

УДК 676. 017

В. И. Комаров, М. Ю. Кузнецова

Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 160 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Кузнецова Мария Юрьевна родилась в 1974 г., окончила в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – исследование деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

**ВЛИЯНИЕ pH БУМАЖНОЙ МАССЫ
НА ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА БУМАГИ ДЛЯ ПЕЧАТИ**

Установлено, что изменение вязкоупругих и стандартных прочностных характеристик бумаги для печати с ростом pH бумажной массы при отливе носит аperiodический характер.

бумага для печати, pH, вязкоупругость, работа разрушения, ТЕА, трещиностойкость, прочность, деформативность, критическая длина волокна.

Характеристики бумаги, от которых зависит ее поведение в печатном процессе, могут быть разделены на две группы: а) определяющие качество прохождения через транспортную систему печатной машины; б) обеспечивающие необходимое качество печати [7–9]. К первой группе, кроме характеристик механической прочности, относятся и характеристики вязкоупругости, которые отечественными стандартами на бумагу для печати не нормируются. В работе [2] показано, что бумага – это вязкоупругий материал, в котором наряду с мгновенными упругими деформациями развиваются неупругие деформации, величина которых зависит, в определенной степени, от длительности или скорости приложения нагрузки.

До последнего времени при оценке некоторых видов бумаги из вязкоупругих характеристик наиболее широко использовали работу разрушения A_p . В настоящее время все чаще применяют такие характеристики, как ТЕА (абсорбированная при разрушении образца энергия) [12] и трещиностойкость, оцениваемая величиной J -интеграла [6, 11].

Композиция бумаги для печати может содержать различные химикаты, удержание которых осуществляется в широком диапазоне pH. В связи с

этим исследование влияния рН бумажной массы, как самостоятельного технологического фактора, на вязкоупругие свойства бумаги способствует построению общей картины формирования вязкоупругости бумаги в процессе производства.

Нами была проведена серия экспериментов, в которых ставились задачи исследовать влияние следующих факторов на вязкоупругие свойства целлюлозно-бумажного материала:

рН бумажной массы при отливке;

количество вводимого флокулянта ПАА марки «Praestol» (при отсутствии в композиции наполнителя) при изготовлении материала как в кислой (рН 5,0), так и в щелочной (рН 9,0) среде;

количество катионного крахмала, вводимого в материал как в кислой, так и в щелочной среде;

комплекс технологических факторов, влияющих на трещиностойкость бумаги.

В настоящей статье, первой из планируемой серии работ, рассмотрено влияние рН бумажной массы на вязкоупругие, деформационные и прочностные свойства бумаги. В процессе отлива рН, равный 4,5; 5,0; 6,0, корректировали введением сульфата алюминия, рН 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 – введением NaOH (табл. 1).

Таблица 1

Расходы корректирующих добавок для достижения заданных значений рН

Корректирующая добавка	Количество корректирующей добавки, г / г волокна, для достижения рН						
	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Al ₂ (SO ₄) ₃	1,82	1,36	0,45	–	–	–	–
NaOH	–	–	–	0,07	0,09	0,11	0,24

Таким образом, оценивая влияние рН на характеристики бумаги, необходимо учитывать и воздействие корректирующей добавки.

Все образцы были изготовлены из смеси лиственной (85 %) и хвойной (15 %) сульфатной блененной целлюлозы. Степень помола – до 30 °ШР, масса 1 м² – 70 г.

Вязкоупругие свойства бумаги оценивали, используя характеристики (работа разрушения A_p и ее составляющие A_y , A_{3-y} , A_n , A_t), полученные при обработке экспериментальной зависимости усилие – удлинение (рис. 1, а) и расчетной зависимости напряжение – деформация (рис. 1, б). При этом соблюдалось условие $A_p = A_y + A_{3-y} + A_n + A_t$ [3]. Были рассчитаны значения составляющих работы разрушения с учетом того, что работа, совершаемая на определенном этапе деформирования, равна площади под соответствующим участком кривой усилие – удлинение (рис.1, а). Кроме того, были рассчитаны вклады работ, совершаемых на различных участках деформирования, в работу разрушения.

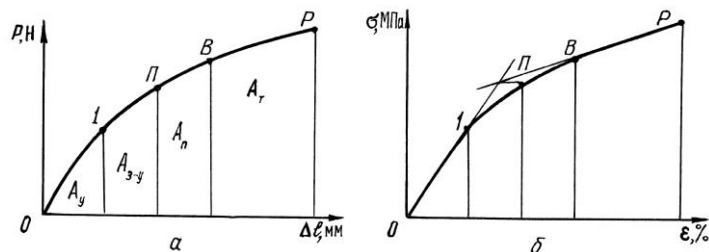


Рис. 1. Зависимости $P - \Delta l$ (а) и $\sigma - \varepsilon$ (б) с характерными точками: I – предел упругости; Π – точка начала развития пластических деформаций; B – точка начала зоны предразрушения; P – точка разрушения образца (A_y – работа в упругой зоне, затрачивая на деформирование образца до достижения предела упругости; $A_{з-у}$ – работа в замедленно-упругой зоне, затрачиваемая на деформирование образца от точки I до точки Π ; A_n – работа, затрачиваемая на деформирование образца от точки Π – до зоны предразрушения в точке B ; A_r – работа, затрачиваемая на развитие трещины)

Варьирование исследованных параметров наполнения целлюлозно-бумажных материалов (рН бумажной массы при отливе, расход флокулянта и связующего вещества, содержание наполнителя) приводит к различным изменениям в структуре материала. При этом изменяются и вязкоупругие свойства (или степень их проявления), которые определяют характер деформирования материала. Существует гипотеза, в соответствии с которой поведение целлюлозно-бумажного материала после зоны упругости определяется «критической» длиной волокна [5]. Понятие «критической» длины волокна принято из теории прочности композитов [4]. При разрушении волокнистого композита волокна, имеющие длину больше «критической», разрываются, а волокна с длиной меньше «критической» выдергиваются из образца. Изучение влияния различных технологических факторов на характеристики вязкоупругости целлюлозно-бумажного материала на различных этапах деформирования позволит с большей вероятностью прогнозировать производство бумаги с заданными свойствами.

Для наполненных печатных видов бумаги, которые на практике редко испытывают разрушающие нагрузки, важно не допустить при переработке или использовании значительных необратимых (пластических) деформаций. Для этого желательно увеличить относительную долю (вклад) работы, совершаемой на стадии упругих и замедленно-упругих деформаций, при этом разрушающее усилие может оставаться на прежнем уровне.

Как видно из рис. 2, где представлены кривые зависимости $P - \Delta l$, характер деформирования образцов, изготовленных при различных рН отлива, различен. Наибольшее удлинение до разрыва и разрушающее усилие имеют образцы, изготовленные при рН 7,0, у них же и самая высокая вязкоупругость (табл. 2). Наиболее «хрупкими» оказались образцы, отлитые при

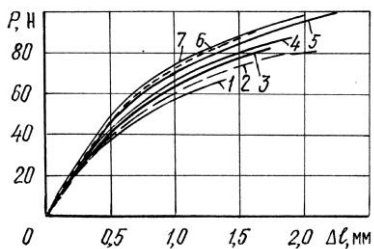


Рис. 2. Кривые зависимости $P-\Delta l$ образцов бумаги, изготовленной при различных рН отлива: 1 – рН 6,0; 2 – 4,5; 3 – 9,0; 4 – 5,0; 5 – 7,0; 6 – 8,0; 7 – 10,0

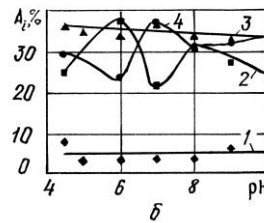
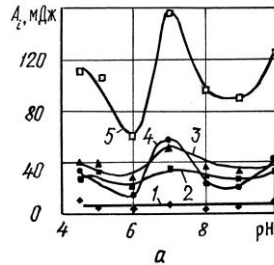


Рис. 3. Зависимость различных составляющих работы разрушения A_i (а) и их относительного вклада в работу разрушения (б) от рН бумажной массы: 1 – A_y ; 2 – A_{3-y} ; 3 – $A_{п}$; 4 – $A_{т}$; 5 – $A_{р}$

рН 6,0 – они имеют меньшее удлинение до разрыва и разрушающее усилие, что и обуславливает низкое значение A_p (табл. 2).

На рис. 3 приведены зависимости составляющих работы разрушения, а также относительных вкладов этих составляющих в работу разрушения от рН среды.

Из табл. 2 и рис. 3 следует, что вклад составляющих A_y и $A_{п}$ в работу разрушения при изменении рН бумажной массы изменяется незначительно. Более значительные изменения, но противоположного характера, наблюдаются у составляющих $A_{т}$ и A_{3-y} . Полученные экспериментальные данные позволяют утверждать, что вязкоупругость исследуемых образцов бумаги определяется процессами, происходящими в начальный период замедленно-упругой деформации, и трещиностойкостью в области развития трещин. Максимальная вязкоупругость отмечена у образцов из бумажной массы, имеющей рН 7,0.

По данным табл. 2 и табл. 3, где приведены фундаментальные, деформационные и прочностные характеристики бумаги, изготовленной при различных рН отлива, можно сделать вывод, что высокие значения A_y не

Таблица 2

Изменение работы разрушения и ее составляющих (мДж) в зависимости от рН среды

рН	A_y	A_{3-y}	$A_{п}$	$A_{т}$	$A_{р}$
4,5	9,5	27,8	40,3	33,1	110,7
5,0	4,3	33,0	38,3	32,7	108,3
6,0	2,5	22,7	21,0	14,5	60,7
7,0	6,4	35,1	57,2	58,0	156,7
8,0	3,6	29,3	32,8	29,9	95,6
9,0	5,9	25,2	29,9	28,8	89,9
10,0	9,0	31,7	42,9	41,5	125,1

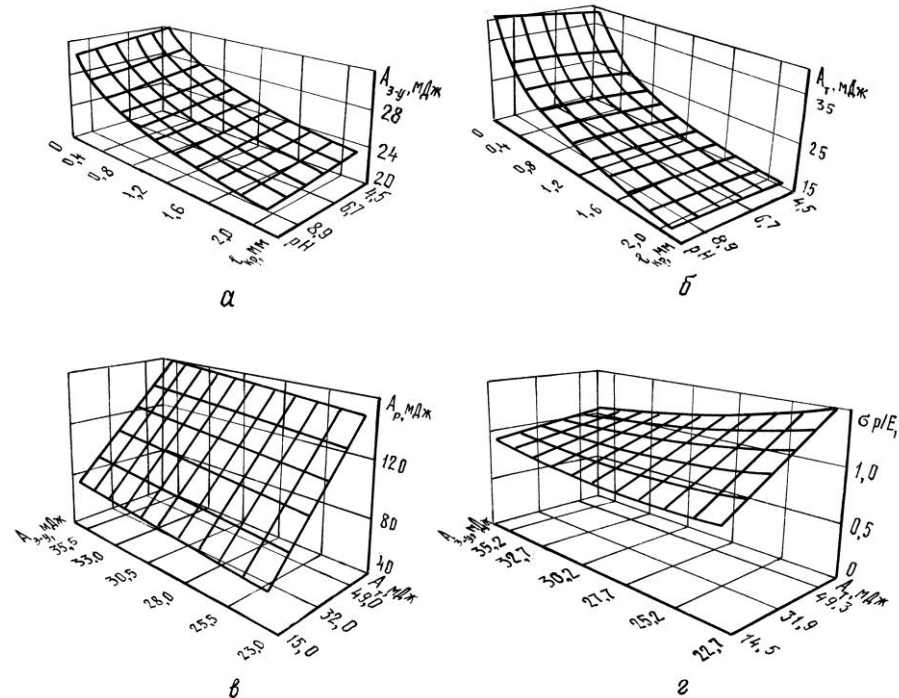


Рис. 4. Влияние $l_{кр}$ и pH (а, б), A_{3-y} и A_T (в, г) на характеристики вязкоупругости: а – A_{3-y} , б – A_T , в – A_p , г – σ_p/E_1

обуславливают высокую прочность образцов. Кривая, показывающая изменение доли A_T , согласуется с изменением прочностных характеристик (рис. 5 в). Однако суммарная доля A_y и A_{3-y} , т. е. работ, совершаемых на тех участках деформирования, за пределами которых начинаются нежелательные пластические деформации, не является постоянной величиной, как и сумма работ A_y и A_{3-y} .

Как видно из рис. 4, где приведены зависимости некоторых характеристик вязкоупругости в виде поверхности отклика от двух факторов, показатели A_T и A_{3-y} достигают высоких значений в щелочной среде (рис. 4, а, б). Главной составляющей, которая определяет величину A_p , является A_T : наибольших значений A_p достигает с ростом A_T (рис. 4, в). Отношение σ_p/E_1 остается относительно стабильным в исследуемом диапазоне характеристик вязкоупругости, однако наиболее высоких значений оно достигает с ростом A_T , т. е. с ростом вязкоупругости и прочности образцов. В целом по зависимостям, представленным на рис. 4, можно отметить, что практически во всем диапазоне pH работа A_p зависит в основном от A_T , т. е. определяется трещиностойкостью образцов.

Как следует из рис. 5, зависимость фундаментальных, деформационных и прочностных характеристик от pH бумажной массы носит аperiодический характер.

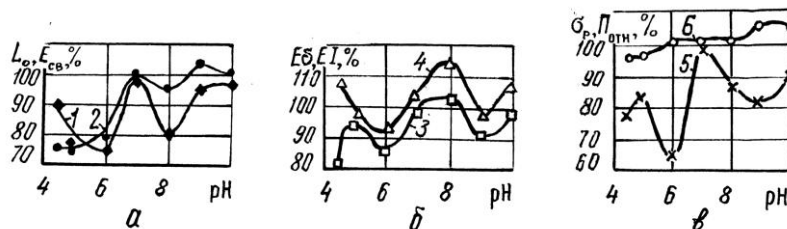


Рис. 5. Зависимость прочностных и деформационных характеристик бумаги от pH бумажной массы: *a* – фундаментальные свойства волокон, *б* – жесткость бумаги, *в* – прочность бумаги; 1 – нулевая разрывная длина L_0 , 2 – межволоконные силы связи F_{cb} , 3 – жесткость при растяжении $E\delta$, 4 – жесткость при изгибе EI , 5 – разрушающее напряжение σ_p , 6 – относительное сопротивление продавливанию $\Pi_{отн}$

На фундаментальные свойства волокна pH отлива оказывает существенное влияние. Кривая на рис. 5, *a*, отражающая изменение F_{cb} от pH, демонстрирует значительный рост данного показателя при переходе от кислой к щелочной среде. При pH 7,0, т. е. при незначительном количестве вводимых химикатов, наблюдаются высокие значения сил связи. Известно, что образование межволоконных связей происходит при непосредственном участии дипольных молекул воды [1]. Очевидно, нейтральная среда наилучшим образом способствует образованию прочных межволоконных связей. Собственная прочность волокна, характеризуемая показателем L_0 , в щелочной среде также выше (рис. 5, *a*). На результат определения «нулевой» разрывной длины оказывают большое влияние межволоконные силы связи и плотность материала. Плотность характеризует такое фундаментальное свойство, как способность к уплотнению во влажном состоянии. Полученные результаты показывают увеличение данного показателя при росте pH бумажной массы во время отлива. В щелочной среде волокна целлюлозы набухают в большей степени, и площадь поверхности, способная к связыванию, растет. При этом повышается также и сопротивление продавливанию (рис. 5, *в*).

Дополнительно для исследуемых образцов целлюлозно-бумажного материала определяли «критическую» длину волокна $l_{кр}$. Как видно из табл. 3, изменение данной величины при увеличении pH среды также неоднозначно. Характеристика $l_{кр}$ имеет максимальное значение при pH 6,0, т. е. при минимальной прочности образцов. Проведенный корреляционный анализ (табл. 4) показал, что при снижении «критической» длины волокна возрастают P_p и σ_p (соответственно $r = -0,78$ и $-0,76$). Значимые отрицательные коэффициенты корреляции также получены для сопротивления продавливанию ($r = -0,97$) и разрывной длины ($r = -0,83$). Следовательно $l_{кр}$, учитывающую собственную прочность волокна, силы связи и геометрические параметры волокна (т.е. структуру материала), можно считать в

Таблица 3

ВЛИЯНИЕ pH БУМАЖНОЙ МАССЫ ПРИ ОТЛИВЕ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БУМАГИ

pH	$F_{св}$, МПа	L_0 , м	ρ , г/см ³	δ , мкм	L , м	σ_p , МПа	$\Pi_{отн}$, кПа	$R_{отн}$, мН	$l_{кр}$, мм	E_1 , МПа	ε_p , %	$E\delta \cdot 10^{-6}$, Н/м	σ_p/E_1 , %	EI , мН·см ²	ТЕА, Дж/м ²	Индекс ТЕА, Дж/г
4,5	1,34	8 941	0,75	85,6	8 505	63,72	445	673	0,83	6 069	2,06	520	1,05	37,2	73,8	1,15
5,0	1,32	7 689	0,73	86,2	9 356	67,87	443	830	0,49	6 959	1,89	600	0,98	33,4	72,2	1,15
6,0	1,39	7 380	0,74	85,6	7 031	51,80	168	816	2,2	6 335	1,44	542	0,82	31,3	40,5	0,64
7,0	1,77	10 045	0,78	82,8	10 459	81,85	462	691	0,67	7 633	2,32	632	1,07	34,5	104,5	1,61
8,0	1,69	8 109	0,74	84,6	9 528	70,28	464	637	0,54	7 707	1,68	652	0,91	39,6	63,7	1,02
9,0	1,85	9 463	0,76	81,8	8 666	66,25	493	691	0,63	6 992	1,73	572	0,95	34,3	59,9	0,96
10,0	1,79	9 688	0,79	84,6	9 399	74,66	489	695	0,69	7 346	2,00	621	1,02	36,9	83,4	1,24

Примечание. Жирным шрифтом выделены величины характеристик, принятые на рис. 5 за 100 %.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции вязкоупругих свойств с показателями деформативности и прочности бумаги

Показатели	TEA, Дж/м ²	$l_{кр}$, мм	σ_p/E_1 , %	A_y , мДж	A_{3-y} , мДж	$A_{п}$, мДж	$A_{т}$, мДж	$A_{р}$, мДж	A_y , %	A_{3-y} , %	$A_{п}$, %	$A_{т}$, %
P_p , Н	0,93*	-0,77	0,77	0,46	0,92	0,90	0,93	0,93	-0,05	-0,81	0,33	0,94
σ_p , МПа	0,93	-0,76	0,76	0,45	0,88	0,89	0,94	0,92	-0,04	-0,83	0,27	0,97
ε_p , %	0,96	-0,58	0,97	0,70	0,81	0,98	0,94	0,97	0,27	-0,93	0,69	0,82
E_1 , МПа	-0,70	0,02	-0,49	-0,13	-0,49	-0,72	-0,72	-0,68	0,23	0,51	-0,66	-0,55
$P_{отн}$, кПа	0,66	-0,97	0,73	0,59	0,61	0,60	0,64	0,65	0,34	-0,80	0,01	0,82
R , мН	-0,39	0,50	-0,41	-0,49	-0,14	-0,34	-0,40	-0,37	-0,39	0,61	0,04	-0,57
$F_{св}$, МПа	0,65	-0,97	0,65	0,41	0,69	0,59	0,65	0,65	0,12	-0,70	-0,04	0,83
L_0 , м	0,77	-0,48	0,75	0,75	0,43	0,71	0,78	0,74	0,47	-0,89	0,12	0,84
L , м	0,88	-0,83	0,71	0,33	0,91	0,85	0,89	0,88	-0,16	-0,75	0,31	0,93
EI , мН·см ²	0,29	-0,60	0,34	0,41	0,27	0,27	0,27	0,30	0,30	-0,45	-0,01	0,41
A_y , мДж	0,59	-0,43	0,82	1,00	0,33	0,58	0,54	0,60	0,85	-0,82	0,29	0,52
A_{3-y} , мДж	0,88	-0,68	0,74	0,33	1,00	0,89	0,87	0,90	-0,19	-0,67	0,51	0,78
$A_{п}$, мДж	0,99	-0,58	0,91	0,58	0,89	1,00	0,98	1,00	0,09	-0,88	0,65	0,87
$A_{т}$, мДж	0,99	-0,60	0,86	0,54	0,87	0,98	1,00	0,99	0,04	-0,89	0,51	0,93
$A_{р}$, мДж	0,99	-0,63	0,91	0,60	0,90	0,99	0,99	1,00	0,10	-0,90	0,58	0,90
$l_{кр}$, мм	-0,62	1,00	-0,67	-0,43	-0,68	-0,58	-0,60	-0,63	-0,16	0,70	-0,06	-0,77
σ_p/E_1 , %	0,90	-0,67	1,00	0,82	0,74	0,91	0,86	0,91	0,46	-0,96	0,59	0,79

A_y , %	0,10	-0,16	0,46	0,85	-0,19	0,09	0,04	0,10	1,00	-0,47	0,02	0,08
A_{3-y} , %	-0,91	0,70	-0,96	-0,82	-0,67	-0,88	-0,89	-0,90	-0,47	1,00	-0,43	-0,89
A_{II} , %	0,55	-0,06	0,59	0,29	0,51	0,65	0,51	0,58	0,02	-0,43	1,00	0,23
A_T , %	0,92	-0,77	0,79	0,52	0,78	0,87	0,93	0,90	0,08	-0,89	0,23	1,00
TEA, Дж/м ²	1,00	-0,62	0,90	0,59	0,88	0,99	1,00	1,00	0,10	-0,91	0,55	0,92

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции ($r \geq 0,75$).

определенной степени интегральной характеристикой механических свойств материала. С увеличением $l_{кр}$ прочность образцов, как правило, снижается. Характеристика $l_{кр}$ имеет также тесную корреляцию и с некоторыми характеристиками вязкоупругости A_p ($r = -0,62$), соотношением σ_p/E_1 ($r = -0,67$), работой A_{3-y} ($r = -0,68$), а также вкладом работы A_T ($r = -0,77$). Снижение критической длины волокна приводит к возрастанию вязкоупругости материала.

Анализируя характеристики прочности материала при растяжении, такие как L , P_p и σ_p (см. табл. 3, и рис. 5, в), установили, что при рН 6,0 все показатели прочности имеют самые низкие значения. При гидролизе сернокислого алюминия образуются полимерные соединения алюминия, состав которых зависит от рН среды. Установлено, что при рН 6,0 преобладает уже форма нерастворимого гидроксида алюминия, который ведет себя как инертный наполнитель [10], понижая прочность бумаги. При рН 7,0, т. е. практически без добавок химикатов, отмечены довольно высокие показатели прочности, обусловленные размолом волокна. Дальнейшее увеличение рН среды (до рН 10) приводит к росту прочности и жесткости при растяжении (рис. 5, б, в). В такой среде происходит наибольшее набухание волокон, способствующее лучшему формированию листа (об этом свидетельствуют и приведенные в табл. 3 данные о плотности образцов). Сравнивая показатели прочности при рН 5,0 и 9,0, (т. е. при тех значениях, при которых варьировали расход флокулянта и крахмала), можно отметить, что они выше в щелочной среде.

Установлено, что рН бумажной массы при отливе оказывает влияние также и на характеристики деформативности. Начальный модуль упругости (табл. 3) в щелочной среде имеет более высокие значения. Известно, что повышение однородности структуры улучшает упругие свойства материала. В данном случае при повышении плотности материала и значений $F_{св}$ в щелочной среде возрастает величина начального модуля упругости E_1 (табл. 3).

Жесткость материала при растяжении рассчитывается как произведение начального модуля упругости на толщину образца, т. е. изменение этой величины $E\delta$ (рис. 5, б) определяется (в скрытой форме) по изменению плотности материала. Что касается жесткости при изгибе EI , то характер изменения ее в данном случае в большей степени обусловлен величиной модуля упругости при изгибе, а не моментом инерции сечения образца.

Кроме того, в табл. 3 приведены данные о величине абсорбированной энергии, поглощаемой при разрушении образца (ТЕА) и сопротивлении раздиранию (одной из характеристик трещиностойкости, которая широко используется в существующих стандартах на целлюлозно-бумажную продукцию). Показатель ТЕА имеет довольно тесную корреляцию с прочностными характеристиками, а также работой на различных участках деформирования и соотношением σ_p/E_1 (табл. 4). Изменение ТЕА аналогично изменению прочностных характеристик. Сопротивление раздиранию, как показал эксперимент, меньше реагирует на изменения в структуре материала,

чем ТЕА, поэтому при контроле стабильности качества продукции предпочтительнее использовать последний показатель.

Из данных, приведенных в табл. 4, следует, что величина A_y имеет тесную прямую корреляцию с отношением σ_p/E_1 и обратную с величиной относительного вклада в деформацию разрушения A_{3-y} . Величины работ, затрачиваемых на остальных этапах деформирования, положительно коррелируют друг с другом – как правило, если одна величина растет, растет и другая. Это указывает на идентичный ход кривых зависимости напряжение – деформация после достижения предела упругости и взаимосвязь процессов, происходящих при деформировании на различных стадиях. Установлено, что величина A_{3-y} обратно пропорциональна $l_{кр}$. Остальные составляющие A_p , затрачиваемые на определенном этапе деформирования, не коррелируют с данным показателем. A_y , $A_{п}$, $A_{т}$, $A_{в}$ и A_p имеют высокую положительную корреляцию с ТЕА. Это вполне закономерно, если учесть, что природа данных показателей и геометрия образцов одинаковы.

Рост собственной прочности волокна приводит к увеличению работы в области упругих деформаций A_y и работы $A_{п}$ (соответственно $r = 0,75$ и $0,71$). Показатели работы, затрачиваемой на различных участках деформирования образца (кроме A_y), положительно коррелируют с характеристикой разрывной длины L . Наиболее тесную взаимосвязь с характеристиками прочности (P_p и L) имеют A_{3-y} и $A_{т}$. Можно утверждать, что с увеличением A_{3-y} растет вязкоупругость материала.

Необходимо отметить, что величины A_y , A_{3-y} , $A_{п}$, и $A_{т}$, а также A_p имеют высокие положительные коэффициенты корреляции с расчетной величиной σ_p/E_1 (прочность растет с увеличением значений работы на различных этапах деформирования, а начальный модуль упругости изменяется незначительно).

Рассматривая корреляцию относительных долей различных составляющих работы разрушения с остальными характеристиками, можно отметить следующее: с характеристиками прочности доля упругой работы не имеет тесной корреляции. У характеристик прочности (P_p и σ_p) и деформации разрушения выявлена отрицательная корреляция с долей A_{3-y} в общей деформации.

Рост доли $A_{п}$ связан с ростом начального модуля упругости ($r = 0,69$). Относительная доля $A_{т}$ имеет довольно тесную корреляцию с характеристиками прочности P_p ($r = 0,94$) и σ_p ($r = 0,97$), также этот показатель хорошо коррелирует с работой разрушения A_p ($r = 0,90$), сопротивлением продавливанию ($r = 0,82$), межволоконными силами связи $F_{св}$ ($r = 0,83$), разрывной длиной L ($r = 0,93$), начальным модулем упругости E_1 ($r = 0,71$) и «критической» длиной волокна $l_{кр}$ ($r = -0,77$). Это указывает на возможность повышения прочности образцов путем увеличения доли работы, затрачиваемой в области предразрушения, хотя в данной зоне деформации являются необратимыми, т. е. нагрузки при переработке или использовании наполненных видов бумаги не должны достигать величины, при которой наступает эта зона.

Анализируя величину вкладов различных составляющих в работу разрушения, можно отметить, что наибольший вклад вносят $A_{\text{п}}$ и $A_{\text{т}}$, меньше величина вклада у $A_{3-у}$, самое низкое значение у вклада $A_{\text{у}}$ при всех исследованных рН отлива бумажной массы.

Выводы

1. Изменение рН бумажной массы при отливе бумаги влияет на форму кривых зависимостей $P - \Delta l$ и $\sigma - \epsilon$, определяющих вязкоупругие свойства бумаги.

2. Вязкоупругость образцов бумаги при варьировании рН бумажной массы определяется процессами, происходящими в начальный период замедленно-упругой деформации, и трещиностойкостью в области интенсивного развития трещин.

3. Максимальная вязкоупругость отмечена при рН 7,0. При данном значении рН наблюдается максимальная прочность образцов материала на растяжение, что обусловлено не упругими, а вязкоупругими свойствами материала.

4. Собственная прочность волокна L_0 оказывает более сильное влияние на работу, затрачиваемую в области предразрушения $A_{\text{т}}$, а межволоконные силы связи $F_{\text{св}}$ – на работу в начальной области замедленно-упругой деформации $A_{3-у}$.

5. При изменении рН бумажной массы в интервале от 4,5 до 10,0 минимальное значение большинства исследуемых характеристик соответствует рН 6,0; максимальное значение жесткости при растяжении и изгибе – рН 8,0, прочности при приложении растягивающей нагрузки, работы разрушения, ТЕА – рН 7,0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 695 с.
2. Комаров В.И. Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. – 1997. – № 6. – С. 25–44. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Комаров В.И., Казаков Я. В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Лесн. вестник. – 2000. – № 3 (12). – С. 52–62.
4. Комаров В.И. «Критическая» длина волокна – фактор, определяющий деформативность и прочность целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. – 1993. – № 4. – С. 79–83. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Комаров В.И. Механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов. // Лесн. журн. – 1999. – № 4. – С. 96–103. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Комаров В.И. J-интеграл – характеристика структуры целлюлозно-бумажных материалов // Целлюлоза, бумага, картон. – 1997. – № 5-6. – С. 26–29.
7. Новикова Н.А. Исследование деформационных свойств бумаги для печати: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1975. – 20 с.
8. Силенко П.М. Динамика бумажного листа в транспортных системах полиграфических машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: 1993. – 45 с.

9. Факторы, определяющие качество прохождения бумаги через печатную машину / М.А. Остреров, А.Б. Курятников, Г.И. Кудряшова и др. // Целлюлоза, бумага, картон. – 1993. – № 1. – С. 26–27.

10. *Чижов Г.И.* Влияние состава гидроксидов алюминия на их активность по отношению к целлюлозе // Бум. пром-сть. – 1985. – № 4. – С. 9–11.

11. SCAN – P77:95. Fracture toughness: Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. – 8 p.

12. T494 om – 88. Tensile breaking properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus): Approved by the Physical Properties Committee of the Process and Product Quality Division TAPPI. – 5 p.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 29.01.01.

V.I. Komarov, M.Yu. Kuznetsov

Influence of pH Paper Mass on the Viscoelastic Properties of Paper for Printing

It is found that changing of viscoelastic and standard strength properties of paper for printing with the growth of paper mass pH under casting bears aperiodic character.
