

стемы водородных связей и пространственной структуры в аморфной части целлюлозы. Для создания в ней при термомеханическом анализе условий сегментальной подвижности требуется повышенная энергия теплового движения. Это и проявляется в росте значений  $T_c$  с увеличением полноты инклюдирования целлюлозы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Аким Э. Л. Обработка бумаги (Основы химии и технология обработки и переработки бумаги и картона).— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 232 с. [2]. Зеленов Ю. В., Глазков В. И. Релаксационные процессы в целлюлозе и ее производных // Высокомолекулярные соединения.— 1972.— Т. 14 А, № 1.— С. 16—21. [3]. Кленкова Н. И. Структура и реакционная способность целлюлозы.— Л.: Наука, 1976.— 367 с. [4]. Леонович А. А. Изучение свойств древесных волокон при нагревании // Лесн. журн.— 1972.— № 5.— С. 143—147.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Леонович А. А. Теория и практика изготовления огнезащитных древесных плит.— Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978.— 176 с.

Поступила 21 июля 1994 г.

УДК 630\*864

## П. П. ТИРАНОВ

Тиранов Петр Прокопьевич родился в 1942 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИИ химии и химической технологии древесины Архангельского государственного технического университета. Имеет 54 печатных труда в области химии и технологии древесины, целлюлозы и бумаги.

УЛУЧШЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПАСТЫ СУЛЬФАТНОГО ЛИГНИНА

Показана возможность и практическая целесообразность использования технических лигносульфонатов (ЛСТ) в качестве разжижителя пасты сульфатного лигнина и получения из нее высококонцентрированной текучей суспензии, имеющей низкие показатели предельного динамического напряжения сдвига и пластической вязкости.

A possibility and practical advantage of using technical lignosulphonates as a sulphate lignin paste thinner and preparing from it a fluid suspension having low indicators of ultimate dynamic shearing stress and plastic viscosity has been revealed.

Непрерывная технология производства сульфатного лигнина серно-кислотным способом, осуществленная на Соломбальском ЦБК [1, 5], предусматривает выпуск готового продукта в виде пасты и порошка. Конечной стадией получения пасты является промывка лигнина и отжим его от избытка воды, осуществляемые на ленточном вакуум-фильтре. При работе в оптимальных условиях фильтр может обеспечивать отжим лигнина до влажности 50...60%. Такой лигнин представляет собой практически нетекущий, липкий, пастообразный продукт, который неудобен как для транспортировки и использования потребителем, так и для последующей сушки до порошкообразного состояния. На практике при получении порошка используют следующий прием.

Пасту лигнина, поступающую с фильтра, при перемешивании разбавляют горячей водой до влажности не менее 70 %. В результате при перемешивании образуется текучая суспензия лигнина, которую насосом подают в распылительную сушилку. Однако такой прием связан с повышенными энергозатратами на высушивание разбавленной пасты и не применим при транспортировке пасты лигнина, так как при этом, во-первых, перевозится дополнительное количество воды и, во-вторых, при отсутствии перемешивания происходит расслаивание суспензии лигнина с образованием плотного нетекучего осадка, что затрудняет выгрузку ее из больших емкостей, например из цистерн.

Целью наших исследований является улучшение реологических свойств пасты лигнина и получение из нее высококонцентрированных суспензий лигнина, сохраняющих текучесть не только в динамических (при перемешивании), но и в статических (при отсутствии перемешивания) условиях. Для этого изучена возможность эффективного повышения текучести пасты лигнина путем введения в нее разжижающей добавки. В качестве такой добавки выбраны технические лигносульфонаты (ЛСТ), которые уже находят применение в других отраслях в качестве разжижителя и пластификатора различных труднотекучих смесей [2, 4].

Проведены исследования реологических свойств высококонцентрированных (40...55 %) растворов ЛСТ и паст сульфатного лигнина с добавками ЛСТ. В качестве исходных взяты ЛСТ Архангельского ЦБК и паста сульфатного лигнина, выработанная на Соломбальском ЦБК. С их использованием приготовлены рабочие смеси пасты лигнина с различным количеством добавок ЛСТ. Добавки ЛСТ вводили в пасту при перемешивании и температуре 80 °С. Конечное содержание сухого

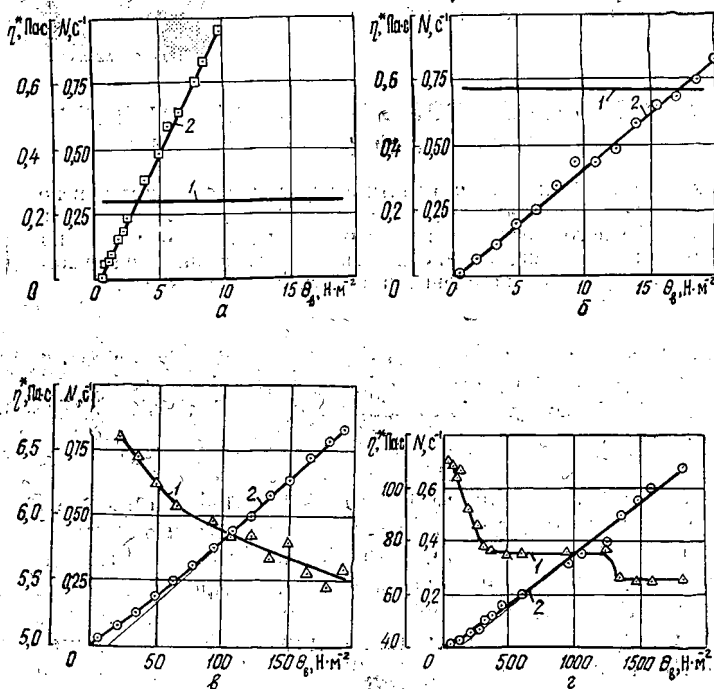


Рис. 1. Зависимости вязкости от динамического напряжения сдвига (1) и кривые течения (2) растворов ЛСТ различной концентрации: а — 40; б — 45; в — 50; г — 55. %

остатка, в рабочих смесях корректировали путем добавления воды. На ротационном вискозиметре Воларовича типа РВ-8 при комнатной температуре снимали кривые течения — зависимости скорости вращения внутреннего цилиндра прибора  $N$  от напряжения сдвига  $\Theta$  и по ним определяли реологические показатели рабочих растворов ЛСТ и паст лигнина.

Реологические показатели растворов ЛСТ различной концентрации

Массовая доля сухого остатка в растворе ЛСТ, %	$\Theta_v$ , $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$	$\eta'$ , Па · с
0	0,6	...
40	0,6	0,24
45	0,6	0,57
50	13,0	5,23
55	120,0	59,30

По характеру кривых течения, приведенных на рис. 1, и данным таблицы установлено, что ЛСТ концентрацией 45 % и ниже ведут себя как ньютоновские жидкости. Их вязкость практически постоянная величина и не зависит от напряжения сдвига. Однако при концентрации 50 % и выше ЛСТ приобретают свойства неньютоновских жидкостей, что указывает на образование структурированной системы. Для них вычисленная по уравнению Ньютона вязкость (в данном случае это чисто условная величина, называемая эффективной вязкостью  $\eta^*$ ) не является постоянной и зависит от напряжения сдвига, приложенного к системе. По мере возрастания напряжения сдвига все в большей степени начинают происходить процессы разрушения структуры. При этом эффективная вязкость уменьшается и в некоторой точке может достигать постоянного минимального значения — предельной вязкости  $\eta_c$ , отвечающей течению жидкости с возможно более полным разрушением структуры. Предельная вязкость характеризует вязкость неньютоновских жидкостей при быстром протекании через трубы, перемешивании и в других случаях.

Общего аналитического уравнения кривых течения неньютоновских жидкостей нет. Из уравнений для частных случаев наибольшее распространение получило уравнение Бингама [3]:

$$\eta' = K \frac{\Theta - \Theta_v}{N},$$

где  $\eta'$  — пластическая вязкость, Па · с;

$K$  — константа;

$\Theta_v$  — предельное (критическое) динамическое напряжение сдвига (или предел текучести по Бингаму),  $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$N$  — скорость сдвига,  $\text{с}^{-1}$ .

Данное уравнение относительно хорошо описывает реологические свойства системы. Путем экстраполяции прямолинейных участков кривых течения до пересечения с осью абсцисс получены значения  $\Theta_v$ , а по котангенсу угла наклона определены значения  $\eta'$  для рабочих растворов ЛСТ и паст лигнина.

Приведенные в таблице значения  $\Theta_v$  для воды (холостой опыт) и для ЛСТ концентрацией 40 и 45 % малы и равны между собой ( $0,6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$ ). Это свидетельствует о том, что данное напряжение сдвига

обусловлено наличием сопротивления вращающихся частей прибора, а не структурообразованием. Напротив, растворы ЛСТ с концентрацией 50 и 55 % имеют высокие значения  $\Theta_v$  (13 и 120 Н · м<sup>-2</sup>), что свидетельствует об образовании структурированных систем, прочность которых резко увеличивается по мере повышения концентрации ЛСТ. Одновременно резко возрастает и пластическая вязкость растворов.

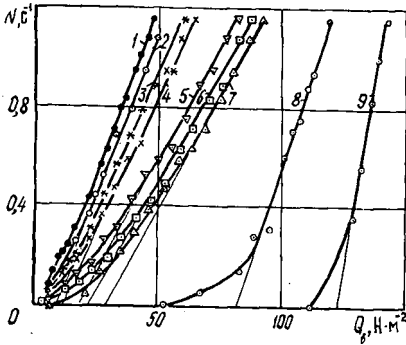


Рис. 2. Кривые течения 40 %-й пасты сульфатного лигнина при различном количестве введенной в нее добавки ЛСТ: 1—10; 2—7; 3—6; 4—5; 5—4; 6—3; 7—2; 8—1; 9—0,75 %

На рис. 2 приведены кривые течения 40 %-й суспензии сульфатного лигнина при разном количестве введенной в нее добавки ЛСТ, из которого видно, что даже для наиболее разбавленной из исследованных суспензий характерно образование структурированной системы. Прочность такой системы во многом зависит как от концентрации суспензии, так и от количества введенной в нее добавки ЛСТ.

По мере увеличения количества ЛСТ кривые течения суспензии лигнина смещаются в область более низких напряжений сдвига. Подобная закономерность, но при расположении кривых течения в области более высоких напряжений сдвига, характерна и для суспензий концентрацией 45, 50 и 55 %. Кривые течения этих суспензий лигнина для сокращения здесь не приведены, но вычисленные по ним реологические показатели  $\Theta_v$  и  $\eta'$  использованы при построении графических зависимостей, представленных на рис. 3.

При увеличении доли ЛСТ до 5... 10 % наблюдается резкое снижение предела текучести по Бингаму и одновременное увеличение пластической вязкости. Дальнейшее повышение доли ЛСТ практически не изменяет  $\Theta_v$ ,  $\eta'$  снижается. Максимальные значения пластической вязкости для суспензий лигнина концентрацией 40, 45, 50 и 55 % наблюдаются при добавке соответственно 2,5; 5; 10 и 20 % ЛСТ (рис. 3, б).

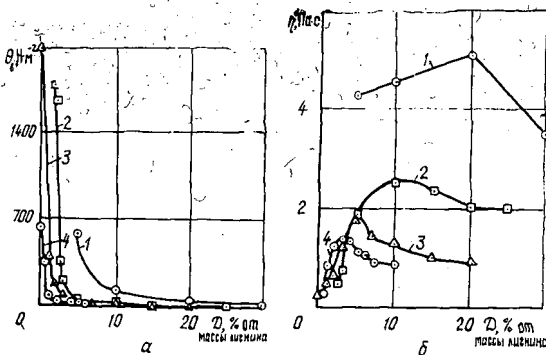


Рис. 3. Зависимости динамического напряжения сдвига (а) и пластической вязкости (б) пасты сульфатного лигнина от количества введенной добавки ЛСТ (D) при различной концентрации пасты: 1—55; 2—50; 3—45; 4—40 %