

УДК 676.026.21

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ФОРМОВАНИЕ БУМАГИ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ© **В.М. Дробосюк**, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.*Г.К. Малиновская, канд. хим. наук, зав. лабораторией**Л.В. Литвинова, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.*

С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, ул. Ивана Черных, 4, г. С.-Петербург, Россия, 98095;

e-mail: vdrobosyuk@yandex.ru

В работе использован нетрадиционный способ изготовления бумаги – аэродинамическое формование. Процесс формования полотна бумаги осуществляется осаждением на сетке целлюлозных волокон из потока влажного воздуха при сохранении влажности сформованного слоя на уровне 30 %. Это обеспечивает образование межволоконных связей без введения упрочняющих добавок. При выработке бумаги методом аэродинамического формования наряду с малым потреблением воды ожидается снижение энергозатрат на роспуск полуфабриката и сушку бумаги. Плотность укладки волокон при формовании не превышает 25 кг/м³, что позволяет наиболее эффективно производить бумаги санитарно-гигиенического назначения, для которых характерны пухлость, мягкость и высокая впитывающая способность. В структуре волокнистого слоя при прессовании на сетке формируются участки, обеспечивающие механическую прочность и влагоемкость бумаги. Различие технологий аэродинамического и традиционного формования бумаги вызвало необходимость изменения параметров сеток, используемых в настоящее время в целлюлозно-бумажной промышленности. Представлен расчет параметров профилирующей сетки для создания рельефа из участков различной плотности укладки волокон в полотне бумаги при прессовании волокнистого слоя. Рыхлые участки отвечают за высокую впитывающую способность бумаги и образуются в ячейках между нитями профилирующей сетки. Плотные участки обуславливают механическую прочность бумаги. Размеры плотных участков и расстояния между ними исключают возможность прохождения линии разрыва бумаги только по рыхлым участкам. Для образования прочных межволоконных связей проводится дополнительное увлажнение волокон. Приведены условия капиллярного впитывания воды только плотными участками полотна бумаги, исключая увлажнение всего волокнистого слоя. Методом аэродинамического формования на лабораторной установке периодического действия отработаны режимы формования образцов бумаги из беленой сульфатной целлюлозы массой 30...50 г/м², избирательного увлажнения волокнистого слоя и способы введения вспомогательных компонентов для обеспечения влагопрочности образцов. Прессование проведено по разработанной технологии с использованием предложенной сетки. Опытные образцы бумаги по основным показателям отвечают требованиям ГОСТ Р 52354–2005 к изделиям из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения.

Ключевые слова: плотность укладки волокон, механическая прочность бумаги, влагоемкость, профилирующая сетка.

В С.-Петербургском государственном технологическом университете растительных полимеров разработаны технологический процесс и комплекс оборудования для промышленного производства бумаги и картона аэродинамическим способом [1]. Замена водной технологической среды на воздушную обеспечивает полную экологическую безопасность производства из-за отсутствия производственных стоков и вредных выбросов в атмосферу и позволяет уменьшить габариты оборудования, необходимого для формования полотна бумаги. В США, Канаде и странах Западной Европы эксплуатируются бумагоделательные машины, изготавливающие санитарно-гигиенические виды бумаги (tissue) методом напыления на движущуюся сетку сухих волокон целлюлозы, взвешенных в потоке сухого воздуха. Механическая прочность данных видов

бумаги, отличающихся повышенной пухлостью, обеспечивается введением в ее состав специальных связующих компонентов. Содержание связующих компонентов в волокнистом полуфабрикате составляет 10...30 %, что существенно увеличивает ее себестоимость.

Аэродинамическое формование бумаги (АДФ) осуществляется осаждением на сетке целлюлозных волокон из потока влажного воздуха при сохранении влажности сформованного слоя на уровне 30 %. Это обеспечивает возможность образования межволоконных связей без введения дополнительных упрочняющих добавок. Плотность укладки волокон в бумажном полотне на формирующей сетке не превышает 25 кг/м^3 . Низкая начальная плотность бумаги, сформованной методом АДФ, наиболее эффективно производить бумаги санитарно-гигиенического назначения, для которых характерны пухлость, мягкость и высокая впитывающая способность.

Для достижения необходимой механической прочности и высокой впитывающей способности в волокнистом слое создается регулярный рельеф из участков с различной плотностью укладки волокон [2] за счет прессования на специальной профилирующей сетке (см. рисунок).

Рыхлый участок с плотностью укладки волокон $80...100 \text{ кг/м}^3$ образуется в ячейке 2 профилирующей сетки, плотный участок с плотностью укладки волокон $700...750 \text{ кг/м}^3$ – на плоском участке 3. Участок, расположенный под

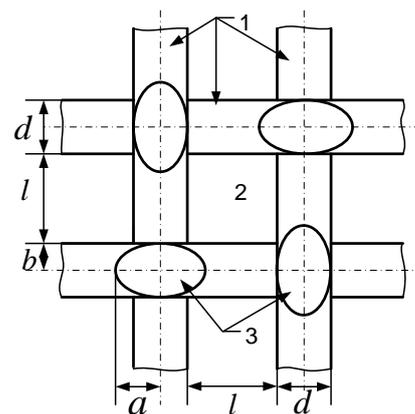


Схема профилирующей сетки: 1 – нити;
2 – ячейки; 3 – плоские участки нитей
(a , b – соответственно половина длины и ширины плоского участка; d – диаметр нитей; l – расстояние между нитями)

нитями 1 сетки между плотными участками, создает рельеф с изменяющейся по длине участка плотностью. В среднем плотность составляет $350...400 \text{ кг/м}^3$.

Проведен расчет параметров профилирующей сетки для формирования рыхлых участков и участков, обеспечивающих механическую прочность бумаги. Общая прочность при растяжении (F , Н/м) листа рельефной бумаги определяется участками с плотностью $700...750 \text{ кг/м}^3$:

$$F = k_n F_n \frac{S_n}{S_p},$$

где k_n – коэффициент пропорциональности;

F_n – прочность отдельного плотного участка, Н/м;

S_n – площадь плотных участков, м^2 ;

S_p – общая площадь листа рельефной бумаги, м^2 .

Участки с низкой плотностью укладки волокон практически не имеют прочности. Эти рыхлые участки обеспечивают высокую впитывающую способность изготавливаемой бумаги и

образуются в ячейках между нитями профилирующей сетки. Размеры отдельных плотных участков и расстояние между ними должны исключать возможность прохождения линии разрыва бумаги только по рыхлым участкам. Расстояние L между плотными участками, расположенными вокруг рыхлого участка, отвечает условию

$$L \leq \frac{\lambda_e}{2},$$

где λ_e – среднее расстояние между концами отдельного волокна в плоскости листа бумаги, м.

При соблюдении этого условия волокна соединяют между собой плотные участки и передают от участка к участку механические напряжения, возникающие при растяжении бумаги.

Эффективность передачи механических напряжений характеризуется коэффициентом k_n или долей волокон, расположенных в одном элементе профилирующей сетки, которые вовлечены в рыхлый участок ячейки 2 и в два ближайших уплотненных участка 3:

$$k_n = \frac{P_n}{P},$$

где P_n – часть периметра элемента сетки, проходящего по плоским участкам;
 P – суммарный периметр элемента профилирующей сетки.

Отношение площади плотных участков к общей площади листа рельефной бумаги, определяющее разрывную прочность бумаги, выражается через параметры профилирующей сетки (см. рисунок):

$$\frac{S_n}{S_p} = \frac{\pi a b}{(l + d)^2}.$$

Влагоемкость (U_s , кг воды/кг волокна) рельефной бумаги, состоящей из участков различной плотности укладки волокон, определяется зависимостью

$$U_s = U_o + \frac{\rho_w}{\rho_f} \sum_i \left[\frac{S_i}{S_p} \left(\frac{\rho_f}{\rho_i} - 1 \right) \right],$$

где U_o – влагосодержание волокон целлюлозы, кг воды/кг волокна;

ρ_w – плотность воды, кг/м³;

ρ_f – плотность волокон целлюлозы, кг/м³;

i – количество участков с одинаковой плотностью укладки волокон;

S_i – площадь участка, имеющего определенную плотность, м²;

ρ_i – плотность укладки волокон i -го участка, кг/м³.

Приведенные выше уравнения позволяют оценить параметры профилирующей сетки, необходимые для обеспечения прочности и влагоемкости рельефной бумаги.

Создание прочных межволоконных связей требует дополнительного увлажнения волокнистого слоя в плотных участках. Для этого сформованное полотно помещается между двух сеток:

профилирующей и увлажняющей. Использование увлажняющей сетки дает возможность минимизировать количество вводимой в бумажное полотно воды.

Увлажнение происходит при условии

$$\Delta P_{sh} > \Delta P_{net},$$

где ΔP_{sh} – давление капиллярного впитывания воды слоем волокон целлюлозы, Н/м²,

$$\Delta P_{sh} = \frac{4 \rho_i \sigma_w \cos \theta}{d_f \rho_f \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_f}\right)};$$

ΔP_{net} – давление капиллярного впитывания воды ячейками увлажняющей сетки, Н/м²,

$$\Delta P_{net} = \frac{4 \sigma_w \cos \theta_{net}}{d_{th} \varepsilon_{net}};$$

σ_w – поверхностное натяжение воды на границе с воздухом, Н/м;

θ – угол смачивания поверхности волокон водой, град;

θ_{net} – угол смачивания водой поверхности нитей увлажняющей сетки;

d_{th} – диаметр нитей увлажняющей сетки, м;

ε_{net} – пористость увлажняющей сетки.

Удельное количество свободной воды (Q_w , кг/м²), которое переносит увлажняющая сетка, зависит от параметров сетки (см. рисунок):

$$Q_w = \frac{d_{th} \rho_w}{\left(1 + \frac{l}{d_{th}}\right)^2}.$$

Для эффективного увлажнения слоя волокон удельное количество воды в увлажняющей сетке определяется условием

$$Q_w > q_0 \frac{S_{II}}{S_p} \frac{\rho_w}{\rho_f} \left(\frac{\rho_f}{\rho} - 1 \right),$$

где q_0 – удельный вес бумаги, кг/м²;

ρ – плотность укладки волокон, $\rho = 100$ кг/м³.

Капиллярное впитывание воды участками слоя волокон, расположенными под плоскими участками профилирующей сетки, определяется условием

$$380 < \Delta P_{net} < 880.$$

Выполнение этого условия обеспечивает избирательное увлажнение волокон только в уплотняемых участках. В результате сушка бумажного полотна после процесса прессования требует значительно меньших временных и энергетических затрат.

При прессовании и сушке полотна бумаги на профилирующей сетке по мере испарения воды из уплотненных участков образуются межволоконные связи, обеспечивающие механическую прочность полотна бумаги санитарногигиенического назначения.

На лабораторной установке АДФ периодического действия были отработаны режимы формования образцов бумаги из беленой сульфатной целлюлозы массой 30...50 г/м², избирательного увлажнения волокнистого слоя специальной сеткой и способы введения вспомогательных компонентов для обеспечения влагопрочности образцов (см. таблицу). Полученные образцы соответствовали требованиям ГОСТ Р 52354–2005, предъявляемым к изделиям из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения: образцы группы А отвечали свойствам бумаги туалетной, группы В – бумаги для полотенец и косметических салфеток.

При производстве бумаги методом АДФ наряду с малым потреблением воды и уменьшением габаритов оборудования можно ожидать снижения энергозатрат на роспуск полуфабриката и сушку бумаги. Изготовление бумаги для изделий бытового и санитарно-гигиенического назначения возможно как из первичного, так и из вторичного волокнистого сырья.

Свойства образцов бумаги санитарно-гигиенического назначения

Показатель качества бумаги	Группа А, однослойные	Группа В	
		однослойные	двухслойные
Разрывное усилие, Н:			
в сухом состоянии	3,4	5,3	5,0
во влажном состоянии	–	1,2	0,8
Впитываемость, мм:			
капиллярная	12	40	–
поверхностная	–	–	5
Масса 1 м ² , г	50	30	45

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2100508 РФ. Способ аэродинамического изготовления картона, писчей или печатной бумаги / О.А.Терентьев, В.М. Дробосюк; заявл. 08.12.1994; опубл. 27.12.1997, Бюл. № 36.
2. Пат. 2159304 РФ. Аэродинамический способ изготовления санитарно-гигиенической бумаги / В.М. Дробосюк; заявл. 15.12.1998; опубл. 20.11.2000, Бюл. №32.

Поступила 18.07.13

Aerodynamic Forming of Tissue

V.M. Drobosyuk, *Candidate of Chemistry, Senior Research Officer*

G.K. Malinovskaya, *Candidate of Chemistry*

L.V. Litvinova, *Candidate of Chemistry, Senior Research Officer*

Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers, Ivan Chernyh str., 4, Saint Petersburg, 198095, Russia; e-mail: vdrobosyuk@yandex.ru

The method of aerodynamic paper forming, an alternative papermaking method is used in the research. Paper web is formed through depositing pulp fibers from a wet air flow on a wire while maintaining moisture content of the layer formed at the rate of 30%, ensuring interfiber bonding without any strengthening additives. The use of the aerodynamic forming method in papermaking is expected to decrease power inputs for repulping and paper drying processes in addition to small water consumption. The density of fiber packing in the web is no more than 25 kg/m^3 , allowing the most efficient sanitary tissue making with the aerodynamic forming method. These paper grades are notable for their bulk, softness and high absorbability. In pressing on a wire the segments in the fibrous layer are formed, which contribute strength properties and moisture capacity of paper. Due to the distinctions between the aerodynamic paper forming technology and the traditional method some parameters of the wires used presently in the pulp and paper industry were changed. Calculation of shaping wire parameters is given for formation of the relief consisting of the segments with various density of fiber packing in paper web while pressing fibrous layer. Bulky segments are responsible for high paper absorbability; they are formed in the cells between sharing wire filaments. Dense segments are responsible for paper strength properties. Sizes of dense segments and distances between them eliminate the possibility for paper to be broken in bulky segments only. The fibers are additionally moistened for forming strong interfiber links. The conditions are given for capillary water to be absorbed by dense segments of paper web solely excluding moistening of the whole fibrous layer. Paper samples are formed with the aerodynamic method at the batch device. Conditions for paper sample forming with the use of bleached kraft pulp of apparent weight $30 - 50 \text{ g/m}^2$, selective moistening of their fibrous layers as the well as methods of introducing aids ensuring wet strength of the samples were determined. Pressing was made with the developed technology using the offered wire. Main indices of the test paper samples meet the GOST R 5235–2005 requirements for tissue items.

Keywords: fiber packing density, paper strength, water-absorbing capacity, profiling wire.

REFERENCES

1. Terentiev O.A., Drobosyuk V.M. *Sposob ajerodinamicheskogo izgotovlenija kartona, pischej ili pechatnoj bumagi* [Aerodynamic Method of Manufacturing of Paperboard, Writing and Printing Paper]. Patent RF, no. 2100508, 1994.
2. Drobosyuk V.M. *Ajerodinamicheskij sposob izgotovlenija sanitarno-gigienicheskoj bumagi* [Aerodynamic Method of Manufacturing of Sanitary Tissue]. Patent RF, no. 2159304, 1998.

Received on July 18, 2013

