

тионной парафиновой дисперсией (с массовым содержанием 3 %). Из данных табл. 3 следует, что сульфатная небеленая и сульфитная беленая целлюлозы успешно проклеиваются катионной дисперсией в нейтрально-щелочной среде. Для сульфитной небеленой целлюлозы отмечен высокий показатель впитываемости при одностороннем смачивании, что вызвано присутствием в ней лигносульфонатов и ее низкой адсорбционной активностью по отношению к проклеивающим веществам.

Следовательно, катионные водорастворимые полиэлектролиты обладают способностью активизировать процесс гетероадагуляции дисперсных проклеивающих частиц в волокнистой массе. Добавки катионных полиэлектролитов позволяют получить бумагу с высоким содержанием гидрофобизирующих веществ без снижения ее прочностных показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Валендо П. Ф. Исследование факторов процесса удержания катионной парафиновой дисперсии бумажной массой // Лесн. журн.— 1988.— № 5.— С. 88—91.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Валендо П. Ф., Осипов А. В. Использование высокомолекулярного полиэтиленполиамиона в процессе подготовки бумажной массы // Лесн. журн.— 1985.— № 5.— С. 92—94.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Валендо П. Ф., Осипов А. В. Оптимизация проклеивающего состава для влагопрочной бумаги // Химия и технология бумаги: Межвуз. сб. науч. тр.— Л.: ЛТА, 1984.— С. 77—82. [4]. Фляте Д. М. Свойства бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 77 с.

Поступила 25 мая 1987 г.

УДК 66.047.31 : 630\*866

### ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ СУШКЕ ДУБИЛЬНОГО ЭКСТРАКТА

*В. М. РУСИНОВ, Б. Д. ЛЕВИН*

Сибирский технологический институт

Одно из узких мест производства дубильного экстракта — его обезвоживание. Выпускаемый в виде глыб экстракт при влажности выше 20 % в теплое время года размягчается, при хранении и транспортировке выдавливается из мешков и сливается в общую массу. Значительная часть упаковочной бумаги пристает к экстракту, загрязняя дубильные растворы на кожевенных заводах, что влечет за собой значительные потери танинов. В случае обезвоживания раствора экстракта в распылительной сушилке качество продукта значительно выше, однако процесс протекает во взрыво-пожароопасных условиях, потери также велики [5].

Продукт можно получить в виде крошки при использовании сушилки, в которой материал, нанесенный на бесконечную металлическую обогреваемую с другой стороны ленту, приобретает от нее тепло за счет теплопроводности. При этом возникает возможность увеличения теплового потока путем обдува горячим газом открытой поверхности сушимого материала. В литературе имеются сведения о целесообразности такого теплоподвода [4, 6, 7, 9, 10].

С целью оценки соотношения тепловых потоков, сообщаемых материалу с разных сторон, проведен эксперимент по определению коэффициента теплоотдачи при лобовом обдуве плоской поверхности газовым потоком.

№ п/п	W		t		l		b		h		$\frac{\alpha, \text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$	$\Delta P, \text{Па}$	VA
	Код	м/с	Код	°C	Код	м	Код	м	Код	м			
1	+	50	+	200	+	0,024	+	0,0016	+	0,051	186	606	0,503
2	+	30	+	200	+	0,024	+	0,0016	-	0,017	210	396	0,635
3	+	50	-	100	+	0,024	+	0,0016	-	0,017	272	1	0,481
4	+	30	-	100	+	0,024	+	0,0016	+	0,051	158	339	0,567
5	+	50	+	200	-	0,008	+	0,0016	-	0,017	348	1,615	0,486
6	+	30	+	200	-	0,008	+	0,0016	+	0,051	184	246	0,643
7	+	50	-	100	-	0,008	+	0,0016	+	0,051	226	714	0,572
8	+	30	-	100	-	0,024	+	0,0008	+	0,017	262	770	0,610
9	+	50	+	200	+	0,024	-	0,0008	-	0,017	175	637	0,505
10	+	30	+	200	+	0,024	-	0,0008	+	0,051	91	201	0,496
11	+	50	-	100	+	0,024	-	0,0008	+	0,051	137	403	0,520
12	+	30	-	100	+	0,024	-	0,0008	-	0,017	146	351	0,544
13	+	50	+	200	-	0,008	-	0,0008	+	0,051	159	389	0,563
14	+	30	+	200	-	0,008	-	0,0008	+	0,017	219	426	0,650
15	+	50	-	100	-	0,008	-	0,0008	-	0,017	252	952	0,537
16	+	30	-	100	-	0,008	-	0,0008	+	0,051	113	181	0,547
17	+	50	0	150	0	0,016	0	0,0012	0	0,034	218	659	0,548
18	+	30	0	150	0	0,016	0	0,0012	0	0,034	172	206	0,658
19	0	40	+	200	0	0,016	0	0,0012	0	0,034	212	452	0,790
20	0	40	-	100	0	0,016	0	0,0012	0	0,034	211	505	0,600
21	0	40	0	150	+	0,024	0	0,0012	0	0,034	183	437	0,581
22	0	40	0	150	-	0,008	0	0,0012	0	0,034	232	579	0,620
23	0	40	0	150	0	0,016	+	0,0016	0	0,034	233	598	0,648
24	0	40	0	150	0	0,016	-	0,0008	0	0,034	164	301	0,560
25	0	40	0	150	0	0,016	0	0,0008	+	0,051	187	253	0,634
26	0	40	0	150	0	0,016	0	0,0012	-	0,017	266	665	0,667
27	0	40	0	150	0	0,016	0	0,0012	0	0,034	211	434	0,660

Примечание. VA — обобщенный параметр оптимизации.

Воздух, подаваемый вентилятором, нагревали в калорифере до заданной температуры. Попадая в щелевой элемент, он дробился на плоские осесимметричные струи и, выходя из щелей, ударялся о медную пластину (размером 0,14 × 0,485 м), отдавая ей тепло, которое отводилось водой, омывающей пластину с обратной стороны.

Выбор медной пластины в качестве преграды объясняется тем, что для точного определения кинетических характеристик теплообмена скорость снятия тепла с обогреваемой поверхности должна быть выше скорости его подвода.

Представляем также, что гидродинамическая ситуация, характер взаимодействия и раскелания струй газа при их контакте с медной пластиной удовлетворительно имитируют условия, создающиеся на поверхности дубильного экстракта, образующего на бесконечной ленте при подаче его в виде водного раствора с содержанием твердой фазы 300 г/л достаточно ровный и гладкий слой. При проведении опытов контролировали

расход газа, его температуру на выходе из щелей, расход воды, ее начальную и конечную температуру, температуру медной пластины в 12 точках.

Эксперимент и последующую обработку результатов проводили с использованием математического планирования по традиционным методам [2, 3, 8].

В качестве переменных факторов плана Хартли-5 были выбраны: температура газового потока на выходе из щелей  $t$ , скорость потока на выходе из щелей  $W$ , расстояние от щелей до пластины  $l$ , ширина щели  $b$ , расстояние между щелями  $h$ . Выходными параметрами являлись коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , гидравлическое сопротивление узла обдува  $\Delta P$ .

Матрица планирования эксперимента и результаты ее реализации даны в таблице.

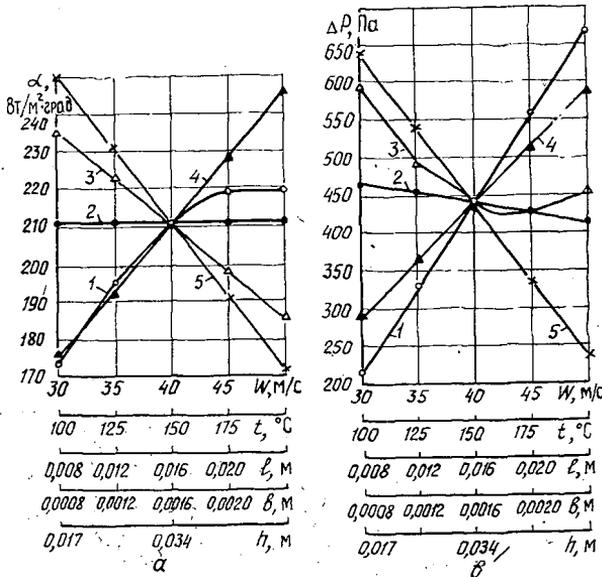
Уравнения регрессии в кодированных значениях переменных имеют вид

$$\alpha = 211,2 + 23,2W - 24,3l + 34,7b - 39,3h - 6,7tl + 10,4lh - 14,9W^2; \quad (1)$$

$$\Delta P = 439,6 + 226,9W - 26,2t - 70,9l + 148,3b - 205,9h + 20,3Wt - 28,9Wl + 74,3Wb - 84Wh - 33,6tl - 26,4lb + 73,1lh - 57bh + 59,7t^2 + 89,2l^2. \quad (2)$$

Графические зависимости коэффициента теплоотдачи и гидравлического сопротивления системы обдува от переменных факторов представлены на рисунке.

Все графики построены при стабилизации четырех факторов на основном уровне.



Зависимости выходных параметров от переменных факторов:  $\alpha$  — коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от  $W$  (кривая 1), от  $t$  (2), от  $l$  (3), от  $b$  (4), от  $h$  (5);  $\Delta P$  — гидравлического сопротивления узла обдува  $\Delta P$  от  $W$  (кривая 1), от  $t$  (2), от  $l$  (3), от  $b$  (4), от  $h$  (5)

Анализ графиков показывает, что коэффициент  $\alpha$ , как и следовало ожидать, увеличивается с ростом скорости потока, ширины щелей, уменьшением расстояния от щелей до пластины и расстояния между щелями вследствие большей турбулизации среды при названных условиях

(рис. а). Постоянство коэффициента  $\alpha$  при изменении температуры газового потока кажется противоречивым, так как с ростом температуры снижается плотность и растет вязкость газа, т. е. критерий  $Re$  уменьшается. Однако из литературных данных [1] следует, что влияние температуры газа на  $\alpha$  незначительно, что достаточно согласуется с полученными результатами.

Графические зависимости  $\Delta P$  от переменных факторов позволяют сделать вывод, что гидравлическое сопротивление узла обдува повышается с увеличением скорости потока, ширины щели, снижением температуры воздуха, расстояния от кромки щели до обогреваемой поверхности, а также расстояния между щелями, что также достоверно объясняется возрастанием турбулентности потока (рис. б).

Оптимальные условия теплообмена определяли с использованием среднеарифметического обобщенного параметра оптимизации  $V_A$  [8]

$$V_A = \frac{\sum_{j=1}^p \delta_j (\varphi_j(X) - Y_j^{(-)}) / (Y_j^{(+)} - Y_j^{(-)})}{\sum_{j=1}^p \delta_j}, \quad (3)$$

где  $\delta_j$  — массы соответствующих выходных параметров;  
 $\varphi_j(X)$  — отклик  $Y_j$  в точке  $X$ ;  
 $Y_j^{(+)}$  — наибольшее значение  $j$ -го выходного параметра в пределах изучаемой области  $X$ ;  
 $Y_j^{(-)}$  — наименьшее значение  $j$ -го выходного параметра в пределах изучаемой области  $X$ ;  
 $j$  — индекс номера опыта;  
 $p$  — общее число опытов.

Массы выходных параметров были выбраны одинаковыми и равными 0,5. Значения  $V_A$  для опытов плана Хартли-5, вычисленные по формуле (3), представлены в таблице.

Зависимость параметра  $V_A$  от переменных факторов аппроксимировали полиномом второго порядка, после чего путем квадратичного программирования вычисляли значения  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ , соответствующие максимуму  $V_A$ .

Получено, что оптимальные условия теплообмена на лабораторной установке достигаются при  $W = 36$  м/с,  $t = 100$  с,  $l = 14,4$  мм,  $b = 1,2$  мм,  $h = 17$  мм. В этих условиях коэффициент теплоотдачи от газа к пластине равен  $232$  Вт/м<sup>2</sup> · град, а  $\Delta P = 638$  Па.

С учетом высокой скорости газа на выходе из щели зону обдува экстракта следует располагать на участке, где слой уже образован, крепко связан с поверхностью нагрева, но имеет высокую влажность. Существует возможность снижения  $W$ , связанная, естественно, с известным ухудшением условий теплообмена.

Использование обдува при сушке на греющей поверхности возможно также при сушке продуктов химической переработки древесины: бумаги, картона и др.

С целью обобщения экспериментальных данных полученные результаты представлены в критериальной форме

$$Nu = f(Re, Pr, \Pi_1, \Pi_2);$$

$$Eu = f(Re, \Pi_1, \Pi_2).$$

Критерии Нуссельта ( $Nu$ ), Рейнольдса ( $Re$ ), Прандтля ( $Pr$ ) и Эйлера ( $Eu$ ) определяли с использованием значений физических свойств воздуха при соответствующих температурах. В качестве опре-

деляющего линейного размера выбрано расстояние от щели до пластины  $l$ , в значительной степени определяющее характер взаимодействия газовых струй с поверхностью.

Параметрические критерии

$$\Pi_1 = l/b; \quad \Pi_2 = h/b.$$

Полученные выражения имеют вид

$$Nu = 0,165 Re^{0,706} Pr^{-1,11} \Pi_1^{0,027} \Pi_2^{-0,418}; \quad (4)$$

$$Eu = 39 Re^{-0,257} \Pi_1^{0,06} \Pi_2^{-0,691}.$$

Среднее отклонение значений коэффициента  $\alpha$ , рассчитанных по уравнению (4), от опытных составляет 10,5 %.

Результаты проведенной работы показывают, что коэффициент теплоотдачи в системе поток—поверхность при лобовом обдуве со скоростями 30...50 м/с имеет величину порядка 100...300 Вт/м<sup>2</sup> × град, что сопоставимо с величинами  $\alpha$ , достигаемыми при обогреве традиционными теплоносителями.

Использование открытой поверхности материала для добавочного подвода тепла струей горячего газа позволит также облегчить условия транспорта испаренной влаги.

Таким образом, сушка материала на бесконечной ленте с комбинированным подводом тепла позволит, за счет интенсификации теплообмена, уменьшить продолжительность процесса, т. е. либо увеличить производительность аппаратуры, либо снизить ее массу и габариты.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аверкин А. Г. Сушка целлюлозы на бесконечной ленте с двухфазным теплоносителем: Дис... канд. техн. наук—Томск, 1981.—167 с. [2]. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии.—М.: Высш. школа, 1985.—327 с. [3]. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях.—М.: Финансы и статистика, 1981.—263 с. [4]. Дыбан Е. П., Мазур А. И. Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел.—Киев: Наукова думка, 1982.—303 с. [5]. Егоров Б. А., Якадин А. И. Производство дубильных экстрактов.—М.: Легкая индустрия, 1971.—335 с. [6]. Красников В. В. Кондуктивная сушка.—М.: Энергия, 1973.—272 с. [7]. Красников В. В., Данилов В. А. Сушка бумаги и картона сопловым обдувом // Бум. пром-сть.—1966.—№ 2. [8]. Пен Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства.—Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1982.—189 с. [9]. Юдаев Б. Н., Михайлов М. С., Савин В. К. Теплообмен при взаимодействии струй с преградами.—М.: Машиностроение, 1977.—248 с. [10]. Юдаев Б. Н., Сальников А. М., Брянцев В. Н. Некоторые особенности теплообмена блока осесимметричных струй с плоской преградой // Науч. тр. Моск. лесотехн. ин-та, 1985.—№ 173.—С. 51—55.

Поступила 25 мая 1988 г.

УДК 676.16.014.84 : 543.422.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ УПОРЯДОЧЕННОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МЕТОДОМ ИК ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

С. Ю. МАСЛОВ, Д. А. СУХОВ

Ленинградский технологический институт ЦБП

Понятия целлюлоза I и целлюлоза II возникли в рентгенографии для обозначения двух типов кристаллической решетки целлюлозы. Тре-