

АНАЛИЗ СВОЙСТВ И УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА КАРТОНА-ЛАЙНЕРА И ФЛЮТИНГА С ЖЕСТКОСТЬЮ ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА

Е.В. Дернова¹, В.В. Гораздова¹, Д.А. Дулькин¹, И.В. Лавров²

¹ООО «УК «Объединенные бумажные фабрики», Россия

²ООО «Сухонский КБК», Россия

Представлена статистическая характеристика свойств гофрокартона различного композиционного состава, а также результаты парного корреляционного и множественного регрессионного анализа, позволяющий оценить наличие и тесноту взаимосвязей между совокупностью свойств исходных компонентов и показателями, отражающими жесткость гофрокартона.

ANALYSIS OF THE PROPERTIES AND ESTABLISHMENT OF RELATIONSHIPS BETWEEN THE QUALITY CHARACTERISTICS OF LINER AND FLUTING WITH THE STIFFNESS OF CORRUGATED CARDBOARD

E.V. Dernova¹, V.V. Gorazdova¹, D.A. Dulkin¹, I.V. Lavrov²

¹LLC “MC “Consolidated paper mills”, Russia

²LLC “Sukhonsky CPM”, Russia

The article presents a statistical characteristic of the properties of corrugated board of various compositions, as well as the results of paired correlation and multiple regression analysis, which makes it possible to assess the presence and closeness of relationships between the set of properties of the initial components and indicators reflecting the rigidity of corrugated board.

Важнейшей характеристикой гофрокартона является его жесткость, поскольку производимые из него тара и упаковка должны, в первую очередь, выполнять функцию защиты содержимого.

Прочность и жесткость картонной тары определяется, прежде всего, свойствами исходных компонентов (картона-лайнера и флютинга), а также теми изменениями, которые происходят в процессе изготовления тары.

Вместе с тем, одной из основных тенденций развития упаковочной отрасли является стремление к снижению массоемкости тары и объема упаковки при сохранении ее прочности и жесткости.

Компоненты гофрокартона даже внутри одной марки могут иметь большой разброс значений физико-механических характеристик, что существенно затрудняет точный прочностной расчет коробок и ящиков [1-5].

Целью настоящего исследования является установление взаимосвязей характеристик качества флютинга и картона-лайнера с жесткостью гофрированного картона с оценкой возможности последующего снижения массоемкости 1 м^2 продукции на 7...8 %.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы исходных гофро материалов, а также соответствующих им образцов гофрированного картона. При этом для испытаний использовали две разновидности образцов гофрокартона – из заготовок и непосредственно из готовых ящиков.

Для испытаний и анализа были выбраны две марки гофрокартона – T232 и T241 (тип гофра *B*), отличающиеся композицией исходных компонентов. Применительно ко всем исследуемым образцам гофрированного картона (заготовка и ящик) выполнены измерения толщины, массы 1 м^2 , сопротивления сжатию *ECT*, сопротивления продавливанию *BST* и жесткости при изгибе S_b по методу 4-х точечного изгиба. Образцы компонентов гофрокартона подвергали комплексной оценке свойств, включая стандартные показатели качества (масса 1 м^2 , SCT_{MD} , SCT_{CD} , CMT , CCT , RCT , $P_{уд}$) и дополнительные характеристики, отражающие жесткость материалов при изгибе (S_b) и растяжении (S_t , E_l , A_p и ϵ_p).

С использованием полученной обобщенной выборки результатов испытаний проведен парный корреляционный и множественный регрессионный анализ, позволяющий статистически оценить наличие и тесноту взаимосвязей между совокупностью свойств исходных компонентов и показателями, отражающими жесткость гофрокартона – *ECT* и S_b .

Справочно, на рис. 1, представлено сопоставление значений толщины образцов гофрокартона, вырезанных из заготовок и ящиков. Рис.1 демонстрирует практически полное отсутствие различий в значениях толщины образцов марки T232, что, по-видимому, обусловлено наличием на образцах заготовок линий рилевок.

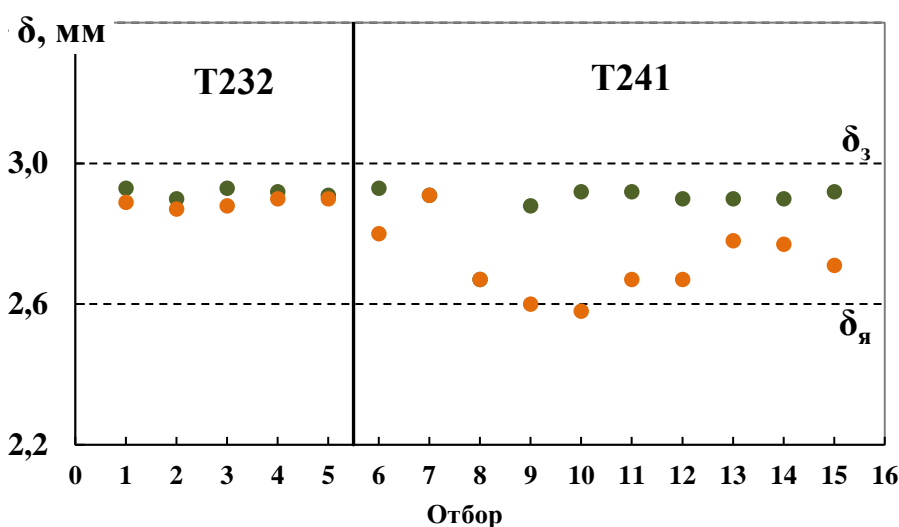


Рис. 1. Сопоставление значений толщины образцов гофрокартона, вырезанных из заготовок и из ящиков: δ_3 – толщина заготовок, $\delta_я$ – толщина ящиков

Для образцов марки T241, вырезанных из ящика, т.е. после неоднократного воздействия сжимающих усилий при переработке, наблюдается снижение толщины на величину до 12 %, что соответствующим образом отражается на характеристиках его качества (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики качества исследуемых образцов гофрокартона

Марка ГК	Характеристика	Заготовка					Ящик				
		S_b^{MD} , Н·м	S_b^{CD} , Н·м	S_b^{cp} , Н·м	ECT , кН/м	BST , кПа	S_b^{MD} , Н·м	S_b^{CD} , Н·м	S_b^{cp} , Н·м	ECT , кН/м	BST , кПа
T232	\bar{X}	2,15	1,13	1,55	3,38	654	1,90	1,22	1,52	3,40	615
	<i>min</i>	1,74	0,85	1,29	3,20	567	1,75	1,11	1,39	3,29	555
	<i>max</i>	2,36	1,26	1,72	3,57	736	2,11	1,35	1,67	3,46	752
T241	\bar{X}	2,20	1,42	1,76	3,78	681	1,69	1,18	1,41	3,51	661
	<i>min</i>	1,67	1,33	1,59	3,55	595	1,34	0,86	1,07	2,89	593
	<i>max</i>	2,88	1,52	1,96	4,03	775	2,17	1,36	1,72	3,90	744

Примечание. \bar{X} – среднее значение; *min* – минимальное значение; *max* – максимальное значение в выборке

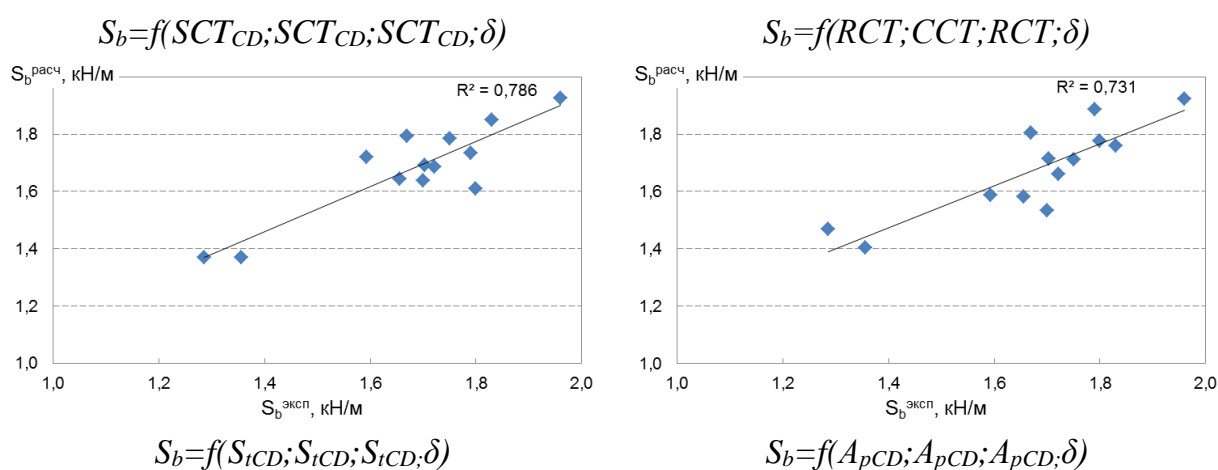
Множественный регрессионный анализ осуществлялся статистическими инструментами стандартного приложения *Microsoft Excel*, пример стандартного представления результатов расчета регрессионной модели, включая оценку адекватности на основе критерия

Фишера, представлен на рис. 2 применительно к зависимости ECT гофрокартона от его толщины и значений SCT_{CD} каждого из компонентов.

ВЫВОД ИТОГОВ		$ECT=f(SCT_{CD};SCT_{CD};SCT_{CD};\delta)$					заготовка	
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный R	0,93							
R-квадрат	0,86							
Нормированный R-квадрат	0,79							
Стандартная ошибка	0,12							
Наблюдения	13							
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	4	0,69	0,17	12,166	0,002			
Остаток	8	0,11	0,01					
Итого	12	0,80						
		<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	
Y-пересечение		3,11	1,79	1,74	0,12	-1,02	7,23	
Переменная X 1		-0,10	0,25	-0,42	0,68	-0,67	0,46	
Переменная X 2		0,84	0,25	3,40	0,01	0,27	1,42	
Переменная X 3		0,15	0,37	0,41	0,69	-0,70	1,00	
Переменная X 4		-0,59	0,57	-1,05	0,32	-1,90	0,71	

Рис. 2. Пример результата расчета регрессионной модели

На рис. 3, 4 проиллюстрированы отдельные зависимости между показателями S_b и ECT гофрокартона и характеристиками лайнера и флютинга.



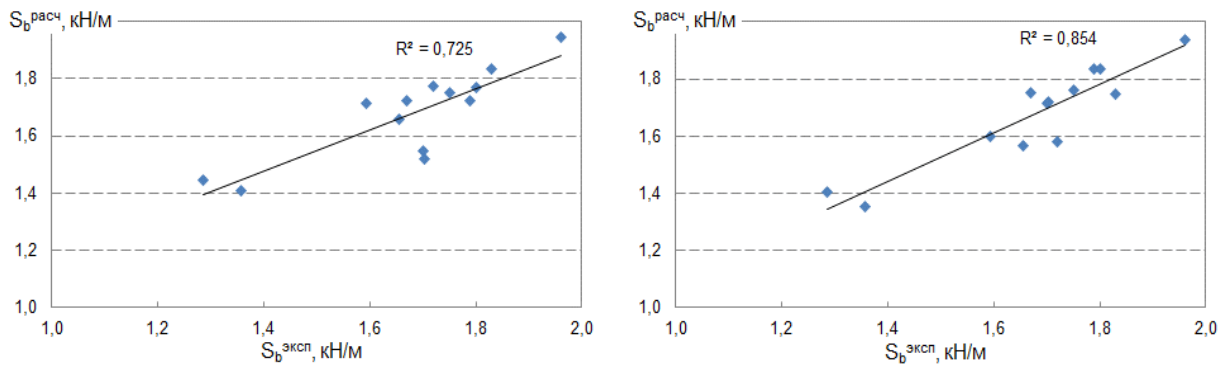
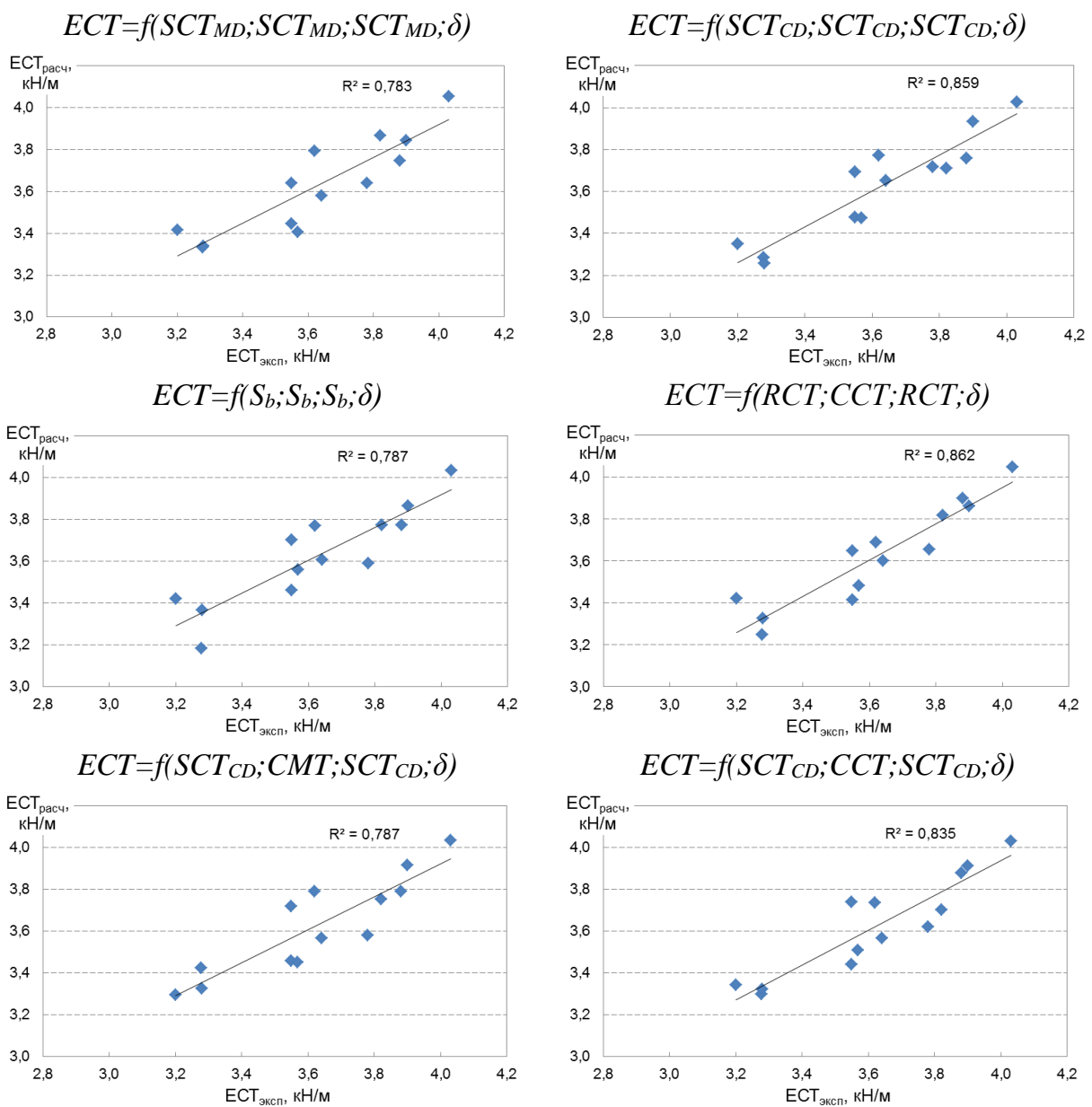


Рис. 3. Зависимость S_b гофрокартона от физико-механических характеристик его КОМПОНЕНТОВ



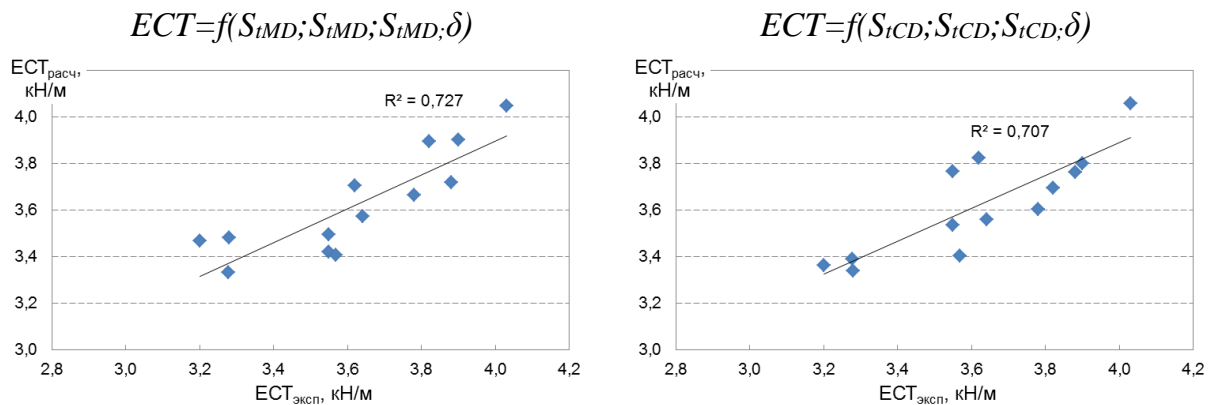


Рис. 4. Зависимость ECT гофрокартона от физико-механических характеристик его компонентов

Параметры, оценивающие адекватность зависимости между экспериментальными и расчетными выходными параметрами (коэффициент детерминации R^2 и значение критерия Фишера $F_{расч}$) свидетельствуют о следующих выявленных закономерностях:

- более высокие значения коэффициентов детерминации R^2 и множественной корреляции $R_{мн}$ получены для уравнений регрессии, в которых наряду с другими влияющими параметрами учитывается толщина гофрокартона. Это обусловлено тем, что толщина является объединяющим параметром структуры материала, преимущественно связанным с высотой гофра и непосредственно влияющим на жесткость и прочность гофрокартона. Вместе с тем, толщина гофрокартона не зависит от используемых в моделях физико-механических характеристик его компонентов;

- сопротивление сжатию гофрированного картона по методу ECT в расчетных моделях ожидаемо зависит от уровня совокупности стандартных характеристик сопротивления сжатию слоев картона-лайнера и флютинга, причем в различных сочетаниях. При этом максимальные значения R^2 ($R^2 = 0,86$) получены для зависимостей ECT от совокупности значений SCT_{CD} всех компонентов, совокупности RCT плоских слоев и CCT флютинга, совокупности SCT_{CD} лайнеров и CCT флютинга, а также $P_{уд}$ всех компонентов. В данных случаях коэффициент множественной корреляции достигает значения $0,91...0,93$. Вместе с тем, проверка зависимости ECT гофрокартона от указанных показателей качества лайнеров и толщины (без учета характеристик флютинга) обнаруживает невысокие значения коэффициентов R^2 и $R_{мн}$;

- второй, не менее важный показатель, характеризующий сопротивление гофрокартона сжимающим нагрузкам – жесткость при статическом изгибе, обнаруживает зависимости подобные выявленным для *ECT*. И в этом случае максимальные значения R^2 наблюдаются от совокупностей значений SCT_{CD} всех слоев, а также от CST и $P_{уд}$ флютинга;
- при рассмотрении влияния на сопротивление сжатию гофрокартона альтернативных характеристик гофроматериалов, оценивающих их сопротивляемость растягивающим и изгибающим нагрузкам, установлены дополнительные тесные взаимосвязи *ECT* с жесткостью при растяжении лайнера и флютинга (вне зависимости от направления приложения нагрузки), жесткостью при изгибе, а также деформацией разрушения, измеренной в поперечном направлении;
- применительно к жесткости при изгибе гофрокартона, в отличие от *ECT*, наиболее тесная взаимосвязь обнаружена с другими альтернативными характеристиками компонентов, а именно с жесткостью при растяжении и работой разрушения в поперечном направлении. При этом следует отметить отсутствие статистически приемлемой взаимосвязи между жесткостью при изгибе гофрокартона и жесткостью при изгибе его компонентов вне зависимости от направления приложения нагрузки при измерении.

Список литературы

1. H.Markstrom Testing Methods and Instruments for Corrugated Boards. – Ostervalva: Elanders Tofters AB, 1999. 103 p.
2. Казаков Я.В., Гурьев А.В., Комаров В.И., Крыжановский А.О., Журавлева А.Н. Жесткость при изгибе гофрокартона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. № 6. С. 50–52.
3. Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 440 с.
4. Денисенко В.П., Тертицкий М.И. Корреляционный анализ в целлюлозно-бумажном производстве. М.: Лесн. пром-сть, 1968, 152 с.
5. Комаров В.И. Жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов. Анализ методов измерения и влияния технологических факторов // Лесн. журн. 1994. № 3. С.133–142 (Изв. высш. учеб. заведений).