

УДК 676.026.27+676.262

О ВОЗМОЖНОСТИ МЕЛОВАНИЯ БУМАГИ В ПРОЦЕССЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМОВАНИЯ

© *Г.К. Малиновская**, *Л.В. Литвинова*

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198095 (Россия), e-mail: m-gk@mail.ru

Формование бумажного полотна аэродинамическим методом осуществляется осаждением на сетке волокон и компонентов бумаги из потока воздуха. В работе показана возможность внесения наполнителя как в процессе формования волокнистого слоя, так и в качестве покрытия одной из сторон полотна бумаги. Минеральные наполнители улучшают печатные свойства бумаги, но снижают показатели ее прочности.

Проведен анализ негативного влияния наполнителя на разрывную прочность бумаги. Даны теоретические представления о механизме удержания наполнителя в структуре бумажного полотна. Рассмотрены зависимости степени удержания наполнителя от удельного веса волокнистого слоя и диаметра пор в бумажном полотне. Главным фактором удержания наполнителя в процессе поверхностного мелования является соотношение среднего диаметра частиц наполнителя и диаметра сквозных межволоконных пор. Эти данные могут быть использованы в экспериментальных и практических работах с новыми видами наполнителей, с природными и синтетическими волокнами.

Методом аэродинамического формования получены образцы бумаги с наполнителем, находящимся как в структуре, так и на поверхности бумаги. Для повышения адгезионной прочности поверхность частиц наполнителя модифицирована раствором Na-карбоксиметилцеллюлозы. Дана сравнительная оценка мелованных образцов бумаги из различных пород древесины по оптическим показателям, значениям шероховатости и воздухопроницаемости. Разработанный способ мелования бумаги в процессе аэродинамического формования может быть применен при изготовлении бумаги для печати и тарного картона.

Ключевые слова: наполнитель, поверхностное мелование бумаги, степень удержания наполнителя, размер межволоконных пор, аэродинамическое формование бумаги.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 10.6052.2017/БЧ.

Введение

Бумага представляет собой композиционный материал, состоящий из структурных элементов различного размера и происхождения, а также включающий разнородные компоненты, такие как наполнитель, проклеивающие и упрочняющие вещества, оптические отбеливатели, химикаты [1, 2]. В зависимости от компонентного состава бумаги изменяются свойства и качество конечного продукта. Для улучшения печатных свойств бумаги в ее композицию вводят минеральные наполнители, причем введение наполнителя возможно как в объем, так и на поверхность полотна бумаги [3–5]. Применение минеральных наполнителей позволяет заменить часть волокна более дешевым сырьем, однако наряду с улучшением печатных свойств бумаги существенно снижается ее механическая прочность.

В работе рассмотрено влияние размера частиц наполнителя на степень его удержания в слое волокон при получении бумаги методом аэродинамического формования [6–10].

Малиновская Галина Кирилловна – ведущий научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории, кандидат химических наук,
e-mail: m-gk@mail.ru

Литвинова Лидия Владимировна – старший научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории, кандидат химических наук,
e-mail: lidiya.litvinova@mail.ru

Экспериментальная часть

Технология аэродинамического формования позволяет вводить наполнитель двумя способами: в структуру волокнистого слоя в процессе формования полотна бумаги и напылением минеральных частиц на поверхность волокнистого слоя с образованием мелованного покрытия.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Введение наполнителя в структуру волокнистого слоя увеличивает вес бумаги, частицы наполнителя задерживаются поверхностью волокон, препятствуют их сближению и образованию межволоконных связей. Известно, что разрывная прочность бумаги, выражаемая разрывной длиной, представляет собой отношение разрывного усилия к весу единицы длины бумаги. Увеличение веса бумаги без соответствующего увеличения количества межволоконных связей приводит к снижению разрывной длины бумаги:

$$BL_i = BL_o \cdot \left(1 - \frac{W_{ash}}{100}\right), \quad (1)$$

где BL_i – разрывная длина бумаги, содержащей минеральный наполнитель, м; BL_o – разрывная длина бумаги без наполнителя (м); W_{ash} – содержание минерального наполнителя (%).

Возможную степень покрытия внешней поверхности волокон частицами минерального наполнителя при условии равномерного распределения частиц в объеме бумаги можно оценить по следующему уравнению:

$$S_{cover} = \frac{3}{8} \cdot \frac{d_{fiber}}{D_{fill}} \cdot \frac{\rho_{fiber}}{\rho_{fill}} \cdot \frac{Q_{fill}}{100 - Q_{fill}} \cdot 100, \quad (2)$$

где S_{cover} – степень покрытия внешней поверхности волокон частицами минерального наполнителя (%); d_{fiber} – средний диаметр волокон (м); D_{fill} – средний диаметр частиц минерального наполнителя (м); ρ_{fiber} – удельный вес набухших волокон (отношение веса сухой целлюлозы к полному объему набухших волокон); $\rho_{fill} = 900 \text{ кг/м}^3$; ρ_{fill} – удельный вес частиц наполнителя; Q_{fill} – содержание наполнителя в бумаге (%).

На рисунке 1 представлены значения степени покрытия поверхности волокон частицами наполнителя в зависимости от содержания наполнителя, вычисленные по уравнению (2).

Результаты расчетов, представленные на рисунке 1, раскрывают причины снижения механической прочности бумаги при введении наполнителя: высокодисперсный наполнитель стремится покрыть внешнюю поверхность волокон, препятствуя образованию межволоконных связей; низкодисперсный наполнитель препятствует необходимому для связеобразования сближению волокон. Для снижения негативного воздействия наполнителя и для повышения прочности бумаги проводят модификацию наполнителя, используя связующие и упрочняющие добавки [11, ч. 1, с. 87–90, 12–14].

При формовании бумажного полотна традиционным способом в композицию бумажной массы вводят флокулянты [15–19]. В результате физико-химического взаимодействия флокулянтов с тонкодисперсными частицами наполнителя образуются крупные рыхлые агрегаты, эффективно удерживающиеся в бумажном полотне.

Подбор оптимальных флокулянтов и степени дисперсности минерального наполнителя способен обеспечить не только высокую степень удержания наполнителя, но и существенно повысить механическую прочность бумаги. Повышение механической прочности бумаги возможно, если химический состав флокулянта обеспечивает образование дополнительных межволоконных связей в структуре бумаги. Флокулянт может состоять из нескольких химических компонентов, физико-химическое взаимодействие которых между собой и с целлюлозными волокнами создает дополнительные межволоконные связи [20–21].

Формование бумажного полотна аэродинамическим методом (АДФ) осуществляли осаждением на сетке волокон и компонентов бумаги из потока воздуха [9, 22]. На стадии подготовки аэрозвеси волокон в состав бумаги двумя способами вводили минеральный наполнитель, модифицированный 1%-ным водным раствором натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) [23]. Модификация увеличивает прочность адгезионного взаимодействия частиц наполнителя с волокнами целлюлозы. Наполнителем служил карбонат кальция производства Specialty Minerals с удельным весом частиц 2.7 г/см^3 , белизной 97% [24]. Модифицированный мел использовали в виде пасты, содержащей 65% сухого вещества, и в виде сухого порошка. Сухой наполнитель вводили в поток аэрозвеси волокон в процессе формования образцов бумаги аэродинамическим методом. Паста модифицированного наполнителя наносилась на волокнистый полуфабрикат перед роспуском целлюлозного материала. Образцы бумаги изготавливали на лабораторной установке периодического действия, варьируя в пределах 10, 15 и 20% количество введенного мела к количеству сухой целлюлозы. Полученные данные представлены в таблице 1.

Рис. 1. Степень покрытия внешней поверхности волокон частицами наполнителя в зависимости от содержания наполнителя. Средний диаметр частиц наполнителя: trace 1 – 0.5 мкм; trace 2 – 1.0 мкм; trace 3 – 5.0 мкм

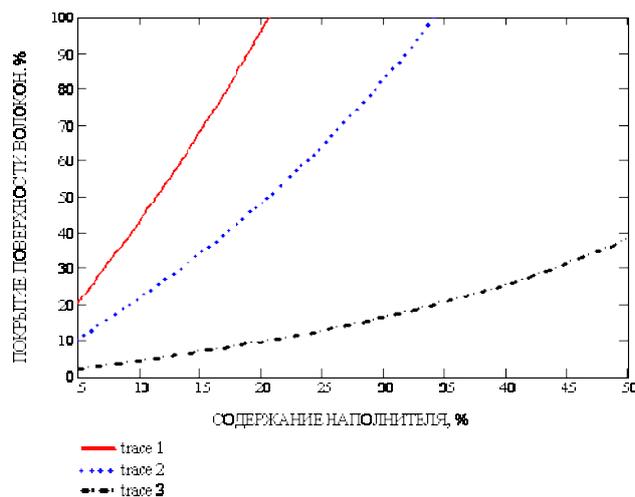


Таблица 1. Сравнительные данные по способам введения наполнителя в структуру бумаги из хвойной целлюлозы

Вид наполнителя	Количество введенного наполнителя к волокну, %	Удержание наполнителя, %	Показатели образцов бумаги		
			Индекс прочности, Нм/г	Вес, г/м ²	Плотность, кг/м ³
Паста	10	100	43.8	75	750
	15	98	36.4	80	750
	20	98	35.3	80	790
Порошок	10	84	40.2	80	800
	15	82	34.3	75	780
	20	82	30.0	75	780
Порошок немодифицированный	10	45	34.5	75	750
	15	45	28.0	75	770
	20	40	23.4	80	800

Из данных таблицы 1 следует, что удержание частиц наполнителя зависит от способа его введения при аэродинамическом формовании бумаги. Модификация наполнителя способна обеспечить не только высокую степень удержания наполнителя, но и существенно повысить механическую прочность бумаги по сравнению с образцами бумаги, содержащими чистый наполнитель. Индекс прочности бумаги, измеренный по ГОСТ 1924-1-96, с наполнителем в виде пасты выше, чем при использовании наполнителя в виде порошка, так как целлюлозный полуфабрикат обрабатывался пастой, содержащей раствор NaKMЦ, который увлажнил волокна, что и повысило их прочность. Рост индекса прочности бумаги с модифицированным наполнителем свидетельствует об образовании в структуре бумаги дополнительных межволоконных связей.

Оптические свойства опытных образцов бумаги определены по стандартам ISO 2469-77 и ISO 2471-77 (белизна – 86–88%, непрозрачность – 84–88%). Проклейка образцов бумаги перед стадией прессования проводилась 1%-ным раствором катионного крахмала: степень проклейки (ГОСТ 8049-62) составила 1.0–2.0 мм.

Технология аэродинамического формования позволяет наносить наполнитель в качестве покрытия на одну сторону полотна бумаги и производить бумагу с односторонним мелованным слоем.

При аэроформовании бумаги из целлюлозосодержащего сырья аэровзвесь волокон образует на формирующей сетке волокнистый слой массой 40–120 г/м². Если средний размер частиц наполнителя больше среднего размера межволоконных пор сформованного на сетке волокнистого слоя, наполнитель будет задерживаться структурой слоя чисто механически. Степень механического удержания наполнителя существенно возрастает с увеличением внешней фибрилляции волокон [11, ч. 1, с. 83–94]. При отсутствии развитой внешней фибрилляции (степень помола менее 30°ШР) средний размер межволоконных пор определяется средней шириной волокон.

Величина среднего диаметра межволоконных пор оценивалась по теории статистической структуры бумаги [25]. Среднестатистическая величина диаметра межволоконных пор при отсутствии внешней фибрилляции выражается уравнением:

$$D_{por} = \frac{H_{fiber}}{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} \cdot \frac{2q_o \cdot \frac{H_{fiber}}{\delta_f} \cdot \exp\left(-q_o \cdot \frac{H_{fiber}}{\delta_f}\right)}{1 - \left(1 + q_o \cdot \frac{H_{fiber}}{\delta_f}\right) \cdot \exp\left(-q_o \cdot \frac{H_{fiber}}{\delta_f}\right)}, \quad (3)$$

где D_{por} – диаметр межволоконных пор, м; H_{fiber} – средняя ширина волокон, м; δ_f – средняя толщина волокон, м; q_o – вес квадратного метра бумаги, г/м².

Если диаметр частиц наполнителя меньше среднего диаметра межволоконных пор, степень уноса частиц потоком воздуха при формовании бумажного полотна определяется площадью сквозных пор, а степень удержания наполнителя (Ψ_{filler}) вычисляется по уравнению:

$$\Psi_{filler} = \left(1 - \frac{1 - \exp\left(-q_o \cdot \frac{H_{fiber}}{\delta_f}\right)}{q_o \cdot \frac{H_{fiber}}{\delta_f}}\right) \cdot 100. \quad (4)$$

На рисунке 2 представлены расчетные значения степени удержания высокодисперсного наполнителя в слое волокон в зависимости от удельного веса волокнистого слоя.

Основным фактором, определяющим величину удержания наполнителя в объеме формуемого бумажного полотна, является соотношение среднего диаметра частиц наполнителя и диаметра сквозных межволоконных пор.

В зависимости от массы волокнистого слоя и грубости волокон (табл. 2) линейный размер сквозных межволоконных пор формуемой бумаги становится меньше диаметра частиц наполнителя, что позволяет удерживать частицы наполнителя на поверхности волокнистого слоя и проводить поверхностное мелование бумаги [26]. В работе использован фракционированный карбонат кальция с размером частиц 4.5–5 мкм. В расчетах по формуле 3 принято, что грубость волокон лиственных пород древесины составляет ≈ 20 мг/100 м, хвойных пород древесины ≈ 30 мг/100 м [27–29].

Из данных таблицы 2 следует, что проскок частиц наполнителя через волокнистый слой, находящийся на формирующей сетке, не возможен при массе слоя выше 40 и 60 г/м² для лиственной и хвойной целлюлозы, соответственно, частицы наполнителя будут задерживаться волокнистым слоем с образованием мелованного покрытия.

Бумагу с мелованным слоем изготавливали из хвойной сульфатной целлюлозы на лабораторной установке аэродинамического формования [9]. На сформованный волокнистый слой напыляли частицы модифицированного мела с помощью оборудования, обеспечивающего высокую степень равномерности покрытия. Масса мелованного слоя составляла 10–40 г/м². Сформованный волокнистый слой с покрытием увлажняли водным раствором катионного крахмала, прессовали и высушивали. Результаты испытаний образцов бумаги АДФ при введении наполнителя на поверхность образцов хвойной и лиственной целлюлозы, представлены в таблице 3.

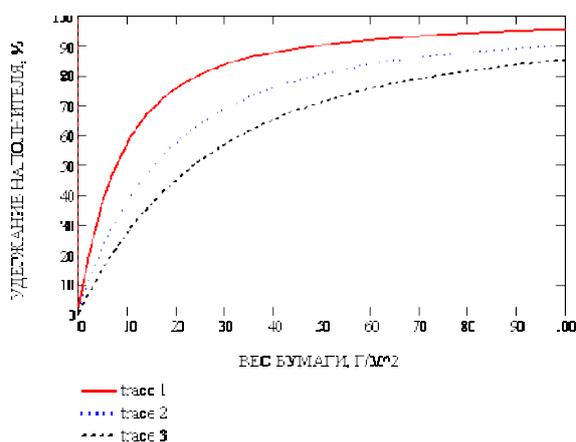


Рис. 2. Степень удержания высокодисперсного наполнителя слоем волокон в зависимости от удельного веса волокнистого слоя при «грубости» волокон: trace 1 – 10 мг/100 м; trace 2 – 20 мг/100 м; trace 3 – 30 мг/100 м

Таблица 2. Размер межволоконных пор в зависимости от массы волокнистого слоя

Масса кв. метра бумаги, г/м ²	Размер межволоконных пор образцов бумаги, мкм	
	Лиственная целлюлоза	Хвойная целлюлоза
40	4.8	16.0
50	2.0	8.0
60	0.9	4.8
70	0.4	2.7

Таблица 3. Результаты испытаний образцов бумаги

Вид целлюлозы	Зольность бумаги, % ГОСТ 17052-86	Непрозрачность, % ГОСТ 8874-80	Белизна, % ГОСТ 30113-94	Воздухопроницаемость, см ³ /мин ГОСТ 30114-95	Шероховатость, мл/м ГОСТ 2789-73
Хвойная	10	100	67.9	2130	780
	20	100	71.1	1870	720
	30	100	76.1	1330	580
Лиственная	10	98.3	70.0	1650	850
	20	99.9	73.6	1100	845
	30	99.9	72.5	1080	703

Потеря наполнителя в процессе изготовления образцов бумаги с мелованным слоем не зафиксирована: удержание наполнителя в образцах бумаги составило 100%, что обусловлено не только выбором связующих компонентов, но, главным образом, соотношением размеров частиц мела и межволоконных пор бумаги из различных пород древесины. Прочность бумаги к выщипыванию определяли на приборе IGT (ГОСТ 24356-86): волокон, оторвавшихся от поверхности мелованного слоя, не зафиксировано.

Высокая воздухопроницаемость бумаги АДФ обусловлена особенностями технологии аэродинамического формования (плотность волокнистого слоя на сетке составляет ≈ 20 кг/м³). Показатель воздухопроницаемости образцов бумаги снижается с ростом зольности. Образцы лиственной целлюлозы по сравнению с хвойной образуют более плотный и однородный волокнистый слой, что отражается показателями воздухопроницаемости бумаги.

При напылении наполнителя на сформованный волокнистый слой получили мелованное покрытие с хорошими показателями по белизне, непрозрачности и стойкости к выщипыванию. Образцы мелованной бумаги по показателям белизны соответствуют бумаге для печати без оптически отбеливающего вещества и тарному картону марки хром-эрзац.

Обсуждение результатов

На основании результатов экспериментального исследования и теоретического анализа показана возможность изготовления бумаги с наполнителем методом аэродинамического формования. При введении наполнителя в структуру бумаги для повышения адгезионной прочности частиц мела с целлюлозными волокнами наполнитель модифицирован полиэлектролитом. Это создает на поверхности частиц дополнительные функциональные группы, способные к взаимодействию.

Необходимым условием поверхностного мелования бумаги является обработка мелованного покрытия раствором связующего, катионный крахмал применен в качестве увлажняющего агента сформованного волокнистого слоя. Растворенный полимер проникает между частицами модифицированного наполнителя, сорбируется поверхностью целлюлозных волокон и обеспечивает связеобразование между мелованным и волокнистым слоями в бумаге. Недостатком рассмотренного аэродинамического способа мелования является покрытие только одной стороны полотна бумаги, однако такая бумага может использоваться при изготовлении афиш, журнальных обложек, календарей, а также мелованных видов картона.

Выводы

Проведен анализ факторов, влияющих на степень удержания наполнителя в объеме формируемого бумажного полотна. При аэродинамическом формовании бумаги главным является соотношение среднего диаметра частиц наполнителя и диаметра сквозных межволоконных пор. Показана возможность полного удержания частиц наполнителя на поверхности образцов бумаги, сформованных аэродинамическим методом.

Предложенный расчет может быть применен в экспериментальных и практических работах с новыми видами наполнителей, с использованием природных и синтетических волокон при традиционном способе формования бумаги.

Список литературы

1. Аким Э.Л. Обработка бумаги. М., 1979. С. 80–83.
2. Иванов С.Н. Технология бумаги. М., 1970. 695 с.
3. Бенда А.Ф., Кондратов А.П., Садыков В.Ф. Нанотехнологии в производстве высококачественной мелованной бумаги // Мир печати. 2011. №1. С. 1–10.
4. Осмоловская Л.П., Бондарев А.И. Технические требования к бумаге-основе для мелования // Реферативная информация ЦБНТИ по печати. М., 1977. №7(98). 26 с.
5. Bratskaya S., Schwarz S., Petrolid G., Liebert T., Heinze T. Modification of cellulose fiber for use in paper production with a large number of fillers // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2006. Vol. 45. Pp. 7374–7379.
6. Terentiev O. New Ecologically Friendly Technology for Aerodynamic Forming of Paper without water at speeds approaching 2000 m/min // EcoPaperTech 1. Conference. Finland. 2000. Pp. 421–424.
7. Kononov A., Paulapuro Hannu, Drobosyuk V., Malinovskaya G., Terentiev O. Air Dynamic Forming as an alternative to commercial papermaking concepts // XXXIII Aticelca Annual Meeting, Modena, Italy. 2002.
8. Kononov A., Drobosyuk V., Paulapuro Hannu. Application of the Air Dynamic Forming method for coarse mechanical pulp // 58th Appita Annual Conference and Exhibition, incorporating the Pan Pacific Conference, Canberra, Australia, 2004. Pp. 97–102.
9. Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом. СПб., 2011. 56 с.
10. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H., Malinovskaya G. Dry and semi-dry paper and cardboard production. Saving opportunities and development potential // Professional Papermaking. 2016. N2. Pp. 36–42.
11. Технология целлюлозно-бумажного производства. Т. 2. Производство бумаги и картона. СПб., 2005. Ч. 1. 423 с.; 2006. Ч. 2. 499 с.
12. Пузырев С.С. Развитие технологии для производства бумаги и картона // ЛесПромИнформ. 2018. №2(33). С. 1–9.
13. Молариус-Маурянец С. Применение КМЦ в мокрой части бумагоделательной машины // Целлюлоза Бумага Картон. 1995. №9–10. С. 20–21.
14. А.с. 1242551 (СССР). Способ получения бумаги / Е.А. Алешина, С.В. Рябченко, В.М. Дробосюк, Н.А. Гривкова, Э.Л. Аким, О.А. Терентьев. 1986.
15. Аким Э.Л. Синтетические полимеры в бумажной промышленности. М., 1986. 248 с.
16. Pigment Coating and Surface sizing of Paper. Ed. Lehtinen E. Papermaking Science and Technology Series Finish Paper Engineer's Association and TAPPI. 2000. Vol. 11. 810 p.
17. Осипов П.В. Полимеры в массу: Вопросы использования крахмалопродуктов для упрочнения структуры бумаги и картона // Бумага и жизнь. 2005. №3. С. 48–50.
18. Осипов П.В. Регулирование параметров формирования бумажного полотна в мокрой части машины применением систем химической продукции // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2008. №8. С. 68–73.
19. Кожевников С.Ю., Ковернинский И.Н., Смолин А.С., Шабиев Р.О. Исследование влияния поликатионных полимеров на обезвоживание макулатурной массы // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 139–143. DOI: 10.14258/jcrpm.2016021087.
20. Крылатов Ю.А., Афанасьев Н.И., Крылатов А.Ю., А.А. Дикунец А.А. Новое в технологии удержания, обезвоживания, формования бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2003. №7–8. С. 26–30.
21. Шабиев Р.О., Смолин А.С., Кожевников Ю.С., Ковернинский И.Н. Химия бумаги: Исследование действия упрочняющих и обезвоживающих добавок // Химия растительного сырья. 2014. №4. С. 263–270. DOI: 10.14258/jcrpm.201404383.
22. Патент 2100508 (РФ). Способ аэродинамического изготовления картона, писчей или печатной бумаги / О.А. Терентьев, В.М. Дробосюк. 1997.
23. Патент 2633535 (РФ). Способ введения наполнителя в бумагу / Г.К. Малиновская, Л.В. Литвинова, В.М. Дробосюк. 2011.
24. Gill R.A., Hagemeyer R.W. Fillers for paper // Pulp and paper Manufacture. 1992. Vol. 6. Pp. 19–38.
25. Deng M., Dodson C. J. Paper an engineered stochastic structure // Tappi press. 1994. Pp. 81–95.
26. Патент 2633535 (РФ). Способ введения наполнителя при аэродинамическом формовании бумаги / Г.К. Малиновская, Л.В. Литвинова. 2017.
27. Кларк Дж. Технология целлюлозы. М., 1983. 456 с.
28. Ramezani O., Nazhad Mousa M. The effect of coarseness on paper formation // African Pulp and paper week. 2004. Pp. 1–2.
29. Белоглазов В.И., Комаров В.И., Дьякова Е.В., Гурьев А.В. Структурно-размерные свойства волокон полуфабрикатов как фактор, определяющий качество тарного картона // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Международной научно-технической конференции. Архангельск. 2011. С. 57–63.

Поступила в редакцию 10 апреля 2018 г.

После переработки 12 декабря 2018 г.

Принята к публикации 23 января 2019 г.

Для цитирования: Малиновская Г.К., Литвинова Л.В. О возможности мелования бумаги в процессе аэродинамического формования // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 297–304. DOI: 10.14258/jcrpm.2019023969.

*Malinovskaya G.K.**, *Litvinova L.V.* ABOUT THE POSSIBILITY COATING OF PAPER IN THE PROCESS OF AERO-DYNAMIC FORMING

St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design. Higher School of Technology and Energy, st. Ivan Chernykh, 4, St. Petersburg, Russia, 198095, e-mail: m-gk@mail.ru

Forming a paper web by an aerodynamic method is carried out by deposition of fibers and paper components from a stream of air on a forming wire. Necessary properties of written and printed types of paper are ensured by the introduction of mineral fillers into the composition of the paper. The method used allows you to enter the filler both in the process of forming a fibrous layer, and as a coating on one side of a sheet of paper. Mineral fillers improve the printing properties of the paper, but reduce the strength of the paper.

The analysis of the negative effect of the filler on the tensile strength of paper was carried out. The theoretical understanding of the mechanism of retention of filler in the structure of the paper web are given. The dependences of the degree of retention of the filler on the specific weight of the fibrous layer and the diameter of pores in the paper web are considered. The main factor in the retention of the filler in the process of surface coating is the ratio of the average particle diameter of the filler and the diameter of the through interfiber pores. These data can be used in experimental and practical work with new types of fillers, with natural and synthetic fibers.

With the method of aerodynamic molding, paper samples were obtained when the filler was applied both to the structure and to the surface of the paper web. To increase the adhesion strength, the surface of the filler particles is modified with a solution of Na-carboxymethyl-cellulose. A comparative assessment of coated paper samples from various wood species by optical indicators, values of roughness and air permeability values of paper is given. A method for introducing a filler into the paper structure during aero molding is proposed. The developed method of paper coating in the process of aerodynamic formation can be applied in the manufacture of printing paper and containerboard.

Keywords: filler, surface coating of paper, degree of retention of filler, size of interfiber pores, aerodynamic forming of paper.

References

1. Akim E.L. *Obrabotka bumagi*. [Paper handling]. Moscow, 1979, pp. 80–83. (in Russ.).
2. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi*. [Paper technology]. Moscow, 1970, 695 p. (in Russ.).
3. Benda A.F., Kondratov A.P., Sadykov V.F. *Mir pechati*, 2011, no. 1, pp. 1–10. (in Russ.).
4. Osmolovskaya L.P., Bondarev A.I. *Referativnaya informatsiya TSBNTI po pechati*. [Reference information TSBNTI printing]. Moscow, 1977, no. 7(98). 26 p. (in Russ.).
5. Bratskaya S., Schwarz S., Petrold G., Liebert T., Heinze T. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2006, vol. 45, pp. 7374–7379.
6. Terentiev O. *EcoPaperTech 1*. Conference. Finland. 2000. Pp. 421–424.
7. Kononov A., Paulapuro Hannu, Drobosyuk V., Malinovskaya G., Terentiev O. *XXXIII Aticelca Annual Meeting*, Modena, Italy. 2002.
8. Kononov A., Drobosyuk V., Paulapuro Hannu. *58th Appita Annual Conference and Exhibition, incorporationg the Pan Pacific Conference*, Canberra, Australia, 2004. Pp. 97–102.
9. Drobosyuk V.M. *Tekhnologiya izgotovleniya bumagi aerodinamicheskim sposobom*. [Aerodynamic paper technology]. St. Petersburg, 2011, 56 p. (in Russ.).
10. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H., Malinovskaya G. *Professional Papermaking*, 2016, no. 2, pp. 36–42.
11. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. T. 2. Proizvodstvo bumagi i kartona*. [Technology of pulp and paper production. Vol. 2. Production of paper and cardboard]. St. Petersburg, 2005, part 1, 423 p.; 2006, part 2, 499 p. (in Russ.).
12. Puzyrev S.S. *LesPromInform*, 2018, no. 2(33), pp. 1–9. (in Russ.).
13. Molarius-Mauryanets S. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 1995, no. 9-10, pp. 20–21. (in Russ.).
14. Certificate of authorship 1242551 (USSR). 1986. (in Russ.).
15. Akim E.L. *Sinteticheskiye polimery v bumazhnoy promyshlennosti*. [Synthetic polymers in the paper industry]. Moscow, 1986, 248 p. (in Russ.).
16. Pigment Coating and Surface sizing of Paper. Ed. Lehtinen E. *Papermaking Scienceand Technology Serias Finish Paper Engineer's Association and TAPPI*, 2000, vol. 11, 810 p.
17. Osipov P.V. *Bumaga i zhizn'*, 2005, no. 3, pp. 48–50. (in Russ.).
18. Osipov P.V. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2008, no. 8, pp. 68–73. (in Russ.).
19. Kozhevnikov S.YU., Koverninskiy I.N., Smolin A.S., Shabiyev R.O. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 139–143. DOI:10.14258/jcprm.2016021087 (in Russ.).
20. Krylatov YU.A., Afanas'yev N.I., Krylatov A.YU., A.A. Dikunets A.A. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2003, no. 7-8, pp. 26–30. (in Russ.).
21. Shabiyev R.O., Smolin A.S., Kozhevnikov YU.S., Koverninskiy I.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 4, pp. 263–270. DOI:10.14258/jcprm.201404383 (in Russ.).
22. Patent 2100508 (RU). 1997. (in Russ.).
23. Patent 2633535 (RU). 2011. (in Russ.).
24. Gill R.A., Hagemeyer R.W. *Pulp and paper Manufacture*, 1992, vol. 6, pp. 19–38.
25. Deng M., Dodson C.J. *Tappi press*, 1994, pp. 81–95.
26. Patent 2633535 (RU). 2017. (in Russ.).

* Corresponding author.

27. Klark Dzh. *Tekhnologiya tsellyulozy*. [Pulp technology]. Moscow, 1983, 456 p. (in Russ.).
28. Ramezani O., Nazhad Mousa M. *African Pulp and paper week*, 2004, pp. 1–2.
29. Beloglazov V.I., Komarov V.I., D'yakova Ye.V., Gur'yev A.V. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskaya konferentsiya*. [Problems of the mechanics of pulp and paper materials-als: materials of the I International Scientific and Technical Conference]. Arkhangelsk, 2011, pp. 57–63. (in Russ.).

Received April 10, 2018

Revised December 12, 2018

Accepted January 23, 2019

For citing: Malinovskaya G.K., Litvinova L.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 297–304. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019023969.