

димому, со сменой режимов течения суспензии при возрастании частоты вращения ротора сортировки. С переходом в турбулентный режим длинные тонкие включения (щепки, «спички» и т. п.), ориентирующиеся вдоль щели, дезориентируются, что улучшает эффективность их отделения.

На основании проведенных исследований установлено, что при сортировании суспензий средней концентрации на динамической щели обеспечивается удовлетворительная для практического применения эффективность сортирования. На производительность процесса в наибольшей степени влияет перепад давления на сортирующей щели, а также диаметр ротора и ширина щели.

В заключение необходимо отметить, что такие преимущества сортировок с динамической сортирующей щелью, как высокая производительность и надежность в сочетании с вполне удовлетворительной эффективностью отделения грубого сора обуславливают целесообразность их применения прежде всего в потоках непрерывной варки для работы под давлением варочного котла. В настоящее время подобное оборудование разрабатывает НИИЦмаш.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. А. с. 1595979 СССР, МКИ<sup>4</sup> Д 21 Д 5/181, 5/18. Сортировка волокнистой суспензии / С. И. Ворошилов, А. А. Вдовин (СССР).— № 3947537/23—12; Заявлено 29.08.85; Оpubл. 30.09.90. Бюл. № 36 // Открытия. Изобретения.— 1990.— № 36.— С. 129—130. [2]. Преминин В. Ф.; Ворошилов С. И. Некоторые особенности поведения волокнистой массы средней концентрации при ее сортировании // Новое высокопроизводительное оборудование для полимерной и бумагоделательной промышленности: Сб. научн. тр. / Тамбов, ВНИИРТмаш.— 1989.— С. 171—176. [3]. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа.— М.: Финансы и статистика, 1983.— 302 с. [4]. Шапиро В. О., Пономарев О. И., Ляпина Ф. Д. Новые технологические процессы и оборудование, применяемое за рубежом: (Обзор).— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986.— 48 с. [5]. Grundström, K.—J., Norman B., Pettersson B. A highconsistency pressure knotter // TAPPI J.— 1980.— Vol. 63, N 9.— P. 77—79. [6]. Medium consistency technology: the MG-screen / J. Dullichsen, B. Greenwood, E. Härkönen, O. Ferritius, G. Tistad // TAPPI J.— 1985.— Vol. 68, N 11.— P. 54—58. [7]. Sunds Defibrator DKA Dick Knotter // Paper Trade Journal.— 1985.— Vol. 169, N 1.— P. 29.

Поступила 15 июля 1991 г.

УДК 66 : 047.4/5 + 66.047.82 : 547.992.3

### ВЛИЯНИЕ МЕТОДА И УСЛОВИЙ СУШКИ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

Б. Д. ЛЕВИН

Сибирский технологический институт

При сушке гидролизного лигнина различными способами [2, 3, 5] параллельно со снижением влажности имеет место уменьшение размера частиц материала. Ранее установлено [3], что при сорбционной сушке обезвоживание идет весьма интенсивно, продолжительность пребывания материала в зоне сушки невелика, а сам процесс протекает в условиях взрыво- и пожаробезопасности. Кроме того, сухой материал на выходе из сушилки смешан с гранулами сорбента, поэтому его дальнейшее использование связано с необходимостью разделения смеси. Нами проведена оценка влияния метода и режимных условий сушки на степень измельчения материала.

Во всех опытах использовали фракцию гидролизного лигнина, прошедшую сквозь сито с отверстиями диаметром 6 мм. Начальная относительная влажность лигнина 62...65 %, конечная — 7...10 %.

После сушки при всех исследованных режимах определяли гранулометрический состав и средний диаметр частиц в пробах материала, отбираемых методом квартования. Степень измельчения  $i$  гидролизного лигнина при сушке в заданных конкретных условиях вычисляли из отношения среднего диаметра частиц соответствующей пробы к среднему диаметру частиц лигнина в пробе, высушенной на воздухе в неподвижном слое при комнатной температуре.

Зависимость дисперсности частиц материала от температуры сушки  $t$  устанавливали путем выдерживания гидролизного лигнина в неподвижном слое в интервале температур от 25 до 225 °С.

Из представленных в табл. 1 результатов можно заключить, что температурные условия сушки оказывают некоторое воздействие на гранулометрический состав материала. При изменении  $t$  от 25 до 225 °С средний диаметр частиц уменьшается от 1,163 до 1,048 мм, или на 9,9 %. Степень измельчения материала при  $t < 100$  °С практически не изменяется, а при  $t > 100$  °С — возрастает, достигая максимума, равного 1,11, при  $t = 225$  °С. По всей видимости, с возрастанием температуры сушки и расхода испаряемой влаги увеличивается давление внутри пор материала вследствие скопления водяных паров, вызывающее некоторое разрушение частиц.

Естественно предположить, что при обезвоживании гидролизного лигнина в сушилке он будет дробиться сильнее из-за перемешивания внутри вращающегося наклонного аппарата с подъемно-лопастной насадкой, трения частиц друг о друга и стенки аппарата, взаимных ударений. Для определения значимости такого воздействия из одной и той же партии лигнина были отобраны три пробы. Первую сушили в неподвижном слое на воздухе при комнатной температуре (воздушная сушка), вторую — в конвективной барабанной сушилке [2] при частоте вращения барабана 1 об/мин, скорости и температуре сушильного агента на входе в барабан соответственно 1 м/с и 220 °С, а третью — путем адсорбционного обезвоживания в барабане диаметром 0,1 м, вращающемся с частотой 8 об/мин при соотношении массовых расходов поглотителя и влажного материала 3 : 1. В качестве сорбента использовали гранулы силикагеля диаметром 4...6 мм.

Представленные в табл. 2 результаты подтвердили предположение о зависимости степени измельчения материала от условий сушки. При конвективной сушке  $i = 1,25$ , в то время как при удалении влаги путем выдерживания в неподвижном слое при температуре 220 °С  $i$  не превышает 1,1 (см. табл. 1). При этом наблюдается рост  $i$  на 13 %.

Наибольший размалывающий эффект имел место при адсорбционной сушке. Гранулы силикагеля, помимо своего основного назначения, играли еще роль размалывающей гарнитуры, а вращающийся барабан с зернами сорбента оказался, в известной мере, подобным шаровой мельнице. В результате средний диаметр частиц лигнина при сушке сорбирующими телами уменьшился на 37,3 %, а степень измельчения по сравнению с гидролизным лигнином воздушной сушки составила 1,59.

Для иллюстрации данных, представленных в табл. 2, на рисунке построены на основании [1] кривые распределения  $\Delta R/\Delta\delta = f(\delta)$  ( $R$  — масса частиц, имеющих размер выше заданного, так называемый полный остаток, представлен как выраженное в процентах содержание данной фракции в смеси;  $\delta$  — размер частиц;  $\Delta R/\Delta\delta$  — отношение массы выбранной фракции материала к разности ее максимального и минимального размеров).

**Таблица 1**  
**Гранулометрический состав гидролизного лигнина после сушки в неподвижном слое при различных температурах**

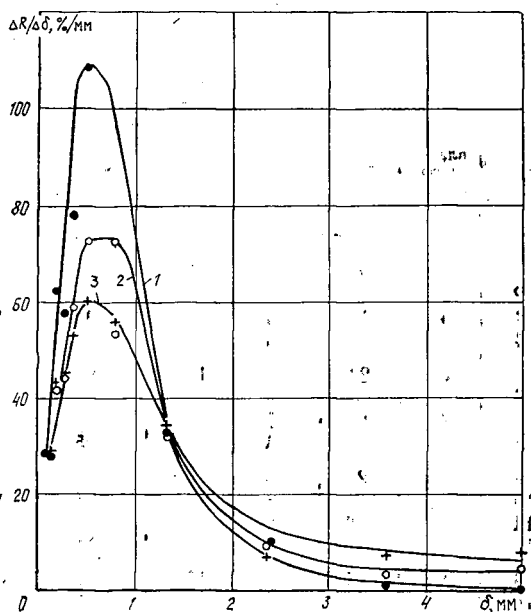
Температура сушки, °С	Массовое содержание, %, в смеси фракций с размерами частиц, мм												Средний диаметр частиц, мм	Степень измельчения
	6,000... 4,000	4,000... 3,150	3,150... 1,600	1,600... 1,000	1,000... 0,630	0,630... 0,400	0,400... 0,315	0,315... 0,200	0,200... 0,160	0,160... 0,100	0,100... 0,071			
25	4,31	0,86	17,24	16,38	15,52	21,55	4,31	10,34	6,03	2,16	1,29	1,163	—	
100	5,05	1,35	13,80	16,50	18,18	19,19	5,05	12,79	4,71	2,02	1,35	1,154	1,008	
150	3,98	0,80	15,94	15,54	18,33	18,33	7,97	11,95	4,38	1,59	1,20	1,122	1,037	
200	4,97	2,21	11,05	13,81	16,57	18,23	7,73	14,92	4,97	3,31	2,21	1,080	1,077	
225	1,51	0,75	17,74	17,74	15,85	16,98	9,06	13,58	3,77	1,51	1,51	1,048	1,110	

Таблица 2

**Гранулометрический состав гидролизного лигнина, подвергнутого сушке различными методами**

	Массовое содержание, %, в смеси фракций с размерами частиц, мм												Средний диаметр частиц, мм	Степень измельчения
	6,000... 4,000	4,000... 3,150	3,150... 1,600	1,600... 1,000	1,000... 0,630	0,630... 0,400	0,400... 0,315	0,315... 0,200	0,200... 0,160	0,160... 0,100	0,100... 0,071			
Сушка	6,000... 4,000	4,000... 3,150	3,150... 1,600	1,600... 1,000	1,000... 0,630	0,630... 0,400	0,400... 0,315	0,315... 0,200	0,200... 0,160	0,160... 0,100	0,100... 0,071			
Воздушная	15,52	5,80	10,34	20,69	20,69	13,79	4,54	5,17	1,72	1,72	—	1,641	—	
Конвективная	8,40	2,52	14,41	19,20	26,89	16,81	5,04	5,04	1,68	—	—	1,314	1,25	
Адсорбционная	0,83	0,83	15,00	20,00	20,00	25,00	6,67	6,67	2,50	1,67	0,83	1,029	1,59	

Дифференциальные кривые распределения частиц гидролизного лигнина, подвергнутого адсорбционной (кривая 1), конвективной (кривая 2) и воздушной (кривая 3) сушке



При рассмотрении графиков видно, что гранулометрический состав материала зависит от способа его сушки. Наибольшее содержание крупных фракций имеет место в лигнине, высушенном в неподвижном слое (воздушная сушка). Возникновение истирающего и ударного воздействия при обезвоживании во вращающемся барабане приводит к снижению доли частиц, относящихся к фракциям 6...4 мм и 4,00...3,15 мм, особенно при адсорбционной сушке. Также видно, что отмеченное измельчение наиболее крупных частиц сказывается на содержании фракции 0,63...0,40 мм. Если при воздушной сушке  $\Delta R/\Delta \delta$  составляет 60 %/мм, а при конвективной возрастает до 73,1 %/мм, то при адсорбционной оно достигает 108,7 %/мм. Именно вследствие указанного изменения размеров и уменьшается средний диаметр частиц.

Эффект измельчения материала в процессе сорбционного удаления влаги особенно желателен, так как при этом упрощается отделение частиц от гранул поглотителя на выходе из барабана. Перспектива отыскания простого и эффективного решения данной задачи привела к исследованию роли условий сушки в процессе, связанном с дроблением частиц. При выборе факторов, значимость которых желательно было оценить, учитывали, что интенсивность механического воздействия на высушиваемый материал зависит от частоты вращения барабана. Однако, с учетом установленной ранее [3] связи этого параметра с рядом показателей сорбционной сушки, частоту принимали во всех опытах 8 об/мин. Соотношение массовых расходов силикагеля и лигнина равнялось 3 кг/кг для обеспечения конечной влажности последнего, не превышающей 10 %.

Исследование проводили по плану ПФЭ  $2^3$  [6]. В качестве независимых переменных, по изложенным ниже соображениям, были выбраны средний диаметр гранул сорбента  $X_1$  (диапазон изменения 3...5 мм), расход влажного материала  $X_2$  (4...8 кг/ч), диаметр барабана  $X_3$  (100...150 мм).

При постоянном массовом расходе поглотителя изменение размера его гранул сказывается как на их массе, так и на числе. Масса гранул определяет ударную силу при их падении с полок насадки, а число —

## Гранулометрический состав лигнина,

Но- мер опы- та	Расход, кг/ч		Размер гранул сили- кагеля, мм	Диаме- тр су- шиль- ного бара- бана, мм	Массовое содержание, %, в смеси				
	влаж- ного лигни- на	сили- каге- ля			6,000 ... 4,000	4,000 ... 3,150	3,150 ... 1,600	1,600 ... 1,000	1,000 ... 0,630
1	8	24	5	150	1,65	6,99	10,75	17,97	22,63
2			3		2,71	2,03	3,98	13,46	16,02
3	4	12	5		0,98	1,35	9,85	14,44	19,92
4			3		3,43	1,71	3,43	9,43	14,29
5	8	24	5	100	1,95	1,28	10,68	15,71	17,29
6			3		5,11	1,80	8,20	17,82	19,55
7	4	12	5		2,26	1,05	15,96	20,18	14,16
8			3		1,05	1,95	6,16	14,86	16,22
9	8	24	5	150	2,11	3,16	5,34	16,02	16,69
10			3		3,31	1,88	3,76	11,73	14,06
11	4	12	5		1,43	2,86	7,82	15,86	17,89
12			3		2,71	2,18	8,12	13,31	16,32
13	8	24	5	100	0,90	0,68	8,80	16,02	16,77
14			3		1,65	1,28	6,62	16,47	17,74
15	4	12	5		1,35	1,80	13,91	14,44	16,54
16			3		1,35	2,25	4,50	12,01	14,86
17	Воздушная сушка				6,20	0,78	11,63	16,30	18,60

количество контактов, при перекачивании слоя во вращающемся барабане. Что касается  $X_2$  и  $X_3$ , то от расхода влажного материала и диаметра барабана зависят, размеры слоя смеси поглотителя и высушиваемого материала в аппарате и условия трения.

Для нахождения степени измельчения в опытах по плану ПФЭ 2<sup>3</sup> (табл. 3) одну из проб лигнина сушили в неподвижном слое при комнатной температуре с последующим уточнением гранулометрического состава (номер опыта 17), остальные подвергали сорбционной сушке (номера опытов с 1 по 16). Затем значения  $i$  в каждом конкретном случае определяли сравнением с найденным таким же путем средним диаметром частиц после воздушной сушки.

Вопреки ожиданиям, регрессионный анализ полученных результатов показал, что ни один из выбранных параметров не влияет на степень измельчения частиц лигнина в барабане. Все коэффициенты регрессии, за исключением  $b_0$ , оказались незначимы. Уравнение регрессии принимает вид  $i = 1,55$ .

В связи с этим был опробован вариант более полного выделения лигнина из смеси путем повторного отсева после регенерации сорбента [4]. Из табл. 3 видно, что при использовании для этой цели сита с размером отверстий 3,15 мм наибольший остаток наблюдался в опыте № 1 и составил 8,64 % от общей массы высушенного материала, а в среднем по 16 проведенным опытам он равен 4,26 %. После просушивания сорбента при температуре 200 °С и последующего просева на том же сите, содержание гидролизного лигнина в смеси снижается от 6... 8 до 1,0... 1,5 %. Представляется, что полученный результат можно считать удовлетворительным, так как, в ходе следующего сушильного цикла этот остаточный лигнин подвергается дальнейшему измельчению и отсеvu.

Таким образом, проведенная работа позволила найти решение еще одной стадии комплексной проблемы адсорбционной сушки гидролизного лигнина.