

такой же емкости подаются мягкие отходы лесопиления и деревообработки (опилки, стружки-отходы и т. п. влажностью также не более 30 %).

Физико-механические показатели плит

Толщина, мм	5—20
Плотность, кг/м ³	600—800
Разбухание по толщине за 24 ч, % (не более)	25
Предел прочности, МПа (не менее):	
при изгибе	16
при разрыве перпендикулярно пласти	0,3

Из бункера древесного сырья щепы винтовым конвейером направляется в зубчато-ситовую дробилку, откуда древесные частицы подаются пневмотранспортом на ситовую сортировку. Из второго бункера древесный материал по винтовому конвейеру доставляется в дробилку, а после измельчения — пневмотранспортом на ситовую сортировку.

При полном заполнении бункеров и остановке главного конвейера скребковый конвейер направляет древесное сырье на вывоз или открытый склад.

На ситовой сортировке древесные частицы разделяются на две фракции — крупную и мелкую. Крупная фракция винтовыми конвейерами подается в зубчато-ситовую дробилку, откуда измельченный материал пневмотранспортом возвращается на ситовую сортировку.

Кондиционные древесные частицы по винтовому конвейеру идут в паровую сушилку барабанного типа. После подсушки до требуемой влажности они скребковым и винтовым конвейерами транспортируются в дозирочный бункер, откуда поступают в скоростной смеситель для смешивания со связующим на основе карбамидоформальдегидной или фенолоформальдегидной смол. При использовании минеральных вяжущих древесные частицы смешиваются в смесителе с порошкообразным каусти-

ческим магнезитом и раствором хлористого магния (бишофита).

Осмоленные древесные частицы скребковым и винтовым конвейерами транспортируются на формирующую станцию. Насыпка ковра на жесткие металлические поддоны главного конвейера осуществляется методом виброфракционирования. На пакеты ковер делится с помощью коробов (люлек).

Древесные частицы из разделительных коробов и бракованных пакетов сбрасываются в бункер бракованного ковра и оттуда возвращаются на формирующую станцию.

При изготовлении плит с отделкой декоративной бумагой или неткаными синтетическими материалами осмоленная стружка перед формированием ковра подсушивается. Отделочный материал с помощью специального укладчика помещается на жесткий металлический поддон перед формирующей станцией и подается на сформированный пакет.

Прессование древесностружечных плит ведется в гидравлическом четырехэтажном прессе ДО-839 (усилием 8000 кН) с паровым обогревом. Для придания изделиям определенного профиля пресс может быть оснащен пресс-формами.

Отпрессованные плиты отделяются от поддонов и поступают в станок, где обрезаются до формата 900×1800 мм и затем укладываются в стопы. Отходы от форматной обрезки измельчаются фрезами и пневмотранспортом возвращаются в технологический процесс.

При изготовлении плоских плит для мебельного производства комплект может быть дополнен линией калибрования-шлифования плит ДЛШ-95 и линией отделки АКДА-4940 для облицовывания пластей плит натуральным или синтетическим шпоном.

Промышленное изготовление комплектов СПД-5 начато в 1992 г. Оборудование будет поставляться на основе хозяйственных договоров с ВНИИдревом, с оказанием широкого комплекса услуг по монтажу и обработке технологического процесса.

УДК 674.815

Взаимосвязь технологических параметров и структурно-механических характеристик древесностружечных плит в системах неразрушающего контроля их качества

М. И. КУЛАК, канд. физ.-мат. наук, Г. М. ШУТОВ, д-р техн. наук — Белорусский технологический институт имени С. М. КИРОВА

Одним из способов повышения качества древесностружечных плит и обеспечения их конкурентоспособности на мировом рынке является использование в технологических процессах производства автоматизированных систем неразрушающего контроля качества (НKK) плит [1, 2].

Информативность и реализуемость методов НKK во многом зависят от выраженных в виде различных функциональных соотношений взаимосвязей между нормированными показателями стандартных методов испытания образцов плит и параметрами НKK. Поскольку система таких функциональных зависимостей, как правило, не бывает полной, то для ее замыкания используются регрессионные зависимости. Так, в [1] для этих целей применяют регрессионные зависимости между прочностными и упругими характеристиками плит. Вместе с тем авторы работы [1] отмечают ограниченность регрессионных зависимостей, возможные проблемы с их получением и корректировкой для предприятий, у которых существенны различия в параметрах

технологического процесса, а также необходимость использования сложных и трудоемких методов множественной регрессии.

В работе [3] было показано, что основной структурный параметр плит может быть найден методами НKK. Рассмотрелись методы НKK, основанные на использовании проникающего излучения, в частности, гамма-излучения. Схема измерительного модуля такой системы представлена на рис. 1. Предполагается, что ослабление падающего на плиту толщиной H потока излучения I_0 происходит по закону

$$I = I_0 \exp(-\mu H). \quad (1)$$

Для коэффициента ослабления излучения μ получено следующее выражение

$$\mu = \mu_n + (\mu_d - \mu_n) H D - d. \quad (2)$$

где μ_d — коэффициент ослабления гамма-излучения древесиной;

μ_n — коэффициент ослабления гамма-излучения в поровом пространстве плиты.

Выражение (2) позволяет вычислять

структурный параметр D непосредственно по данным о рассеянии излучения в плите.

В данной работе D используется для установления функциональных взаимосвязей между упруго-прочностными характеристиками плит и технологическими параметрами их производства, что позволяет отказаться от использования трудоемких статистических методов.

В рамках разработанного подхода прочность древесностружечной плиты в слоях, соответствующих максимуму плотности, определяется по формуле

$$\sigma = \sigma_d k \omega (n_d + n_c \epsilon_c / \epsilon_d), \quad (3)$$

где σ_d — прочность древесины; ϵ_d — модуль упругости древесины; ϵ_c — модуль упругости связующего;

n_d — объемная доля древесины в плите;

n_c — объемная доля связующего;

k — степень покрытия связующим поверхности контакта частиц [4, 5];

ω — степень контактности, равная отношению площади контак-

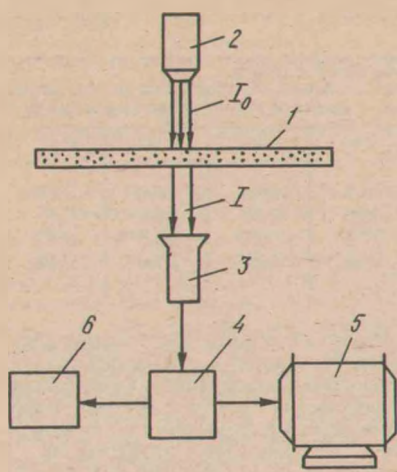


Рис. 1
Измерительный модуль:

1 — древесностружечная плита; 2 — источник излучения; 3 — сцинтилляционный счетчик с фотоэлектронным умножителем ФЭУ-22А; 4 — микропроцессорный контроллер; 5 — терминал; 6 — ЭВМ верхнего уровня управления

тов к общей площади поверхности стружки [6].

В работе учтена микроструктура клевого слоя плиты. В результате получено следующее выражение для определения объемной доли древесины:

$$n_d = n_{ст} - s_d n_{к.с.} \quad (4)$$

Объемная доля клевого слоя при объемной доле стружки в плите $n_{ст}$ равна

$$n_{к.с.} = 2a_i n_{ст} (lb + lh + bh) / lbh. \quad (5)$$

Доля клевого слоя, приходящаяся на древесину, составляет

$$s_d = 4b_i (1 - b_i/a_i) / a_i, \quad (6)$$

где l, b, h — соответственно длина, ширина, высота древесных частиц;

a_i, b_i — размер и толщина стенки древесной клетки.

Для конкретных вычислений по (3) — (6) были использованы усредненные данные о микроструктуре сосны: $a_i = 25$ мкм, $b_i = 3,5$ мкм. Объемная доля связующего в древесностружечной плите полагалась $n_c = 0,04$, средневзвешенные размеры стружки были вычислены по данным [7] о распределении ее фракций и размеров в реальном стружечном потоке и составили $l = 8,44$ мм, $b = 1,28$ мм, $h = 0,32$ мм.

Экспериментальные данные, полученные в работе [6], показывают, что физически значимые величины степени контактности частиц в древесностружечной плите составляют порядка 0,7.

Степень покрытия связующим поверхности контакта частиц выражается через степень покрытия связующим всей поверхности частиц k_n :

$$k = 2k_n + k_n^2. \quad (7)$$

В работе [4] экспериментально установлена зависимость степени покрытия

поверхности частиц от расхода связующего. Для принятого расхода она равна 0,37. Далее по (7) получаем $k = 0,60$.

Для того, чтобы вычислять распределение прочности в плите при любых законах изменения ее плотности, разработана специальная алгоритмизированная пошаговая процедура.

Прочность некоторого произвольного слоя i

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} / (1 - \Delta n_i + \Delta n_i E_d / E_i). \quad (8)$$

«Пройдя» последовательно от поверхности до центра плиты, получим распределение прочности слоев. Шаг контролируется по закону распределения плотности и выбирается таким, чтобы выполнялось условие малости $\Delta n_i < 0,1$.

Наиболее противоречивы данные о влиянии толщины частиц на прочность плит. Результаты вычисления по (8) зависимости прочности плиты при растяжении перпендикулярно плите от толщины стружки представлены на рис. 2. Значения прочности древесины (порода сосна) взяты из [8]. Содержание связующего, в массовых долях, полагалось равным 10%. Для пересчета массовых долей связующего и стружки в объемные необходимы данные о плотностях плиты, древесины и связующего. Плотность связующего полагалась [7, 9] 1200 кг/м³. Зависимость плотности плиты от толщины стружки взята по данным работы [10], зависимость плотности древесины в плите от плотности плиты вычислялась по данным работы [5]. Как показали исследования [4], геометрические размеры стружки влияют на степень покрытия связующим поверхности частиц. При этом степень покрытия зависит от ряда конструктивных параметров смесителя, характеристик связующего, которые полагались постоянными, а также от характеристик стружки: размеров, плотности древесины, насыпной плотности стружки. Для расчетов использовались зависимости насыпной плотности стружки от ее размеров, приведенные в работе [11]: длина стружки 35 мм, ширина 10 мм.

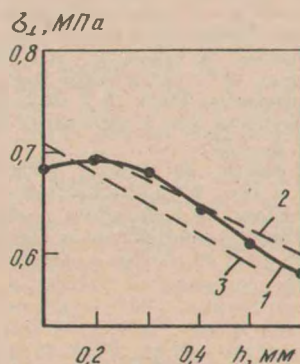


Рис. 2

Влияние толщины стружки на прочность древесностружечных плит при растяжении перпендикулярно плите

Как свидетельствуют результаты теоретических расчетов, представленные на рис. 2 (кривая 1), прочность плиты при растяжении перпендикулярно плите

слабо изменяется с увеличением толщины древесных частиц, что подтверждается также хорошим совпадением с экспериментальными данными [7, 10] (прямые 2, 3). Учет неоднородности структуры материала по толщине плиты, как и предполагалось в [7], позволяет в определенной мере объяснить противоречивость данных: первоначально прочность действительно незначительно возрастает, поскольку по мере увеличения толщины стружки уменьшается неоднородность структуры материала. Однако при дальнейшем увеличении толщины частиц эта слабая тенденция сглаживается более сильной, состоящей в том, что заметно уменьшается доля клевого слоя и, кроме этого, поскольку у более толстых частиц больше степень укладки, уменьшается также степень покрытия их связующим. Оптимальной для достижения высокой прочности на разрыв перпендикулярно плите можно считать толщину частиц 0,2—0,3 мм, что подтверждается также результатами работы [12].

Результаты расчета зависимости прочности плиты на изгиб от толщины стружки также получаются в хорошем соответствии с экспериментальными данными [10], а характер изменения прочности качественно совпадает с классическими результатами, полученными В. Клаудицем [7]. Неоднородность структуры не оказывает существенного влияния в данном случае, так как при изгибе в наибольшей степени нагружены наружные слои плиты.

Перейдем к рассмотрению зависимости прочности древесностружечных плит от длины и ширины частиц. Как уже отмечалось, такое же влияние на прочность плит, как и размеры древесных частиц, оказывает содержание связующего. Отличительная особенность предлагаемого подхода состоит в том, что учитывается не только объемное содержание связующего в плите, но и его распределение по частицам.

Зависимость прочности плиты при растяжении в ее плоскости от длины частиц показана на рис. 3 (кривая 1).

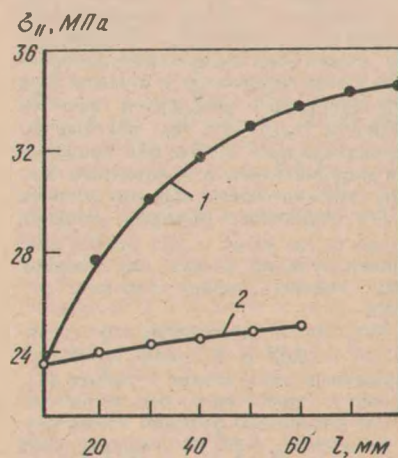


Рис. 3

Зависимость прочности древесностружечных плит при растяжении в плоскости от длины частиц

Фракционный состав	Размеры частиц $l \times b \times h$, мм	Прочность, МПа, по					
		экспериментам		расчетам		фрактальной теории	
		изгиб	раст.	изгиб	раст.	изгиб	раст.
1/0	2×0,5×0,1	11	0,14	6,5	0,34	14,3	0,28
2/1	5×0,7×0,2	20	0,31	18,5	0,52	23,5	0,53
3/2	7×0,8×0,3	28	0,34	27,5	0,66	26,0	0,65
5/3	10×1,5×0,4	19	0,26	24,0	0,80	20,0	0,53

Здесь же приведены для сравнения результаты вычисления прочности при растяжении в плоскости плиты по методу, развитому в работе [9] (прямая 2). Сопоставляя данные расчетов, можно заключить, что принятый в [9] подход пригоден для расчета прочности древесностружечных плит с малыми линейными размерами стружки, в частности длиной до 10 мм, поскольку, как свидетельствуют приведенные в [9] результаты расчетов, теория практически не отражает их изменение.

Зависимости, показанные на рис. 3, а также результаты вычисления прочности плит на изгиб и при растяжении перпендикулярно пласти говорят о том, что граница рациональной длины стружки приходится на 40—50 мм, дальнейшее ее увеличение не приводит к существенному возрастанию прочности плит.

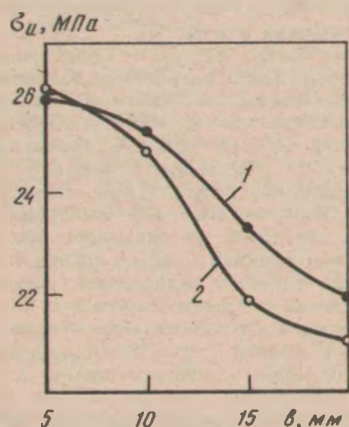


Рис. 4

Влияние ширины частиц на прочность древесностружечных плит при изгибе

На рис. 4 представлены результаты вычисления зависимости прочности плит на изгиб (кривая 1) от ширины частиц и экспериментальные данные [10] (кривая 2). Аналогичный характер изменения прочности плит на изгиб при увеличении ширины стружки получен и в экспериментах И. М. Дыскина [11], но количественные значения прочности в этих работах на 20 % выше. Как свидетельствуют результаты расчета прочности плит при их растяжении перпендикулярно пласти, она уменьшается незначительно с увеличением ширины стружки. Таким образом, с точки зрения сохранения высоких значений прочности на изгиб и при растяжении перпендикулярно пласти, оптимальной можно считать ширину стружки 10—15 мм.

Наиболее последовательный структурный подход в механике древесностружечных плит развит в работе [7]. Результаты расчетов прочности плит из частиц различных фракций по методу, предложенному в [7], и по фрактальной теории, а также экспериментальные данные работы [7] приведены в табл. 1. Из нее можно заключить, что характер изучаемых зависимостей и численные значения прочности плит, полученные в обоих подходах, близки,

а в отдельных случаях совпадают. Если сравнивать теоретические значения с экспериментальными, то видно, что фрактальный подход выявляет более близкий к результатам эксперимента характер изменения прочности при растяжении перпендикулярно пласти с увеличением фракции частиц — у плит из частиц фракции 3/2 прочность достигает максимального значения и начинает уменьшаться.

При рассмотрении влияния содержания связующего на прочность древесностружечных плит необходимо учитывать, что объемная доля связующего, при принятых в технологических процессах нормах его расхода, мала и составляет 5—10 %. Данное обстоятельство позволяет выделить отдельно проблему склеивания частиц древесины в плитах и анализировать особенности склеивания при малых расходах связующего [7].

Результаты расчета прочности плит различной плотности при изгибе с изменением массовой доли связующего от 0 до 14 % представлены на рис. 5. Общий характер зависимостей качественно соответствует изложенным в работе [7] теоретическим представлениям об изменении прочности клевого слоя при изменении расхода связующего. Отметим, что расчеты выполняются по зависимостям (3) — (8) и дополнительно не приходится привлекать никаких допущений. Как видно на рис. 5, имеется удовлетворительное соответствие и с экспериментальными результатами, полученными в работе [10]. На этом же рисунке приведены графики (кривые 5, 6) относительного изменения прочности плит при увеличении в них содержания связующего. Анализируя их, можно заключить, что с увеличением содержания связующего сверх 10 % на каждые 2 % прочность плит возрастает не более чем на 3—4 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что древесностружечные плиты являются подклассом древеснополимерных композиционных материалов и поэтому их упругие и прочностные свойства подчиняются известным для таких материалов общим закономерностям и описываются фундаментальными теоретическими методами, основанными на использовании теории фракталов.

Развитый подход даст возможность через фрактальную размерность структуры установить функциональную связь механических свойств с другими технологическими параметрами их производства. В качестве иллюстрации в табл. 2 показано, как влияют изменения давления прессования, а также влажности наружных и внутренних слоев стружки на размерность структуры. Для вычислений использованы данные экспериментов [10].

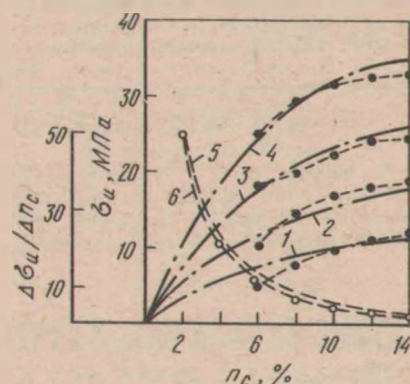


Рис. 5

Зависимость прочности древесностружечных плит при изгибе от содержания связующего для плит плотностью, кг/м³: 1—500; 2—600; 3—700; 4—800; 5—500; 6—800

В заключение можно сделать следующие основные выводы и дать практические предложения, исходя из установленных в работе взаимосвязей между технологическими параметрами процесса производства плит и их структурно-механическими характеристиками.

1. Разработан и реализован в виде программы для ЭВМ новый теоретический подход, позволяющий установить функциональную связь наиболее значимых технологических параметров древесностружечных плит (содержания связующего, размеров, фракционного состава и влажности стружки, давления прессования) со свойствами плит (профилем плотности, модулями упругости,

Таблица 2

Давление прессования, МПа	Фрактальная размерность	Влажность слоев стружечного пакета, %		Фрактальная размерность
		наружных	внутренних	
1,6	2,85	12	12	2,79
2,0	2,83	14	11	2,73
2,6	2,80	18	9	2,67

прочностью при изгибе, при растяжении в плоскости и перпендикулярно пласти). Достоверность полученных данных подтверждена путем сопоставления с большим объемом экспериментальных данных и результатами расчетов по другим методикам.

2. Применение предложенного подхода в системах НКК позволит существенно повысить их информативность и расширить круг контролируемых параметров, поскольку появляется возможность определять не только интегральные или средние их значения (плотности, прочности и т. д.), но и распределение характеристик. Данное обстоятельство особенно существенно для анализа качества древесностружечных плит, так как для плит характерна неоднородность структуры в направлении перпендикулярно пласти, а следовательно, и свойств.

Кроме этого, можно упростить аппаратное оформление метода НКК, поскольку необходимо измерять с помощью проникающего излучения один параметр — фрактальную размерность и этого достаточно для расчета остальных свойств. В существующих системах НКК для каждого параметра приходится предусматривать отдельный модуль — модуль измерения толщины, модуль измерения плотности, упругости и т. д.

3. Перспективным является использование подхода и разработанной программы в составе АСУ ТП, поскольку они позволяют прогнозировать количе-

ственно, каким образом изменение перечисленных в п. 1. технологических параметров скажется на структурно-механических свойствах плит.

4. Наличие функциональной связи между технологическими параметрами и свойствами плит, а в более общем случае — композиционных древесных материалов, позволяет решать и обратные задачи, т. е. использовать метод для разработки САПР ТП. В практическом плане он позволяет, задавшись свойствами материала, подобрать параметры технологического процесса для его получения.

5. Практическая реализация предложенного подхода позволит существенно снизить материальные и трудовые затраты на производство древесностружечных плит за счет автоматизации трудоемких операций по измерению и контролю параметров технологического процесса и свойств плит, обеспечения устойчивости и оптимизации технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абельсон А. Ф., Лежень В. Н., Нуллер И. Я., Поташев О. Е. Неразрушающий контроль качества древесностружечных плит // *Деревообаб. пром-сть.* — 1991. — № 10. — С. 12—16.
2. Голубов И. А. Методы неразрушающего контроля древесных плит. — М.: Лесная пром-сть. — 1982. — 152 с.
3. Кулак М. И. Структурная механика древесностружечных плит // *Деревообаб. пром-сть.* — 1991. — № 3. —

С. 21—22.

4. Векслер А. К. Исследование процесса проклеивания древесных стружек распыленным связующим. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1969. — 25 с.
5. Соснин М. И., Климова М. И. Физические основы прессования древесностружечных плит. Новосибирск: Наука, 1981. — 193 с.
6. Шестакова З. Я. Исследование процесса контактирования древесных частиц при склеивании древесностружечных плит. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1973. — 19 с.
7. Поташев О. Е., Лапшин Ю. Г. Механика древесных плит. М.: Лесная промышленность, 1982. — 112 с.
8. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине / Под ред. Б. Н. Уголева. — М.: Лесная промышленность, 1989. — 296 с.
9. Поздняков А. А. Прочность и упругость композиционных древесных материалов. М.: Лесная промышленность, 1988. — 136 с.
10. Шварцман Г. М., Щедро Д. А. Производство древесностружечных плит. — М.: Лесная промышленность, 1987. — 320 с.
11. Отливанчик А. Н. Производство и применение древесностружечных плит. — М.: Госстройиздат, 1962. — 311 с.
12. Анисова Н. П. Исследование влияния структурно-механических и технологических факторов на физико-механические свойства древесностружечных плит. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Красноярск, 1973. — 20 с.

УДК 684.4:676.264

Декоративно-защитные бумажные материалы на основе термопластичных связующих

В. А. ВИНОСЛАВСКИЙ, В. И. АЗАРОВ, Т. П. МОРОЗОВА — Московский лесотехнический институт

В настоящее время облицовочные декоративно-защитные материалы получают в результате пропитки полотна текстурной бумаги растворами терморективных олигомеров. Затем полотно сушат. Во время этой операции испаряются низкомолекулярные соединения и одновременно отверждается терморективный олигомер. После чего получают листовую либо рулонный облицовочный материал с определенными физико-механическими свойствами. Необходимые эксплуатационные свойства он приобретает в результате химических процессов отверждения олигомера, сопровождающихся образованием жесткой полимерной матрицы, в которой равномерно распределены целлюлозные волокна бумаги.

Применение терморективных карбамидоформальдегидных и смешанных карбамидомеламинформальдегидных

олигомеров обусловлено их дешевизной и доступностью даже при 40—60 %-ном содержании полимера в композиции. Однако в процессе сушки пропитанного бумажного полотна выделяются в значительных количествах токсичные продукты (формальдегид, метанол и т. п.)¹, а для получения облицовочного полотна в рулонах необходимо в пропиточные растворы вводить острodefицитные пластификаторы. Поэтому важно было выяснить влияние термопластичных полимеров, применяемых для пропитки бумаги в виде водных дисперсий или истинных растворов, на свойства получаемых облицовочных материалов.

В качестве термопластичных полимеров использовали поливиниловый спирт (ПВС) в виде водных растворов различной концентрации, а также сополимеры бутадиена, стирола, метакриловой и нитрилоакриловой кислот в виде латексов марок БС-65, БСК-65/4, БНК-302, БН-30К-2, БСН-ГК, ДММА-65ГП, разбавленных водой до требуемого сухо-

го остатка. Дисперсиями сополимеров или же водным раствором ПВС пропитывали бумагу-основу массой 100 г/м² марки РВА (Германия), либо массой 130 г/м² марки ДФЛО отечественного производства.

Полученные бумаги испытывали по методикам, изложенным в ТУ 13-027-3250-87 «Материал облицовочный рулонный».

Пропитка бумаги-основы дисперсиями сополимеров при содержании сухого остатка 40±5 % ведет к образованию на поверхности полотна сплошной полимерной пленки, в результате чего материал теряет декоративные свойства. Снижение же концентрации сополимеров в воде до 25 % и менее влияния на декоративные свойства бумаг уже не оказывает. Поэтому требовалось выяснить влияние содержания сухого остатка в пределах 10—20 % на некоторые физико-механические свойства материала на бумажной основе после его пропитки латексами и сушки.

¹ См. нашу статью «Вредные выбросы из полимерных материалов на бумажной основе» в журнале № 8 за 1991 г.