показатель водоудерживающей способности массы. Данный показатель характеризует степень набухания и гидратации волокон при размоле. Считают, что этот показатель лучше, чем степень помола по Шоппер-Риглеру, характеризует способность волокон к образованию межволоконных связей и получению более прочной бумаги [10–12]. Волокно с разработанной внешней удельной поверхностью хорошо адсорбирует воду и способно образовывать прочные водородные и межволоконные связи.

В качестве примера ниже приведены результаты обработки целлюлозы и макулатуры различных концентраций, при давлении в рабочем цилиндре вискозиметра $P=10$ МПа, температуре $t=35$ °С и приросте степени помола до 70 °С.

Зависимость показателя водоудерживающей способности волокнистой массы от коэффициента динамической вязкости. Как следует из графика, представленного на рисунке 1, в процессе размола уменьшение коэффициента динамической вязкости способствует увеличению степени гидратации поверхности волокна, то есть увеличению водоудерживающей способности, причем для макулатуры данный показатель выше, в сравнении с целлюлозой, что не противоречит мнению других исследователей [2].

Это можно объяснить тем, что при размоле волокна подвергаются воздействию гидродинамических сил, приводящих к протеканию сложных физико-химических и коллоидных процессов в структуре волокон. В результате происходит некоторое укорочение волокон, поверхностное расщепление и расчесывание в продольном направлении фибриллярной структуры, набухание и гидратация волокон [13].

Волокна становятся более мягкими, повышается их эластичность и пластичность. В процессе фибрилляции ослабляются и разрушаются связи между отдельными фибриллами клеточной стенки волокон. На поверхности фибрилл образуется «начес» тонкого пухообразного материала, состоящего из целлюлозных молекул. В результате увеличивается удельная поверхность волокон и число свободных гидроксильных групп, способствующих лучшему контакту и соединению отдельных волокон. Также происходит высвобождение гидроксильных групп, что повышает способность волокон удерживать воду [14, 15].

Зависимость внешней удельной поверхности от коэффициента динамической вязкости. При увеличении внешней удельной поверхности уменьшается способность массы отдавать воду и увеличивается площадь контакта благодаря фибриллам, образовавшимся на поверхности волокон при размоле. Из рисунка 2

следует, что при уменьшении значения коэффициента динамической вязкости внешняя удельная поверхность увеличивается, причем для макулатуры эти значения выше, в сравнении с целлюлозой. Это можно объяснить тем, что происходит более упорядоченное ориентирование волокон в потоке, что соответствует лучшему развитию внешней удельной поверхности за счет лучшего проникновения молекул воды в межфибрилярное пространство [16].

Зависимость межволоконных сил связей от коэффициента динамической вязкости. Межволоконные связи являются важнейшим фактором, формирующим структурно-механические свойства бумаги. Исследователями [17–19] установлено, что в бумажном листе из неразмолотых волокон силы связи между ними на 80% обусловлены силами трения и Ван-дер-Ваальса, 20% – водородными; из размолотых – в среднем, 40 и 60% соответственно. Известно, что водородные силы связи возникают при сближении свободных гидроксильных групп, находящихся на поверхности целлюлозы.

Как следует из графика, представленного на рисунке 3, при размоле волокнистой массы различной концентрации качественные зависимости межволоконных сил связи имеют тенденцию роста, а коэффициент динамической вязкости – снижения. Это можно объяснить тем, что с ростом коэффициента динамической вязкости межволоконные силы связи уменьшаются, так как из-за повышения структурированности молекул воды в большей степени происходит их проникновение в межфибрилярное пространство, повышающее прочность и гибкость волокна [20].

Количественные зависимости межволоконных сил связи при размоле волокнистого сырья отличаются друг от друга. Большее значение межволоконных сил связи наблюдается у целлюлозы, что свидетельствует о повышенных прочностных характеристиках готовых бумажных отливок.

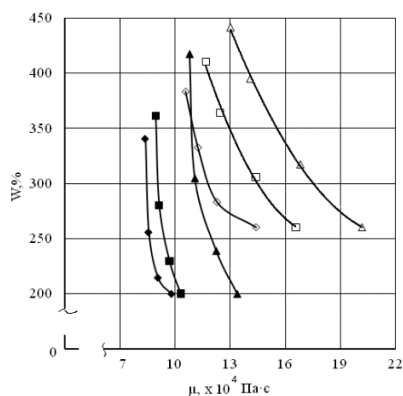


Рис. 1. Зависимость водоудерживающей способности от коэффициента динамической вязкости: целлюлоза: \blacklozenge – C=0.5%, \blacksquare – C=1%, \blacktriangle – C=1.5%; макулатура: \diamond – C=0.5%, \square – C=1%, Δ – C=1.5%

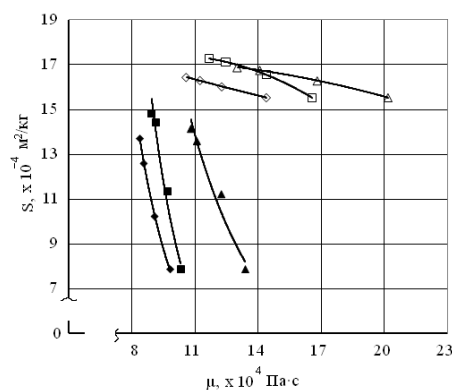


Рис. 2. Зависимость внешней удельной поверхности от коэффициента динамической вязкости волокнистой суспензии: целлюлоза: \blacklozenge – C=0.5%, \blacksquare – C=1%, \blacktriangle – C=1.5%; макулатура: \diamond – C=0.5%, \square – C=1%, Δ – C=1.5%

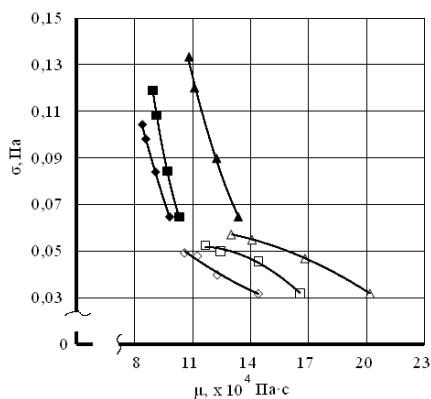


Рис. 3. Зависимость межволоконных сил связей от коэффициента динамической вязкости: целлюлоза: \blacklozenge – C=0.5%, \blacksquare – C=1%, \blacktriangle – C=1.5%; макулатура: \diamond – C=0.5%, \square – C=1%, Δ – C=1.5%

Выводы

Для оценки качества помола волокнистой массы независимо от вида размольного оборудования необходимо определять очень трудоемкие и трудозатратные по времени показатели бумагообразующих свойств волокнистой массы, среди которых: степень помола по шкале ШР°, концентрация волокнистой массы, водоудерживающая способность, внешняя удельная поверхность, межволоконные силы связи и другие.

Определив зависимости представленных бумагообразующих свойств волокнистой массы от коэффициента динамической вязкости волокнистой суспензии, можно значительно упростить оценку качества помола массы с использованием одного показателя – коэффициента динамической вязкости волокнистой суспензии.

Список литературы

1. Васютин В.Г. Интенсификация процесса комбинированного размола целлюлозных суспензий: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 1987. 166 с.
2. Ширенин В.М. Механизм гидродинамической обработки волокнистых материалов в безножевой размольной установке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2003. 20 с.
3. Терентьев О.А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве. М., 1980. 248 с.
4. Алашкевич Ю.Д. Гидродинамические явления при безножевой обработке волокнистых материалов. Красноярск, 2004. 80 с.
5. Кутовая Л.В. Комплексный параметр процесса обработки волокнистых суспензий безножевым способом в установке типа «струя-преграда»: дис. ... канд. тех. наук. Красноярск, 1998. 178 с.
6. Терентьев О.А., Куров В.С. Реология и гидродинамика бумажной массы. Л., 1986. 81 с.
7. Ерофеева А.А., Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д. Основные физические параметры процесса соударения струи суспензии с преградой в безножевой размольной установке // Химия растительного сырья. 2009. №3. С. 165–168.
8. Смирнова Э.А. Разработка модели комплексной реологической характеристики бумажной массы с целью практического использования при оптимизации режимов работы гидравлического оборудования ЦБП: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1983. 228 с.
9. Патент №2441217 (РФ). Способ измерения вязкостей неньютоновских жидкостей / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, А.А. Ерофеева. 2012.
10. Ерофеева А.А., Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д. Определение коэффициента динамической вязкости макулатурной массы // Лесной журнал. 2011. №4. С. 115–119.
11. Апсит С.О., Килипенко А.В. Бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов. М., 1972. 88 с.
12. Уатте У. Определение водоудерживающей способности различных беленых и небеленых целлюлоз // Экспресс-информация. 1968. №23.
13. Ковалев В.И., Ерофеева А.А., Алашкевич Ю.Д. Зависимость основных физических параметров при контакте струи суспензии с преградой от температуры в безножевой размальвающей // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы конференции. Барнаул, 2009. С. 219–221.
14. Ковалев В.И. Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 22 с.
15. Гегузин Я.Е. Капля. М., 1977. 175 с.
16. Решетова Н.С. Размол целлюлозы безножевым способом в магнитном поле: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2002. 138 с.
17. Степанова И.В., Тарасов А.В. Вязкость жидких сред. СПб., 2006. 37 с.
18. Соловьев А.Н., Каплун А.Б. Вибрационный метод измерения вязкости жидкости. Новосибирск, 1970. 140 с.
19. Бывшев А.В. О прочности связи единичных волокон в листе бумаги // Субмикроскопическое строение древесины и его роль в процессах делигнификации: тез. докл. 4-го науч. семинара. Рига, 1990. С. 93–98.
20. Покровский В.Н. Динамика слабо связанных линейных макромолекул // Успехи физических наук. 1992. Т. 162. №5. С. 87–120.

Поступила в редакцию 19 мая 2022 г.

После переработки 15 ноября 2022 г.

Принята к публикации 16 ноября 2022 г.

Для цитирования: Алашкевич Ю.Д., Фомкина А.А., Карелина А.А. Взаимосвязь отдельных бумагообразующих свойств и коэффициента динамической вязкости при размолу волокнистой массы // Химия растительного сырья. 2022. №4. С. 371–376. DOI: 10.14258/jcrpm.20220411374.

Alashkevich Yu.D.^{1}, Fomkina A.A.², Karelina A.A.¹ INTERRELATION OF INDIVIDUAL PAPER-FORMING PROPERTIES AND THE DYNAMIC VISCOSITY COEFFICIENT DURING THE GRINDING OF THE FIBROUS MASS*

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, pr. Krasnoyarskiy rabochiy, 31, Krasnoyarsk, 660037 (Russia), e-mail: alashkevichud@sibsau.ru

² Achinsk Technical School of Oil and Gas, ul. Druzhby Narodov, 8, Achinsk, 662155 (Russia)

The refining process is associated with the movement of large masses of fibrous suspensions in the working bodies of refining machines, which affects both the refining process itself and energy consumption when moving the fibrous suspension. In this regard, the efficiency of refining equipment can be ensured on the basis of knowledge of the hydrodynamic processes that occur during the interaction of the working bodies of refining equipment with a fibrous suspension.

During the flow of fibrous suspensions, the basic rheological feature is their viscosity, which makes it possible to judge the internal forces acting in the flow. This is especially important for the bladeless refining method using the “jet-barrier” installation.

In order to most fully judge the direction of the refining process (in the direction of the transverse shortening of the fibers or in the direction of their longitudinal fibrillation), it is necessary to control the paper-forming properties of the fibrous mass and the physical and mechanical properties of the castings.

The publication presents an analysis of the influence of the paper-forming properties of the fibrous mass on the quality of its refining, it is advisable to find the dependence of these indicators on the rheological features of the fibrous suspension flow in the refining zone, that is, to determine the relationship of the paper-forming properties of the fibrous mass with the dynamic viscosity coefficient during the flow of the fibrous suspension in the refining zone.

Keywords: refining, fibrous suspension, dynamic viscosity, coefficient, paper-forming properties, suspension flow.

References

1. Vasyutin V.G. *Intensifikatsiya protsessa kombinirovannogo razmola tsellyuloznykh suspenziy: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Intensification of the process of combined grinding of cellulose suspensions: dis. ... cand. tech. sciences.]. Krasnoyarsk, 1987, 166 p. (in Russ.).
2. Shirenin V.M. *Mekhanizm gidrodinamicheskoy obrabotki voloknistykh materialov v beznozhevoy razmol'noy ustanovke: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* [The mechanism of hydrodynamic processing of fibrous materials in a knifeless grinding plant: Ph.D. dis. ... cand. tech. sciences.]. Krasnoyarsk, 2003, 20 p. (in Russ.).
3. Terent'yev O.A. *Gidrodinamika voloknistykh suspenziy v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve.* [Hydrodynamics of fibrous suspensions in pulp and paper production]. Moscow, 1980, 248 p. (in Russ.).
4. Alashkevich Yu.D. *Gidrodinamicheskiye yavleniya pri beznozhevoy obrabotke voloknistykh materialov.* [Hydrodynamic phenomena during knifeless processing of fibrous materials]. Krasnoyarsk, 2004, 80 p. (in Russ.).
5. Kutovaya L.V. *Kompleksnyy parametr protsessa obrabotki voloknistykh suspenziy beznozhevym sposobom v ustanovke tipa «struya-pregrada»: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [A complex parameter of the process of processing fibrous suspensions using a knifeless method in a “jet-barrier” type installation: dis. ... cand. tech. sciences.]. Krasnoyarsk, 1998, 178 p. (in Russ.).
6. Terent'yev O.A., Kurov V.S. *Reologiya i gidrodinamika bumazhnoy massy.* [Rheology and Fluid Dynamics of Paper Pulp]. Leningrad, 1986, 81 p. (in Russ.).
7. Yerofeyeva A.A., Kovalev V.I., Alashkevich Yu.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2009, no. 3, pp. 165–168. (in Russ.).
8. Smirnova E.A. *Razrabotka modeli kompleksnoy reologicheskoy kharakteristiki bumazhnoy massy s tsel'yu prakticheskogo ispol'zovaniya pri optimizatsii rezhimov raboty gidravlicheskogo oborudovaniya TSBP: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Development of a model for the complex rheological characteristics of paper pulp for the purpose of practical use in optimizing the operating modes of the hydraulic equipment of the pulp and paper industry: dis. ... cand. tech. Sciences.]. Leningrad, 1983, 228 p. (in Russ.).
9. Patent 2441217 (RU). 2012. (in Russ.).
10. Yerofeyeva A.A., Kovalev V.I., Alashkevich Yu.D. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 4, pp. 115–119. (in Russ.).
11. Apsit S.O., Kilipenko A.V. *Bumagoobrazuyushchiye svoystva voloknistykh polufabrikatov.* [Paper-forming properties of fibrous semi-finished products]. Moscow, 1972, 88 p. (in Russ.).
12. Uatte U. *Ekspress-informatsiya*, 1968, no. 23. (in Russ.).
13. Kovalev V.I., Yerofeyeva A.A., Alashkevich Yu.D. *Novyye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya.* [New advances in chemistry and chemical technology of plant raw materials]. Barnaul, 2009, pp. 219–221. (in Russ.).
14. Kovalev V.I. *Razmol voloknistykh polufabrikatov pri razlichnom kharaktere postroyeniya risunka nozhevoy garnitury: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Grinding fibrous semi-finished products with a different nature of the construction of the pattern of the knife set: author. dis. ... cand. tech. Sciences.]. Krasnoyarsk, 2007, 22 p. (in Russ.).
15. Geguzin Ya.Ye. *Kaplya.* [A drop]. Moscow, 1977, 175 p. (in Russ.).
16. Reshetova N.S. *Razmol tsellyulozy beznozhevym sposobom v magnitnom pole: dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Grinding of cellulose using a knifeless method in a magnetic field: dis. ... cand. tech. sciences.]. Krasnoyarsk, 2002, 138 p. (in Russ.).
17. Stepanova I.V., Tarasov A.V. *Vyazkost' zhidkikh sred.* [Viscosity of liquid media]. Saint Petersburg, 2006, 37 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

18. Solov'yev A.N., Kaplun A.B. *Vibratsionnyy metod izmereniya vyazkosti zhidkosti*. [Vibration method for measuring the viscosity of a liquid]. Novosibirsk, 1970, 140 p. (in Russ.).
19. Byvshev A.V. *Submikroskopicheskoye stroeniye drevesiny i yego rol' v protsessakh delignifikatsi: Tezisy dokladov 4-go nauch. seminara*. [Submicroscopic structure of wood and its role in delignification processes: Abstracts of the 4th scientific seminar]. Riga, 1990, pp. 93–98. (in Russ.).
20. Pokrovskiy V.N. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 1992, vol. 162, no. 5, pp. 87–120. (in Russ.).

Received May 19, 2022

Revised November 15, 2022

Accepted November 16, 2022

For citing: Alashkevich Yu.D., Fomkina A.A., Karelina A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 4, pp. 371–376. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220411374.