

УДК 676.15

## ВЛИЯНИЕ РИСУНКА КОМБИНИРОВАННОЙ ГАРНИТУРЫ ДИСКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ НА ОТДЕЛЬНЫЕ БУМАГООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОТОВОГО ПРОДУКТА

© А.А. Петрова\*, Ю.Д. Алашкевич, И.А. Воронин

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. им. газеты Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037 (Россия), e-mail: www.sss19951@gmail.com*

Совершенствование процесса размола волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажном производстве вызвано сокращением сырьевой базы, требованиями к качеству готовой продукции, а также стремлением к сокращению энергозатрат производства. Изменение параметров размола позволяет изменять свойства и характеристики получаемых материалов в широком диапазоне. Основными контролируемыми параметрами процесса размола являются зазор между дисками ротора и статора, скорость вращения ротора, концентрация волокнистой массы. Одним из важных параметров процесса размола также является конструкция размалывающей гарнитуры. В статье рассмотрено влияние различных конфигураций полостей комбинированной гарнитуры дисковой мельницы на свойства волокнистой массы и готовых бумажных отливок. Оценены отдельные бумагообразующие свойства, в числе которых прирост степени помола волокнистой массы и длина волокна, а также физико-механические характеристики готовых отливок, к которым отнесены разрывная длина бумаги, число двойных перегибов и показатель сопротивления раздиранию. Размол производился на полупромышленной дисковой мельнице с использованием комбинированной гарнитуры. Для сравнения были выбраны волнообразная и коническая полости размола с прямолинейными однонаправленными ножами. Выявлено, что волнообразная полость размола по характеру воздействия на волокнистую массу имеет более высокие качественные показатели в сравнении с конической полостью размола.

*Ключевые слова:* размол, дисковая мельница, размалывающая гарнитура, волокнистый полуфабрикат, бумагообразующие свойства, физико-механические свойства.

### *Введение*

В настоящее время практически нет таких сфер жизнедеятельности человека, в которых бы не использовалась продукция целлюлозно-бумажного производства. В связи с постоянным увеличением объемов потребления данной продукции существует необходимость внедрения новых технологий и повышения эффективности применяемого оборудования, позволяющих обеспечить возникшие потребности в качественной продукции. Устойчивая тенденция роста затрат на изготовление бумажной продукции наблюдается как на этапе производства готового продукта, так и при подготовке полуфабрикатов. Подготовка волокнистого сырья к отливу, а именно его размол до соответствующих показателей, является важнейшим технологическим этапом и наиболее энергоемкой операцией целлюлозно-бумажного производства [1].

Изучению и совершенствованию процесса размола посвящено множество работ как отечественных,

*Петрова Анастасия Алексеевна* – аспирант,  
e-mail: www.sss19951@gmail.com

*Алашкевич Юрий Давыдович* – доктор технических наук,  
профессор, академик РАО, профессор кафедры машин и аппаратов промышленных технологий,  
e-mail: alashkevichud@sibsau.ru

*Воронин Иван Андреевич* – кандидат технических наук,  
доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, e-mail: ivan\_voronin@list.ru

так и зарубежных авторов [2–7], однако формулировки определения цели процесса размола у ученых занимающихся данной проблемой разнятся. В работах Иванова С.Н. [8] цель процесса размола заключается в придании волокнистому материалу определенной структуры, заключающейся в отношении размеров по толщине и длине волокна, а

\* Автор, с которым следует вести переписку.

также оптимального фракционного состава для достижения соответствующего строения и плотности бумажного листа. Немаловажной целью является гидратация, а именно разработка поверхности волокон для придания им пластичности и других свойств, которые в дальнейшем повлияют на создание межволоконных связей, то есть на качество бумаги в целом.

Стинберг [9], в свою очередь, рассматривает процесс размола как частный случай процесса «уменьшения размеров и увеличения площади поверхности» волокон.

В работах А.А. Набиевой назначение размола заключается в том, чтобы придать волокнистой массе необходимый фракционный состав, что обеспечит при отливе на бумагоделательной машине требуемые показатели плотности и структуры бумажного листа. Изменяя степень дисперсности волокнистой суспензии, расщепляя волокна и обрабатывая их поверхность при размоле, волокнистому полуфабрикату придаются физико-химические свойства, которые в дальнейшем будут влиять на образование межволоконных сил связи, которые в свою очередь повлияют на механическую прочность и другие показатели бумажного полотна [10].

Анализируя работы данных исследователей, можно прийти к выводу, что цель размола волокнистых материалов в целлюлозно-бумажном производстве заключается в улучшении бумагообразующих свойств волокнистой массы и, как следствие, качественных показателей готовых изделий (бумаги), увеличении производительности технологических потоков и снижении энергозатрат.

Основными параметрами процесса размола, влияющими на свойства волокнистого полуфабриката, а также эффективность и производительность размалывающей установки, являются удельное давление в зоне размола, концентрация массы, скорость вращения ротора, а также рисунок и форма полости размола гарнитуры. Учениками научной школы под руководством академика РАО Алашкевича Ю.Д. разработано множество видов конструкции гарнитур и изучено их влияние на процесс размола целлюлозной массы [10–13]. Гарнитуры дисковых размалывающих машин отличаются по рисунку, профилю, геометрическим характеристикам ножевой поверхности, виду обрабатываемого материала и другим признакам.

Актуальность обуславливается совершенствованием процесса размола за счет изменения конструкции гарнитуры дисковой мельницы, поскольку от процесса размола зависят основные качественные характеристики готовых изделий, производительность технологических потоков и расход электроэнергии. Усовершенствование процесса размола путем создания и использования принципиально новых видов конструкций гарнитуры, обеспечивает повышение качества готовой продукции без повышения ее себестоимости, что объясняется отсутствием необходимости модернизации технологического потока. Известно, что в общем технологическом производстве готовой продукции наибольший расход электроэнергии затрачивается на процесс размола [14–17].

### ***Экспериментальная часть***

Сырьем для исследований процесса размола была выбрана беленая сульфатная хвойная целлюлоза производства ОАО «Группа «Илим» г. Братск, с начальной степенью помола 12 °ШР (Шоппер-Риглера), размол производился на полупромышленной дисковой мельнице МД [18]. Для сравнения влияния на процесс размола были использованы коническая и волнообразная формы межножевых полостей с прямолинейными однонаправленными ножами.

Перед проведением эксперимента волокнистая масса была подвергнута замачиванию с последующим роспуском в гидроразбивателе, после чего осуществлялась подача массы в дисковую мельницу через систему трубопроводов. Размол производился при концентрации волокнистой массы 2%, межножевом зазоре 0.2 мм, частоте вращения ротора 2000 об./мин.

### ***Обсуждение результатов***

С целью исследования влияния различных ножевых поверхностей на характер обработки волокнистых полуфабрикатов на кафедре «Машин и аппаратов промышленных технологий» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева была спроектирована и изготовлена комбинированная (наборная) гарнитура дисковой мельницы (рис. 1).

Комбинированная (наборная) размалывающая гарнитура дисковой мельницы исполнена в виде закрепленных на дисках ротора и статора концентрических колец с выступами (ножами гарнитуры), которым

в поперечном сечении придана разновысокая прямоугольная форма (рис. 1 б, в). Рабочая площадь колец разделена на секторы с равномерно распределенными по ним сопряженными выступами, которые образуют параллельные прямолинейные ножи, имеющие постоянную ширину и угол наклона к одной из боковых сторон сектора. Линии рабочей поверхности, образующиеся в продольном сечении ножей, являются ломаными прямыми, которые последовательно соединяют точки сопряжения колец от входа к периферии. Кольца ротора и статора являются взаимозаменяемыми, при этом у каждой пары сопряженных колец ротора и статора сумма высот постоянна [19].

Благодаря конструктивным особенностям наборной гарнитуры имеется возможность многовариантного исполнения рисунка рабочей ножевой поверхности гарнитуры на основе имеющихся колец без демонстрации старых, изготовления и установки новых. Общее количество рисунков гарнитуры для данной конструкции составляет 6 видов [20]. Возможность варьирования профиля гарнитуры в радиальном и осевом направлениях обеспечивает эффективность процесса размола, высокое качество размалываемой массы и широкий диапазон режимов траектории движения через ножевую полость волокнистой суспензии, в зависимости от ее концентрации и природных свойств используемого волокна.

Для решения поставленной задачи необходимо определить бумагообразующие свойства обработанной массы. Основными бумагообразующими показателями волокнистой массы, исследуемыми в данной работе, являются степень помола волокнистой массы и длина волокна. Анализируя данные показатели, можно судить о направлении воздействия на волокно ножевой гарнитуры и спрогнозировать прочностные свойства готовых отливок. На рисунке 2 построен график зависимости степени помола волокнистой массы от времени размола для волнообразной и конической полостей размола. Можно отметить, что качественные и количественные зависимости прироста степени помола волокнистой массы идентичны для обеих полостей размола и близки к линейным.

На рисунке 3 представлена зависимость длины волокна от степени помола. Как видно из рисунка, качественные зависимости длины волокна от степени помола как для конической, так и для волнообразной полостей размола близки друг к другу. Количественные значения отличаются незначительно для обоих рисунков гарнитуры, при этом волнообразная полость размола по характеру воздействия на волокно менее направлена на укорочение волокон, чем коническая.

Излишнее укорочение волокон в процессе размола в дальнейшем может повлиять на снижение прочности готовой продукции, преимущественно влияя на показатель сопротивления раздиранью и излому, что в дальнейшем отразится на числе обрывов полотна на бумагоделательной машине. Стоит отметить, что недостаточное укорочение волокон способствует ухудшению просвета бумаги, а также образованию сгустков.

Кроме определения бумагообразующих свойств размолотой волокнистой массы, были определены физико-механические характеристики готовых бумажных отливок в соответствии с ГОСТ ИСО 1924-1-96, ГОСТ 13525.2-80, ГОСТ 13525.3-97 [21–23]. На рисунке 4 представлена зависимость разрывной длины готовых бумажных отливок от степени помола по шкале Шоппер-Риглера. Из рисунка видно, что независимо от конструкции гарнитуры, с ростом степени помола до 60 °ШР в обоих случаях наблюдается повышение значений разрывной длины. При дальнейшем повышении степени помола, для конструкции волнообразной формы наблюдается дальнейшее увеличение разрывной длины, а для конической полости размола наблюдается снижение данного показателя, в обоих случаях зависимости носят параболический характер.

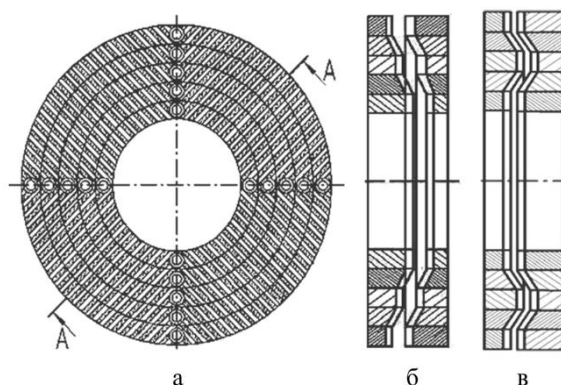


Рис. 1. Комбинированная (наборная) гарнитура с прямолинейными однонаправленными ножами: а – вид сверху; б – коническая полость размола (диаметральное сечение); в – волнообразная полость размола (диаметральное сечение)

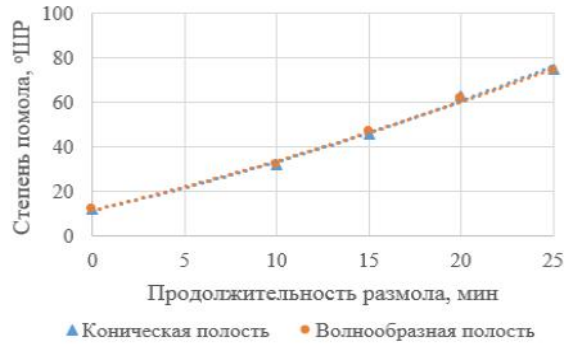


Рис. 2. Зависимость степени помола от времени размола

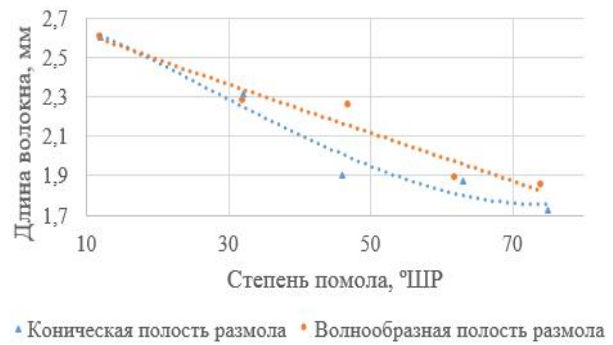


Рис. 3. Зависимость длины волокна от степени помола

На рисунке 5 представлена зависимость числа двойных перегибов от степени помола. Как видно из рисунка, наблюдаются качественные и количественные изменения показателей в сравнении двух полостей размола. Причем число двойных перегибов для волнообразной полости размола имеет показатель в 2 раза выше при достижении 60 °ШР и наблюдается повышение этого показателя для обеих конструкций гарнитуры при дальнейшем увеличении степени помола.

На рисунке 6 представлена зависимость сопротивления раздиранию от степени помола волокнистой массы. Из графика видно, что больший прирост показателя наблюдается у волнообразной полости размола, а качественные зависимости имеют схожий параболический характер.

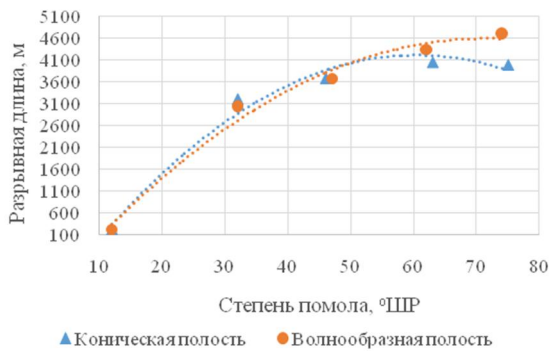


Рис. 4. Зависимость разрывной длины бумаги от степени помола

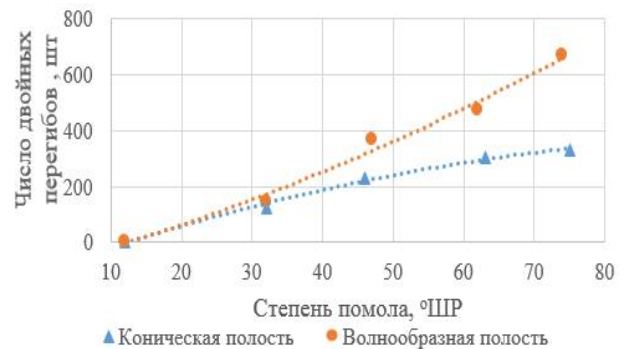


Рис. 5. Зависимость числа двойных перегибов от степени помола

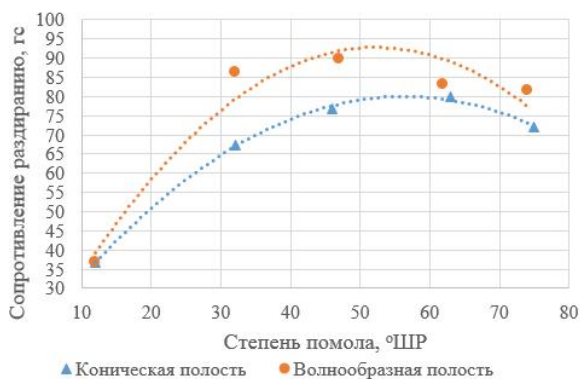


Рис. 6. Зависимость сопротивления раздиранию от степени помола

### **Выводы**

Таким образом, исследованы отдельные бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов и физико-механические характеристики готовых изделий при размолу полуфабрикатов с использованием комбинированной гарнитуры разных конструкций, в частности волнообразного и конического рисунков с прямолинейными однонаправленными ножами. Выяснилось, что рисунок гарнитуры не оказывает существенного влияния на степень помола волокнистой массы и показатель длины волокна.

При исследовании влияния рисунков гарнитуры на физико-механические характеристики готовых отливок выяснилось, что, независимо от конструкции гарнитуры, с ростом степени помола до 60 °ШР в обоих случаях наблюдается повышение значения разрывной длины. В то же время при использовании конической конструкции гарнитуры наблюдается снижение разрывной длины после прироста степени помола выше 60 °ШР.

Число двойных перегибов при использовании волнообразной полости размолу имеет значение в два раза выше, чем для конической полости размолу при достижении степени помола 60 °ШР и наблюдается снижение этого показателя при использовании конической полости гарнитуры при дальнейшем увеличении степени помола. Показатель сопротивления раздиранию имеет больший прирост у волнообразной полости размолу, а качественные зависимости имеют схожий параболический характер для обеих конструкций гарнитуры.

### **Список литературы**

1. Fraser J., Breslau C. Managing energy price risk for the pulp and paper industry // Pulp and Paper. Canada, Ontario, 2000. Pp. 271–273.
2. Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И., Набиева А.А. Влияние рисунка гарнитуры на процесс размолу волокнистых полуфабрикатов: монография в 2-х частях. Красноярск, 2010. Ч. 1. 168 с.
3. Чистова Н.Г. Размол древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2000. 193 с.
4. Богоявленский И.И. Технология бумаги. М.-Л., 1946. Т. 1. 258 с.
5. Смит С. Рациональная теория ролла. Берлин, 1922. 105 с.
6. Сутерлэнд М. Размол массы в дисковой мельнице // Труды технической ассоциации. 1936. Т. 19. С. 175–187.
7. Видуэлл Г., Сутерлэнд М. Основные параметры размолу целлюлозы в дисковом рафинере // Труды технической ассоциации. 1936. Т. 19. С. 162–175.
8. Иванов С.Н. Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
9. Steenberg V. Review of the Effect of Mechanical Treatment of Fibres // Svensk Papperstidning. 1963. Vol. 66. Pp. 933–939.
10. Набиева А.А. Оценка влияния и совершенствования технологических параметров ножевых размалывающих машин: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2004. 156 с.
11. Ковалев В.И. Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 209 с.
12. Вититнев А.Ю. Совершенствование процесса размолу волокнистых полуфабрикатов в производстве древесноволокнистых плит: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2019. 152 с.
13. Шуркина В.И. Совершенствование ножевого размолу волокнистых растительных полимеров в целлюлозно-бумажном производстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2016. 22 с.
14. Алашкевич Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... докт. техн. наук. Л., 1980. 334 с.
15. Shurkina V.I., Marchenko R.A., Alashkevich Yu.D. Research of the paper-forming properties of a fibrous material with the use of a tacking with curvilinear knives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 467. 012002. DOI 10.1088/1757-899X/467/1/012002.
16. Канавеллис Р. Струйный удар и кавитационное разрушение // Теоретические основы инженерных расчетов. 1968. Т. 90. №3. С. 39–48.
17. Гончаров В.Н., Гаузе А.А., Аликин В.П. Машины для роспуска и безножевого размолу бумажной массы. Л., 1979. 106 с.
18. ГОСТ Р 56847-2015. Процессы производства целлюлозы. Нормативы образования отходов. М., 2016. 20 с.
19. Патент №2314380 С1 (РФ). Размалывающая гарнитура дисковой мельницы / Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, М.А. Карбышев и др. – 10.01.2008.
20. Петрова А.А., Воронин И.А., Алашкевич Ю.Д. Размалывающая гарнитура дисковой мельницы с оригинальными геометрическими характеристиками ножевой поверхности // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2021. С. 390–393.

21. ГОСТ ИСО 1924-1-96. Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Ч. 1. Метод нагружения с постоянной скоростью. Минск, 2000. 10 с.
22. ГОСТ 13525.2-80. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на излом при многократных перегибах. М., 2007. 4 с.
23. ГОСТ 13525.3-97. Полуфабрикаты волокнистые и бумага. Метод определения сопротивления раздиранию (метод Эльмендорфа). М., 2007. 8 с.

*Поступила в редакцию 15 февраля 2023 г.*

*После переработки 10 сентября 2023 г.*

*Принята к публикации 3 октября 2023 г.*

**Для цитирования:** Петрова А.А., Алашкевич Ю.Д., Воронин И.А. Влияние рисунка комбинированной гарнитуры дисковой мельницы на отдельные бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов и физико-механические характеристики готового продукта // Химия растительного сырья. 2023. №4. С. 429–435. DOI: 10.14258/jcprtm.20230412552.

*Petrova A.A.\**, *Alashkevich Yu.D.*, *Voronin I.A.* INFLUENCE OF THE PATTERN OF THE COMBINED GRINDING SET OF THE DISC MILL ON INDIVIDUAL PAPER-FORMING PROPERTIES OF FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS AND THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE FINISHED PRODUCT

*Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, pr. Krasnoyarsky Rabochiy, 31, Krasnoyarsk, 660037, (Russia), e-mail: www.sss19951@gmail.com*

The improvement of the process of grinding fibrous semi-finished products in pulp and paper production is caused by a reduction in the raw material base, requirements for the quality of finished products, as well as the desire to reduce production energy costs. Changing the grinding parameters allows you to change the properties and characteristics of the resulting materials in a wide range. The main controlled parameters of the grinding process are the gap between the rotor and stator disks, the rotor speed, the concentration of the fibrous mass. One of the important parameters of the grinding process is also the design of the grinding set. The article considers the influence of various configurations of cavities of the combined grinding set of a disc mill on the properties of the fibrous mass and finished paper castings. Individual paper-forming properties were evaluated, including the increase in the degree of grinding of the fibrous mass and the length of the fiber, as well as the physical and mechanical characteristics of the finished castings, which include the breaking length of the paper, the number of double folds and the tear resistance index. The grinding was carried out on a semi-industrial disc mill using a combined grinding set. For comparison, wavy and conical grinding cavities with straight unidirectional knives were selected. It was revealed that the wave-shaped grinding cavity has higher quality indicators in comparison with the conical grinding cavity by the nature of the impact on the fibrous mass.

*Keywords:* refining, disk mill, grinding set, fibrous semi-finished product, paper-forming properties, physical and mechanical properties.

---

\* Corresponding author.

## References

1. Fraser J., Breslau C. *Pulp and Paper*. Canada, Ontario, 2000, pp. 271–273.
2. Alashkevich Yu.D., Kovalev V.I., Nabiyeva A.A. *Vliyaniye risunka garnitury na protsess razmola voloknistykh polufabrikatov: monografiya v 2-kh chastyakh*. [The influence of the headset pattern on the process of grinding fibrous semi-finished products: a monograph in 2 parts]. Krasnoyarsk, 2010, part. 1, 168 p. (in Russ.).
3. Chistova N.G. *Razmol drevesnovoloknistoy massy na promyshlennykh ustanovkakh pri proizvodstve DVP: dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Grinding wood fiber mass in industrial installations for the production of fiberboard: dis. ...cand. tech. Sci.]. Krasnoyarsk, 2000, 193 p. (in Russ.).
4. Bogoyavlenskiy I.I. *Tekhnologiya bumagi*. [Paper technology]. Moscow-Leningrad, 1946, vol. 1, 258 p. (in Russ.).
5. Smit S. *Ratsional'naya teoriya rolla*. [Rational theory of roll]. Berlin, 1922, 105 p. (in Russ.).
6. Suterlend M. *Trudy tekhnicheskoy assotsiatsii*, 1936, vol. 19, pp. 175–187. (in Russ.).
7. Viduell G., Suterlend M. *Trudy tekhnicheskoy assotsiatsii*, 1936, vol. 19, pp. 162–175. (in Russ.).
8. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi*. [Paper technology]. Moscow, 2006, 696 p. (in Russ.).
9. Steenberg B. *Svensk Papperstidning*, 1963, vol. 66, pp. 933–939.
10. Nabiyeva A.A. *Otsenka vliyaniya i sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh parametrov nozhevyykh razmalyvayushchikh mashin: dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Assessing the influence and improvement of technological parameters of knife grinding machines: dis. ...cand. tech. Sci.]. Krasnoyarsk, 2004, 156 p. (in Russ.).
11. Kovalev V.I. *Razmol voloknistykh polufabrikatov pri razlichnom kharaktere postroyeniya risunka nozhevoy garnitury: dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Grinding of fibrous semi-finished products with different types of knife design: dis. ...cand. tech. Sci.]. Krasnoyarsk, 2007, 209 p. (in Russ.).
12. Vititnev A.Yu. *Sovershenstvovaniye protsessa razmola voloknistykh polufabrikatov v proizvodstve drevesnovoloknistykh plit: dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Improving the process of grinding fibrous semi-finished products in the production of wood-fiber boards: dis. ...cand. tech. Sci.]. Krasnoyarsk, 2019, 152 p. (in Russ.).
13. Shurkina V.I. *Sovershenstvovaniye nozhevogo razmola voloknistykh rastitel'nykh polimerov v tsellyulozno-bumazhnom proizvodstve: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Improving knife grinding of fibrous plant polymers in pulp and paper production: abstract of thesis. dis. ...cand. tech. Sci.]. Krasnoyarsk, 2016, 22 p.
14. Alashkevich Yu.D. *Osnovy teorii gidrodinamicheskoy obrabotki voloknistykh materialov v razmol'nykh mashinakh: dis. ... dokt. tekhn. nauk*. Leningrad, 1980, 334 p. (in Russ.).
15. Shurkina V.I., Marchenko R.A., Alashkevich Yu.D. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 467, 012002. DOI 10.1088/1757-899X/467/1/012002.
16. Kanavellis R. *Teoreticheskiye osnovy inzhenernykh raschetov*, 1968, vol. 90, no. 3, pp. 39–48. (in Russ.).
17. Goncharov V.N., Gauze A.A., Alikin V.P. *Mashiny dlya rospuska i beznozhevogo razmola bumazhnoy massy*. [Machines for dissolving and knifeless grinding of paper pulp]. Leningrad, 1979, 106 p. (in Russ.).
18. *GOST R 56847-2015. Protsessy proizvodstva tsellyulozy. Normativy obrazovaniya otkhodov*. [GOST R 56847-2015. Pulp production processes. Waste generation standards]. Moscow, 2016, 20 p. (in Russ.).
19. Patent 2314380 C1 (RU). 10.01.2008. (in Russ.).
20. Petrova A.A., Voronin I.A., Alashkevich Yu.D. *Lesnoy i khimicheskoy kompleksy – problemy i resheniya: sbornik materialov po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Forestry and chemical complexes - problems and solutions: collection of materials based on the results of the All-Russian scientific and practical conference]. Krasnoyarsk, 2021, pp. 390–393. (in Russ.).
21. *GOST ISO 1924-1-96. Bumaga i karton. Opredeleniye prochnosti pri rastyazhenii. Ch. 1. Metod nagruzheniya s postoyannoy skorost'yu*. [GOST ISO 1924-1-96. Paper and cardboard. Determination of tensile strength. Part 1. Constant speed loading method]. Minsk, 2000, 10 p. (in Russ.).
22. *GOST 13525.2-80. Polufabrikaty voloknistyye, bumaga i karton. Metod opredeleniya prochnosti na izlom pri mnogokratnykh peregibakh*. [GOST 13525.2-80. Semi-finished fibrous products, paper and cardboard. Method for determining fracture strength after repeated bending]. Moscow, 2007, 4 p. (in Russ.).
23. *GOST 13525.3-97. Polufabrikaty voloknistyye i bumaga. Metod opredeleniya soprotivleniya razdiraniyu (metod El'mendorfa)*. [GOST 13525.3-97. Semi-finished fiber products and paper. Method for determining tear resistance (Elmendorf method)]. Moscow, 2007, 8 p. (in Russ.).

Received February 15, 2023

Revised September 10, 2023

Accepted October 3, 2023

**For citing:** Petrova A.A., Alashkevich Yu.D., Voronin I.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 4, pp. 429–435. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230412552.

