

риал, обладающий повышенными прочностными характеристиками. Постоянное присутствие пластификатора — мочевины — в древесине дает возможность повышать давление не в начальный период, а постепенно на всем протяжении сушки; технологическая деформация линейно зависит от нагрузки и определяется степенью податливости материала.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Вигдорович А. И., Сагалаев Г. В. Применение древлпастов в машиностроении.— М.: Машиностроение, 1977.— 150 с. [2]. Зиемелис А. Э., Берзиньш Г. В., Скрупской В. П. Некоторые исследования деформативных свойств древесины в процессе одновременного уплотнения и сушки // Современные проблемы древесиноведения.— 1971.— С. 189—190. [3]. Нысенко Н. Т., Генель С. В. Пластификация цельной древесины.— М.; Л.: Гослесбуиздат, 1958.— 252 с. [4]. Хухрянский П. Н. Прессование древесины.— М.: Лесн. пром-сть, 1964.— 351 с. [5]. Шамаев В. А., Гребенчиков А. В. Получение дестам совмещенным способом // Современные проблемы древесиноведения.— Воронеж, 1981.— С. 280—282.

Поступила 16 сентября 1987 г.

УДК 66.047.9 : 518.5

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ КОРЫ ЕЛИ ПО ПЛАНУ ПФЭ 2⁴

В. Л. ЛОМАЗОВ, Н. В. КАЗАЧИНСКАЯ, А. А. БОРДОНОС

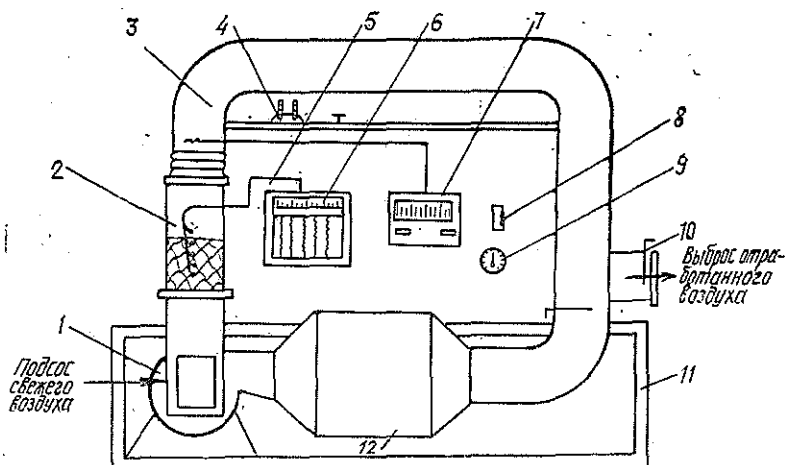
Институт технической теплофизики АН УССР

Киевский политехнический институт

Комплексное использование сырья и внедрение безотходных технологий — актуальная задача для целлюлозно-бумажных комбинатов и лесопромышленных комплексов. Из образующейся при окорке балансов массы коры применяют лишь небольшую часть (около 15 млн т/год [3]), а остальную массу сбрасывают в короотвалы. В Институте технической теплофизики АН УССР (ИТТФ) разработана технология сушки коры ели, образующейся при механизированной окорке балансов, для дальнейшей ее переработки и извлечения из нее ценных продуктов — дубителей для кож. Основной процесс этой технологии — сушка коры до влажности 16...22 %, осуществляемая в конвейерной сушилке ЛМК [4].

Для совершенствования процесса сушки — нахождения оптимальных условий его проведения — и самой сушилки необходимо иметь математическую модель процесса. При мало изученном механизме тепло- и влагообмена сушки коры ели составление такой модели — довольно сложная задача. На практике обычно прибегают к упрощенным методам, среди которых важное место занимают исследования кинетики сушки, позволяющие определить важные характеристики — максимальную скорость сушки, продолжительность отдельных периодов и всего процесса и др. — при изменении основных параметров сушильного агента и сушимого материала: температуры и скорости теплоносителя, размеров частиц, высоты слоя, с которой однозначно связана удельная нагрузка сушильной камеры (конвейерной ленты).

В настоящее время широко применяют методы математического планирования эксперимента, позволяющие резко сократить число опытов и оценить одновременное воздействие нескольких факторов при поиске оптимальных условий проведения процесса [1, 2]. Для получения математической модели процесса сушки коры ели был спланирован полный факторный эксперимент (ПФЭ) 2⁴.



Опыты проводили на лабораторной экспериментальной установке (см. рис.), предназначенной для исследования кинетики сушки в продуваемом слое. Установка состоит из вентиляционно-калориферного контура, который включает вентилятор 1 (крыльчатка его насажена на вал электродвигателя привода ПМУ 9), рабочую камеру 2, воздуховоды 3, электрокалорифер 12. Температуру воздуха на входе в рабочую камеру измеряли и регулировали с помощью термодпары 5 и потенциометра КВП 7, температуру материала в камере регистрировали с помощью термодпар 6 и потенциометра КСП-2 6. Влагосодержание воздуха в контуре контролировали психрометром 4, скорость воздуха в рабочей камере регулировали с помощью привода ПМУ, кратность рециркуляции — шиберами 10; 8 — пусковой автомат; 11 — станина.

Методика проведения опытов состояла в следующем. В соответствии с программой эксперимента устанавливали определенные значения температуры и скорости теплоносителя, в рабочую камеру загружали требуемое количество коры и включали секундомер. Периодически рабочую камеру помещали на весы (первые 10 мин с интервалом 2 мин, последующие 20 мин с интервалом 5 мин, затем с интервалом 10 мин) для измерения убыли массы. Сушку вели до постоянной массы. Начальную и конечную влажность коры определяли методом высушивания до абс. сухой массы по ГОСТ 0663—74.

Эксперимент вели на двух уровнях при одновременном варьировании всех четырех факторов, значения которых обусловлены технологическими возможностями практического осуществления процесса.

Проведенные ранее исследования по кинетике сушки коры ели и по влиянию параметров сушильного агента и материала на скорость процесса [5] позволили наметить пределы изменения факторов, выделить уровни и интервалы их варьирования с учетом как технологических возможностей проведения процесса, так и оказываемого влияния выбранных факторов в намеченных пределах изменения.

В качестве выходного параметра была принята продолжительность сушки τ в минутах. Ранее проведенные исследования [5] позволяют считать, что существенное влияние на выходную величину τ оказывают следующие факторы: температура воздуха T , °С; скорость воздуха W , м/с; высота слоя материала H , мм; длина кусочков коры l , мм. Обозначения факторов процесса, их уровни и интервалы варьирования представлены в табл. 1, матрица планирования ПФЭ 2⁴, результаты эксперимента и значения продолжительности сушки, рассчитанные по уравнению регрессии, — в табл. 2.

Математическую модель процесса сушки предполагали искать в виде уравнения регрессии

$$\begin{aligned} \hat{\tau} = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + \\ & + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + \\ & + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4. \end{aligned} \quad (1)$$

Таблица 1

Уровень варьирования факторов	Обозначение	$T, ^\circ\text{C}$	$W, \text{ м/с}$	$H, \text{ мм}$	$l, \text{ мм}$
		x_1	x_2	x_3	x_4
Основной	0	100	1,0	75	40
Верхний	+	120	1,25	100	60
Нижний	-	80	0,75	50	20
Интервал варьирования		20	0,25	25	20

Таблица 2

№ п/п	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	τ_1	τ_2	$\bar{\tau}$	$\hat{\tau}$
1	+	+	+	+	+	48	50	49	49,9
2	+	-	+	+	+	109	111	110	109,4
3	+	+	-	+	+	76	74	75	75,6
4	+	-	-	+	+	163	159	161	160,1
5	+	+	+	-	+	41	39	40	40,4
6	+	-	+	-	+	94	96	95	96,9
7	+	+	-	-	+	71	69	70	68,1
8	+	-	-	-	+	138	142	140	139,6
9	+	+	+	+	-	38	40	39	38,1
10	+	-	+	+	-	85	83	84	84,6
11	+	+	-	+	-	68	70	69	68,4
12	+	-	-	+	-	128	132	130	130,9
13	+	+	+	-	-	32	36	34	33,6
14	+	-	+	-	-	80	78	79	77,1
15	+	+	-	-	-	63	65	64	65,9
16	+	-	-	-	-	113	117	115	115,4

Весь расчет был выполнен на ЭВМ «Мир-2».

Оценку дисперсии воспроизводимости или ошибки опыта проводили по параллельным опытам; построчные дисперсии были проверены на однородность по критерию Кохрена; расчетное значение критерия $G_p = 0,129$ и табличное $G_r = 0,46$ — для уровня значимости $q = 0,05$, степеней свободы $f_1 = 1$ и $f_2 = 16$. Так как $G_p < G_r$, то дисперсии однородны. Дисперсия воспроизводимости S_y^2 и дисперсия коэффициентов S_b^2 уравнения (1) оказались соответственно равными 3,875 и 0,121.

Расчитанные коэффициенты уравнения регрессии по известным формулам [1, 2] были проверены на значимость по критерию Стьюдента ($t_r = 2,12$ для уровня значимости $q = 0,05$ и степеней свободы $f = 16$) и t -отношению. В результате проверки коэффициенты b_{24} , b_{234} и b_{1234} оказались незначимыми, и уравнение регрессии приняло окончательный вид:

$$\begin{aligned} \hat{\tau} = & 84,625 - 29,625x_1 - 18,375x_2 + 5,0x_3 + 7,875x_4 + 3,875x_1x_2 - \\ & - 2,0x_1x_3 - 4,375x_1x_4 - 0,75x_2x_3 + 1,25x_3x_4 + 1,25x_1x_2x_3 + \\ & + 1,125x_1x_2x_4. \end{aligned} \quad (2)$$

Дисперсия адекватности полученного уравнения составила $S_{ад}^2 = 9,401$ при степенях свободы $f_{ад} = 4$. Проверка на адекватность уравнения (2) дала расчетное значение критерия Фишера $F_p = 2,43$, что меньше табличного значения ($F_r = 3,01$) для уровня значимости $q = 0,05$ и степеней свободы $f_{ад} = 4$ и $f_1 = 16$. Это позволяет заключить, что полученное уравнение регрессии (2) адекватно описывает процесс сушки коры ели.

Уравнение регрессии с переменными в натуральном масштабе выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \hat{\tau} = & 157,75 - 0,32T - 22,0W + 1,62H + 2,425l - \\ & - 0,425TW - 0,014TH - 0,022Tl - 1,12WH + 0,0025Hl - \\ & - 1,125Wl + 0,017WH + 0,011TWl. \end{aligned} \quad (3)$$

Анализ уравнения (2) по величине линейного коэффициента и его знаку при каждом факторе позволяет заключить, что на продолжительность сушки коры ели более всего оказывают влияние температура и скорость воздуха, причем с увеличением каждого из этих факторов продолжительность сушки уменьшается. Далее по уменьшению степени влияния на выходную величину идет длина кусочков коры, затем высота слоя, причем с увеличением каждого из этих факторов продолжительность сушки увеличивается.

Рассмотрим двойные эффекты взаимодействия. Оказывается, что одновременное увеличение или уменьшение температуры и скорости, а также высоты слоя и длины кусочков коры ели приводит к возрастанию длительности сушки. Так как знаки у линейных эффектов x_3 и x_4 и у двойного эффекта взаимодействия x_3x_4 одинаковы, то для уменьшения продолжительности сушки необходимо одновременно уменьшить высоту слоя и длину кусочков коры.

При линейных эффектах x_1 и x_2 , имеющих знак минус, и двойном эффекте взаимодействия x_1x_2 с положительным знаком уменьшение выходной величины все равно возможно при одновременном увеличении x_1 и x_2 , так как коэффициенты при линейных эффектах значительно больше, чем у двойного эффекта взаимодействия x_1x_2 . Двойной эффект взаимодействия x_1x_3 отрицателен при разных знаках у линейных эффектов ($-yx_1$ и $+yx_3$).

Учитывая коэффициенты при линейных эффектах и у двойного эффекта взаимодействия, можно заключить, что увеличение температуры и уменьшение высоты слоя будут способствовать ускорению процесса сушки. Подобные выводы можно сделать при анализе влияния двойных взаимодействий x_1x_4 и x_2x_3 . Влияние тройных эффектов взаимодействия $x_1x_2x_3$ и $x_1x_2x_4$ благоприятно при одновременном увеличении x_1 и x_2 и уменьшении x_3 и x_4 .

Достоинство полученной полиномиальной математической модели состоит в том, что хотя она и не отражает физической картины процесса, тем не менее, позволяет находить оптимальные условия его протекания. В данном случае статистическую математическую модель можно положить в основу оптимизации процесса сушки коры ели в конвейерных сушилках.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.— М.: Наука, 1971.— 283 с. [2]. Бондарь А. Г., Статюха Г. А. Планирование эксперимента в химической технологии.— Киев: Вища школа, 1976.— 184 с. [3]. Веретенник Д. Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 120 с. [4]. Громов В. Г., Қирақосьянц М. Х., Ломазов В. Л. Разработка технологии сушки коры ели — отходов целлюлозно-бумажных комбинатов и лесопромышленных комплексов // Состояние и перспективы развития сушки древесины: Тез. докл. к Всесоюз. науч.-техн. совещанию.— Архангельск, 1985.— С. 92—95. [5]. Ломазов В. Л. Исследования кинетики сушки коры ели // Состояние и перспективы развития сушки древесины: Тез. докл. к Всесоюз. науч.-техн. совещанию.— Архангельск, 1985.— С. 73—76.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.817-41

ОСАЖДЕНИЕ САПРОПЕЛЕВЫХ ЧАСТИЦ
НА ДРЕВЕСНЫХ ВОЛОКНАХ ПРИ ПРОКЛЕЙКЕ

В. Б. СНОПКОВ, Т. А. СНОПКОВА, Т. В. СУХАЯ

Белорусский технологический институт

Ранее было показано, что для проклейки древесноволокнистых плит (ДВП) можно применять сапропель — вещество биогенного происхождения, образующееся на дне пресноводных водоемов. Проклейка особенно эффективна при использовании в качестве осадителей катионных полиэлектролитов: полиэтиленимина, катионного сополимера амифлока и закрепителя У-2 [5]. В этом случае достигаются наиболее высокие физико-механические показатели ДВП. В данной работе авторы попытались объяснить отмеченное явление.

Известно [4, 9, 14], что катионные полиэлектролиты при введении в древесноволокнистую или бумажную массу вызывают флокуляцию древесных (целлюлозных) волокон, ускоряют обезвоживание массы и снижают потери мелких волокон и частиц проклеивающих дисперсий при отливе. Замечено [11, 14, 15], что флокуляция наступает при приближении компонентов волокнистой массы к изоэлектрическому состоянию, т. е. является прямым следствием изменения электрокинетического потенциала (ζ -потенциала) волокон. Изучению механизма флокуляции водных дисперсий целлюлозы катионными полиэлектролитами посвящен целый ряд работ советских [3, 10] и зарубежных [7, 8, 12, 13] авторов. Но для древесноволокнистой массы исследования не проводили.

Древесноволокнистая масса, по сравнению с целлюлозной, имеет ряд особенностей, к которым следует, прежде всего, отнести грубый помол массы и большую неоднородность размеров отдельных волокон. Поэтому интересно было проследить изменение электрокинетического потенциала древесных волокон различного фракционного состава при обработке их катионным полиэлектролитом.

В опытах использовали волокна, полученные на лабораторном дефибраторе из древесины березы.

Разделение волокон на фракции производили с помощью фракционатора древесной массы (ФДМ). Потенциал определяли методом протекания [6] для волокон, удержанных на сетках № 9 (грубая фракция), № 20 (средняя фракция) и № 40 (мелкая фракция).

На рис. 1 приведена зависимость ζ -потенциала волокон различных фракций от количества закрепителя У-2, введенного в древесноволокнистую массу.

При увеличении дозировки закрепителя У-2 от 0 до 0,30 % ζ -потенциал волокон возрастает. Чем мельче фракция волокон, тем быстрее это происходит. При дальнейшем введении полиэлектролита (от 0,30 до 0,65 %) электрокинетический потенциал мелких волокон уменьшается, средних — сохраняется постоянным, а крупных — продолжает увеличиваться с прежней скоростью. Повышение дозировки У-2 свыше 0,65 % вновь приводит к возрастанию ζ -потенциала волокон, причем скорость этого возрастания постепенно выравнивается для всех фракций.