



ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ПРОИЗВОДСТВО
ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Научная статья
УДК 676.273.3
DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-210-220

Конструкционная прочность изделий из гофрированного картона

И.А. Косарев[✉], мл. науч. сотр.; ResearcherID: [KRO-8581-2024](https://orcid.org/0009-0005-5306-8046),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5306-8046>

А.В. Гурьев, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [H-1586-2019](https://orcid.org/0000-0002-3372-3286),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3372-3286>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; i.kosarev@narfu.ru[✉], a.guriev@narfu.ru

Поступила в редакцию 10.09.24 / Одобрена после рецензирования 26.10.24 / Принята к печати 31.10.24

Аннотация. Исследована конструкционная прочность изделий из гофрированного картона с целью оптимизации параметров, влияющих на устойчивость и жесткость материалов при торцевом сжатии. Произведены лабораторные образцы, отличающиеся количеством элементов (от 1 до 6) и углом расположения линий склейки вершин гофров (от 0° до 90° с шагом 15°) относительно машинного направления. Разработана методика оценки конструкционной прочности и устойчивости образцов с различными параметрами в условиях торцевого сжатия. Результаты показали прямую зависимость конструкционной прочности изделий от угла наклона гофров и количества элементов изделия. Установлены предельные деформации образцов при сжатии, а также ключевые зависимости между этими параметрами. Особое внимание уделено коэффициенту вариации между предельной деформацией и углом расположения линий гофров, что позволило более глубоко изучить разрушение изделий при торцевом сжатии. Определены оптимальные параметры для повышения жесткости и прочности изделий, даны рекомендации по выбору угла расположения линий гофров и количества элементов, которые могут быть использованы для улучшения производственных процессов. Исследовано влияние коэффициента вариации предельной деформации на сопротивление торцевому сжатию, что позволило спрогнозировать направления для оптимизации методики испытаний образцов. Полученные результаты могут найти широкое применение в сфере использования изделий из гофрированного картона в различных отраслях промышленности, требующих высоких прочностных характеристик этого упаковочного материала.

Ключевые слова: конструкционная прочность, угол расположения линий склейки вершин гофров, гофрированный картон, высокопрочные изделия, торцевое сжатие

Благодарности: Работа выполнена в рамках проекта «Разработка технологии производства высокопрочных изделий из гофрокартона», фонд содействия инновациям (договор № 17816ГУ/2022 от 16.05.2022) и научно-исследовательской работы по теме «Прогнозирование конструкционной прочности изделий из гофрированного картона на основе его деформационных показателей в условиях арктического применения», САФУ им. М.В. Ломоносова (Д-388.2024 от 22.04.2024).

Для цитирования: Косарев И.А., Гурьев А.В. Конструкционная прочность изделий из гофрированного картона // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 1. С. 210–220. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-210-220>

Original article

Structural Strength of Corrugated Cardboard Products

Ivan A. Kosarev[✉], Junior Research Scientist; ResearcherID: [KRO-8581-2024](https://orcid.org/0009-0005-5306-8046),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5306-8046>

Aleksandr V. Guriev, Doctor of Engineering, Associate Prof.; ResearcherID: [H-1586-2019](https://orcid.org/0000-0002-3372-3286),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3372-3286>

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; i.kosarev@narfu.ru[✉], a.guriev@narfu.ru

Received on September 10, 2024 / Approved after reviewing on October 26, 2024 / Accepted on October 31, 2024

Abstract. The structural strength of corrugated cardboard products has been investigated in order to optimize the parameters affecting the stability and rigidity of materials under edgewise compression. Laboratory samples have been produced, differing in the number of elements (from 1 to 6) and the angle of flute peak adhesion line orientation (from 0° to 90° in 15° increments) relative to the machine direction. A method has been developed to evaluate the structural strength and stability of samples with various parameters under edgewise compression conditions. The results have shown a direct dependence of the structural strength of the products on the angle of inclination of the flutes and the number of product elements. The ultimate strains of the samples under compression, as well as the key dependencies between these parameters, have been established. Special attention has been paid to the coefficient of variation between the ultimate strain and the angle of flute line orientation, which has allowed for a more in-depth study of the failure of products under edgewise compression. Optimal parameters for increasing the rigidity and strength of products have been determined, and recommendations have been given on the choice of the angle of flute line orientation and the number of elements that can be used to improve production processes. The effect of the coefficient of variation value of ultimate strain on the resistance to edgewise compression has been investigated, which had made it possible to predict directions for optimizing the testing methodology for samples. The results obtained can be widely used in the field of the use of corrugated cardboard products in various industries requiring high strength characteristics of this packaging material.

Keywords: structural strength, flute peak adhesion line angle, corrugated cardboard, high-strength products, edgewise compression

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the project “Development of a Technology for the Production of High-Strength Corrugated Cardboard Products”, the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (agreement no. 17816GU/2022 dated 05/16/2022) and research work on the topic “Forecasting the Structural Strength of Corrugated Cardboard Products Based on its Deformation Characteristics in Arctic Conditions”, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (D-388.2024 dated 04/22/2024).

For citation: Kosarev I.A., Guriev A.V. Structural Strength of Corrugated Cardboard Products. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 1, pp. 210–220. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-210-220>

Введение

В последние годы сфера упаковки и тары является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей мировой экономики. Спрос на упаковку из гофрированного картона постоянно увеличивается благодаря активному развитию пищевой и химической промышленности, а также росту производства вычислительной и бытовой техники [5]. Гофрокартон широко используют для упаковки и защиты товаров. Он занимает более 50 % рынка тары благодаря возможности многократной переработки, экологичности, легкости, гибкости и надежности [7, 10], а также экономичности и универсальности [17]. К перечисленным достоинствам такой упаковки следует добавить и высокую амортизацию нагрузки [2, 3].

Экологическая безопасность гофрированного картона является его значительным преимуществом, т. к. этот материал относится к биоразлагаемым, перерабатываемым и требует меньше энергии и ресурсов для производства по сравнению с альтернативными упаковочными материалами, такими как пластик или стекло [11]. В условиях ужесточающихся экологических стандартов и требований к устойчивому развитию, использование гофрированного картона становится все более востребованным.

Гофрированный картон также позволяет снизить затраты на транспортировку и хранение продукции, что особенно актуально для сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Разработка и производство высокопрочных изделий из гофрированного картона имеют значительный потенциал с точки зрения как экологической безопасности, так и экономической выгоды. Например, исследования показывают, что снижение массы упаковки и улучшение ее прочностных характеристик ведут к уменьшению транспортных расходов и повышению эффективности логистических процессов [9].

Гофрокартон состоит из чередующихся плоских (лайнер) и гофрированных (флютинг) слоев, что обеспечивает его уникальные механические свойства [1, 18]. В зависимости от количества плоских и гофрированных слоев гофрированный картон подразделяют на несколько типов. Двухслойный гофрокартон состоит из 1 плоского и 1 гофрированного слоя и имеет низкие показатели сопротивления торцевому сжатию. Трехслойный гофрокартон сформирован 1 гофрированным слоем, помещенным между 2 плоскими слоями, и отличается легкостью и гибкостью, что делает его пригодным для упаковки широкого спектра промышленных и бытовых товаров. Пятислойный гофрокартон включает 2 гофрированных и 3 плоских слоя, что значительно повышает его устойчивость к торцевому сжатию и позволяет выдерживать нагрузки 17 кН/м и выше. Семислойный картон имеет 3 гофрированных и 4 плоских слоя, это придает ему наивысшие показатели сопротивления торцевому сжатию вдоль гофров по сравнению с остальными видами гофрокартона.

Несмотря на то, что содержание клея в массе гофрокартона составляет лишь 2–3 %, его качество существенно влияет на конечный результат производства [15]. При этом клей не должен проникать глубоко в основу, т. к. это увеличивает его расход и может привести к снижению прочности сцепления с материалом [14]. Требования к гладкости волокнистой поверхности картона зависят от наносимого клея и способа его нанесения [13].

В Российской Федерации нормы для изделий из гофрированного картона прописаны в стандарте ГОСТ 9140–90. Несмотря на это, механические характеристики, применяемые в отрасли для оценки качества гофрокартона, такие

как сопротивление продавливанию и торцевому сжатию по ГОСТ 52901–2007, не отражают полного спектра сил, действующих на материал под нагрузкой. Для повышения качества картона и снижения расходов важно учитывать его деформационные и конструкционные свойства [4, 21]. В производстве этого материала применяются различные виды целлюлозы, что позволяет добиться целевых прочностных характеристик и толщины [12, 19]. Одним из ключевых требований к гофрированному картону является соответствие его прочности ГОСТ 7376–89. Для улучшения качества материала следует использовать различные технологии и методы поверхностной обработки [8]. Например, современные технологии производства включают в себя применение высококачественной целлюлозы и оптимизацию процессов гофрирования, что приводит к повышению прочностных характеристик материала [6].

Исследование торцевого сжатия изделий из гофрированного картона необходимо для определения оптимальных конструктивных параметров, таких как угол расположения линий гофров и количества элементов. Понимание этих факторов позволит создавать высокопрочные изделия, способные выдерживать большие нагрузки. Возможно получение гофрокартона с конструкционной прочностью, сопоставимой с прочностью при сжатии пластика или древесины, т. е. исследуемый материал способен конкурировать с ними и, тем самым, увеличивать востребованность продукции целлюлозно-бумажной отрасли [20]. Следовательно, данное направление научных работ актуально и перспективно.

Целью данного исследования является оценка конструкционной прочности изделий из гофрированного картона при торцевом сжатии с различными углами расположения линий склейки вершин гофров относительно машинного направления и количеством элементов изделий.

Объекты и методы исследования

Исследованы лабораторные образцы из гофрированного картона марки П32 с профилем ВС ГОСТ Р 52901–2007. Изделия производились по принципу запатентованной полезной модели [16] путем нарезки элементов на лазерно-гравировальном станке и склеивания их между собой с равномерным нанесением клея ПВА. Было выполнено по 10 шт. образцов с 1...6 элементами. Один элемент представляет собой стандартный образец для определения сопротивления торцевому сжатию гофрированного картона по методу ЕСТ. Длина элемента – $100 \pm 0,5$ мм, ширина – $25 \pm 0,5$ мм (рис. 1).

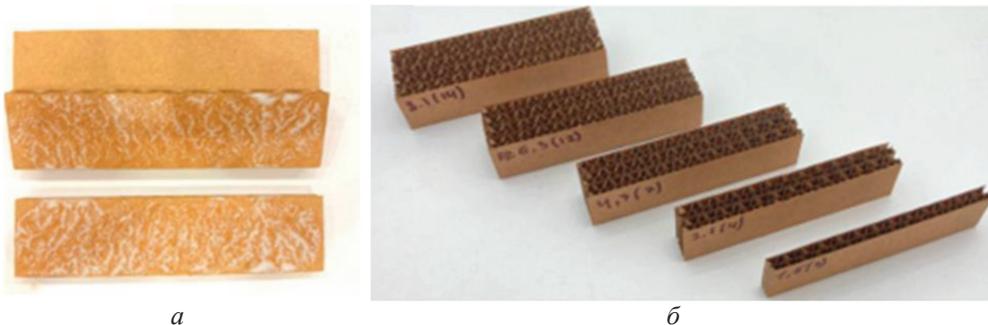


Рис. 1. Образцы из гофрокартона марки П32: *а* – образцы с нанесенным клеем; *б* – готовые к испытаниям образцы

Fig. 1. The samples of P32 corrugated cardboard: *a* – samples with the glue applied; *б* – samples ready for testing

Образцы имели различное направление гофрированного слоя относительно длины и ширины:

линии вершин гофров сориентированы вдоль короткой стороны образца, т. е. она соответствует поперечному направлению гофрокартона (CD);

линии вершин гофров сориентированы вдоль длинной стороны образца, а значит, короткая соответствует машинному направлению гофрокартона (MD).

Помимо изделий с ориентацией гофров вдоль короткой и длинной сторон образца с помощью лазерной резки выполнены образцы с углом расположения линий склейки вершин гофров 15° , 30° , 45° , 60° и 75° по отношению к машинному направлению (рис. 2, 3).

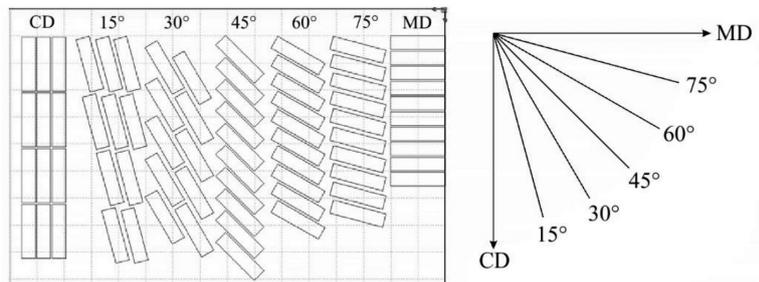


Рис. 2. Рабочий эскиз для лазерной резки элементов изделий с различным углом расположения линий склейки гофров

Fig. 2. The working sketch for laser cutting of product elements with different angles of flute peak adhesion line orientation

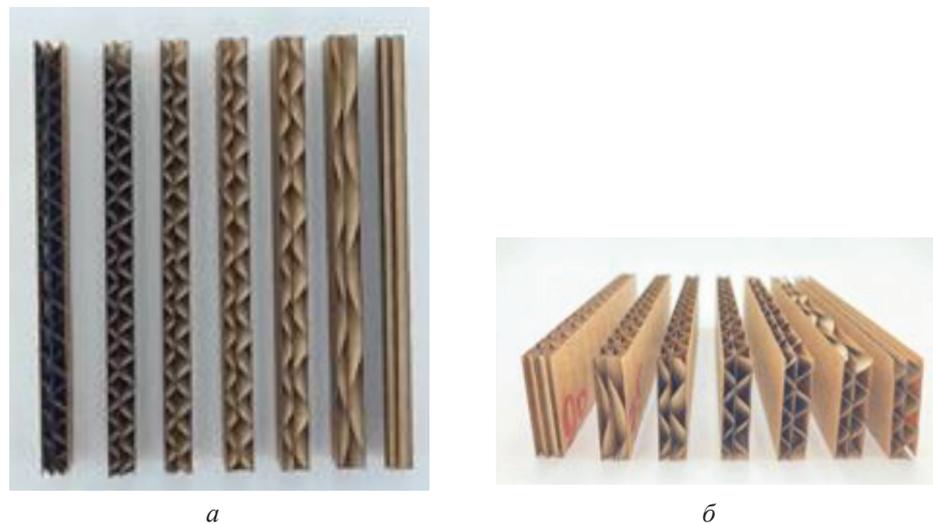


Рис. 3. Готовые элементы с направлением гофров от CD до MD с шагом в 15° :
a – вид сверху; *б* – вид спереди

Fig. 3. The finished elements with flute direction from CD to MD in 15° increments:
a – top view; *б* – front view

Измерение разрушающего усилия при сжатии образцов проводилось с использованием лабораторного оборудования FRANK-PTI Crush Resistance Tester (Германия) и TS F1850 SHIMATZU AGX-S (Япония).

Всего было проведено по 10 испытаний, количество образцов каждой серии соответствует ГОСТ 20683–97.

Результаты исследования и их обсуждение

Кривые, отображающие среднее значение ЕСТ для изделий из гофрированного картона, демонстрируют различную степень линейности и искривления в зависимости от угла расположения гофров относительно машинного направления. Кривые, соответствующие углам 0° и 15° , значительно отклоняются от линейности, что свидетельствует о низкой конструкционной прочности образцов. В образцах, угол расположения линий склейки вершин гофров в которых приближен к машинному направлению, функция на графике представляет собой квадратичную кривую, что можно определить по ее изгибу. Это отчетливо прослеживается при углах склейки 0° и 15° , где искривления наиболее выраженные.

С увеличением угла до 60° и 75° кривые становятся более линейными, что указывает на стабилизацию и повышение конструкционной прочности. При этих значениях искривление практически отсутствует и прочность приближена к максимальной. Последнее особенно важно для статичных нагрузок, при которых требуются высокая надежность и устойчивость.

Угол расположения линий гофров демонстрирует значительное влияние на прочность изделия. Образец из 6 элементов с углом расположения гофров 0° сопоставим по прочности с образцом из 2 элементов с углом 90° . Это позволяет сделать вывод о том, что конкретный угол расположения линий склейки вершин гофров может существенно повысить эффективность использования тех или иных образцов в зависимости от поставленной задачи. Например, для достижения высокой прочности следует выбрать меньшее количество элементов с поперечным направлением гофров, что снизит затраты при высоких показателях сопротивления торцевому сжатию.

Аппроксимирующие прямые отображают зависимости среднего значения ЕСТ для гофрированного картона от количества элементов изделий. Они дают возможность не только точно определять показатель ЕСТ для изделий с различным количеством элементов, но и оценивать влияние конструкционных изменений на прочность конечного продукта.

Исследования, включающие испытания элементов изделий из гофрированного картона для определения устойчивости к торцевому сжатию, стали основой для прогнозирования конструкционной прочности и сопротивления сжатию этих изделий. Изучена деформация образцов при торцевом сжатии до разрушения. Собранные данные для образцов с различным количеством элементов и углом расположения линий склейки вершин гофров были сведены в один график (рис. 4).

По рис. 4 видно, что все показатели находятся в пределах допустимых значений: связь между независимой и зависимой переменной в уравнениях регрессионной модели сильная.

Данные прежде всего базируются на оценке уровня предельной деформации сжатия ($\epsilon_{сж}$, %) и важны для последующего численного моделирования образцов и сравнения результатов между собой для определения точности прогнозирования.

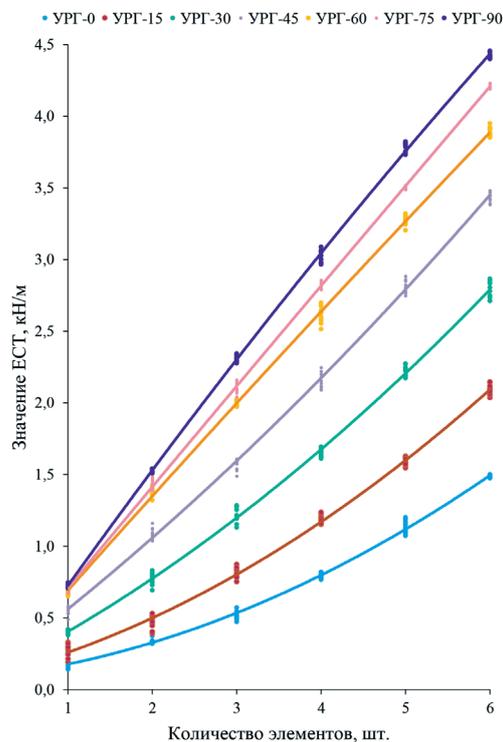


Рис. 4. Зависимость ЕСТ образцов с различным углом расположения линий склейки вершин гофров (УРГ, ...°) от количества элементов

Fig. 4. The dependence of ECT of samples with different angles of flute peak adhesion line orientation (УРГ, ...°)

$$\varepsilon_{\text{сж}} = \left(\frac{l_0 - l_{\text{к}}}{l_0} \right) 100 \%,$$

l_0 – начальная высота образца; $l_{\text{к}}$ – высота после потери несущей способности.

Кроме того, изучение деформации элементов при торцевом сжатии до разрушения позволило выявить ключевые закономерности в изменении конструкционной прочности в зависимости от угла расположения гофров и количества элементов в изделии. Показатели предельной деформации образцов при сжатии представлены в табл. 1.

Таблица 1

Предельная деформация образца при сжатии
The ultimate strain of a sample under compression

Количество элементов	Предельная деформация образца при сжатии, %, при угле расположения линий склейки вершин гофров, ...°						
	0 (MD)	15	30	45	60	75	90 (CD)
1	1,84	2,04	2,2	2,52	3,24	3,80	4,04
2	1,92	2,32	2,8	3,04	3,64	4,24	4,52
3	2,04	2,56	3,08	3,88	5,84	6,28	6,56
4	2,48	3,16	4,36	5,52	7,16	7,64	8,04
5	2,72	3,32	4,64	6,16	7,80	8,24	8,64
6	2,96	3,76	5,28	6,68	8,04	8,44	8,92

Для полноценного анализа предельной деформации образцов из гофрированного картона при сжатии важно не только фиксировать средние значения,

но и понимать их дисперсию, а также предельные отклонения. Показатели предельной деформации образцов при различных углах наклона гофров и количестве элементов позволяют построить вариационный ряд, который отражает частоту возникновения различных деформаций в границах обсуждаемого эксперимента (табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициент вариации предельной деформации при сжатии
в зависимости от угла расположения линий склейки вершин гофров
и количества элементов**

**The coefficient of variation of the ultimate strain under compression depending
on the angle of flute peak adhesion line orientation and the number of elements**

Количество элементов	Коэффициент вариации предельной деформации при сжатии, %, в зависимости от угла расположения линий склейки вершин гофров, ...°						
	0 (MD)	15	30	45	60	75	90 (CD)
1	7,6	6,8	6,7	6,5	5,9	5,3	3,9
2	7,2	6,0	5,2	4,6	4,3	3,6	3,3
3	6,4	5,3	4,9	4,2	3,0	2,7	2,4
4	4,9	4,2	3,6	3,4	2,7	2,3	1,8
5	3,6	3,0	2,6	2,3	1,8	1,4	1,0
6	2,3	1,9	1,5	1,2	0,9	0,8	0,6

Анализ табл. 1 и 2 показывает, что увеличение количества элементов в образце и угол расположения линий склейки вершин гофров, близкий к поперечному направлению, улучшают точность оценки конструкционной прочности изделий из гофрированного картона – погрешность при проведении испытаний не превышает 4 %.

Выводы

1. Для оценки конструкционной прочности изделий из гофрированного картона с различным углом расположения линий склейки вершин гофров и количеством элементов при торцевом сжатии может использоваться лабораторный анализ измерения ЕСТ гофрированного картона.

2. Для повышения жесткости и конструкционной прочности изделий из гофрированного картона рекомендуется применять поперечное направление гофров. Достижение максимальной прочности возможно при углах расположения линий гофров от 60°, в то время как меньшие углы, особенно 0° и 15°, приводят к значительному снижению прочности. Влияние количества элементов и ориентации гофров на конструкционную прочность изделий из гофрированного картона при торцевом сжатии подтверждается лабораторными испытаниями.

3. Зависимость значений ЕСТ изделия хорошо аппроксимируется полиномом первой степени. Угол расположения линий склейки вершин гофров в образце относительно машинного направления оказывает значительное влияние на показатель ЕСТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аликин В.П. Физико-механические свойства природных целлюлозных волокон. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 140 с.
Alikin V.P. *Physical and Mechanical Properties of Natural Cellulose Fibers*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1969. 140 p. (In Russ.).
2. Антибас И.Р., Партко С.А. Сравнение амортизирующих свойств гофрированной картонной упаковки разной структуры при действии вертикальной нагрузки // Сб. статей 8-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 18-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2015». Ростов-на-Дону, 2015. С. 232–235.
Antypas I.R., Partko S.A. Comparison of Damping Properties of Corrugated Cardboard Packaging of Different Structures under Vertical Load. *Collection of Articles of the 8th International Scientific and Practical Conference within the Framework of the 18th International Agro-Industrial Exhibition "Interagromash-2015"*. Rostov-on-Don, 2015, pp. 232–235. (In Russ.).
3. Антибас И.Р., Партко С.А., Сиrotенко А.Н. Влияние формы гофрированного картона на амортизирующие свойства упаковки // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. 2016. Т. 16, № 1(84). С. 36–42.
Antypas I.R., Partko S.A., Sirotenko A.N. Effect of Corrugated Cardboard Shape on the Packing Damping Properties. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Vestnik of Don State Technical University, 2016, vol. 16, no. 1(84), pp. 36–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/18156>
4. Гурьев А.В., Комаров В.И., Елькин В.П., Касьяненко В.В. Методы оценки качества компонентов гофрированного картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1996. № 7–8. С. 16–18.
Guriev A.V., Komarov V.I., Elkin V.P., Kas'yanenko V.V. Methods for Assessing the Quality of Corrugated Cardboard Components. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 1996, no. 7–8, pp. 16–18. (In Russ.).
5. Ефремов Н.Ф. Тара и ее производство. 2-е изд., доп. М.: МГУП, 2001. 312 с.
Efremov N.F. *Packaging and its Production*, 2nd ed., revised. Moscow, Moscow State University of Printing Arts, 2001. 312 p. (In Russ.).
6. Казаков Я.В. Характеристики деформативности как основополагающий критерий в оценке качества целлюлозно-бумажных материалов: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2015. 534 с.
Kazakov Ya.V. *Deformability Characteristics as a Fundamental Criterion in Assessing the Quality of Pulp and Paper Materials*: Doc. Tech. Sci. Diss. Arkhangelsk, 2015. 534 p. (In Russ.).
7. Казаков Я.В., Гурьев А.В., Комаров В.И., Крыжановский О.А., Журавлева А.Н. Жесткость при изгибе гофрокартона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. № 6. С. 50–53.
Kazakov Yu.V., Guriev A.V., Komarov V.I., Kryzhanovskij O.A., Zhuravleva A.N. Bending Rigidity of Corrugated Cardboard. *Tselluloza. Bumaga. Karton*, 2006, no. 6, pp. 50–53. (In Russ.).
8. Казаков Я.В., Комаров В.И., Лапина Н.В., Журавлева А.Н., Крыжановский А.О. Влияние климатических условий на сохранение уровня потребительских свойств гофрокартона // Теория и инновационные технологии бумажно-картонной продукции с использованием вторичного волокнистого сырья: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. Караваево, 2007. С. 46–50.
Kazakov Yu.V., Komarov V.I., Lapina N.V., Zhuravleva A.N., Kryzhanovskij A.O. The Influence of Climatic Conditions on Maintaining the Level of Consumer Properties of Corrugated Cardboard. *Theory and Innovative Technologies of Paper and Cardboard*

Products Using Recycled Fibrous Raw Materials: Materials of the 8th International Scientific and Technical Conference. Karavaevo, 2007, pp. 46–50. (In Russ.).

9. *Кирван М.Дж.* Упаковка на основе бумаги и картона. СПб.: Профессия, 2008. 488 с. Kirwan M.J. *Paper and Paperboard Packaging.* St. Petersburg, Professiya Publ., 2008. 488 p. (In Russ.).

10. *Комаров В.И., Гурьев А.В., Елькин В.П.* Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов. Архангельск: АГТУ, 2002. 175 с.

Komarov V.I., Guriev A.V., Elkin V.P. *Mechanics of Deformation of Cellulose Packaging Materials.* Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2002. 175 p. (In Russ.).

11. *Мартинес П.* Экологическое воздействие упаковочных материалов // Журнал экологичной упаковки. 2018. № 10(1). С. 30–42.

Martinez P. Environmental Impact of Packaging Materials. *Zhurnal ekologichnoy upravovki*, 2018, no. 10(1), pp. 30–42. (In Russ.).

12. *Михайлова О.С., Крякунова Е.В., Канарский А.В., Казаков Я.В., Манахова Т.Н., Дулькин Д.А.* Влияние биомодифицированного картофельного крахмала на деформационные и прочностные свойства картона // Изв. вузов. Лесн. журн. 2016. № 4. С. 157–164.

Mikhaylova O.S., Kryakunova E.V., Kanarskiy A.V., Kazakov Ya.V., Manakhova T.N., Dul'kin D.A. The Influence of Modified Potato Starch on the Cardboard Deformation and Strength Properties. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2016, no. 4, pp. 157–164. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.4.157>

13. *Мишурина О.А., Пинчукова К.В., Глазкова Я.В., Кужугалдинова З.* Анализ влияния качества целлюлозного сырья на прочностные и сорбционные свойства упаковочных видов картона // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исследований. 2017. № 1(часть 1). С. 9–13.

Mishurina O.A., Pinchukova K.V., Glazkova Ya.V., Kuzhugaldinova Z. Analysis of the Impact of Cellulose Raw Material Quality on the Strength and Sorption Properties of Packaging Types of Cardboard. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Basic Researches*, 2017, no. 1 (part 1), pp. 9–13. (In Russ.).

14. *Мишурина О.А., Тагаева К.А.* Исследование влияния композиционного состава по волокну на влагонепрочностные свойства исходного сырья при производстве картонных втулок // Актуал. проблемы совр. науки, техники и образования. 2013. Т. 1, № 71. С. 286–289.

Mishurina O.A., Tagaeva K.A. Study of the Influence of the Composite Composition by Fiber on the Wet-Strength Properties of the Raw Material in the Production of Cardboard Tubes. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya*, 2013, vol. 1, no. 71, pp. 286–289. (In Russ.).

15. *Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В.* Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Соврем. проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 250.

Mullina E.R., Mishurina O.A., Chuprova L.V., Ershova O.V. Influences of Sizing Compound Chemistry on Hydrophilic and Hydrophobic Properties of Cellulosic Materials. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*, 2014, no. 6, p. 250. (In Russ.).

16. Патент RU 222 991 U1 РФ, МПК B65D 5/44. Высокопрочное изделие из гофрированного картона: заявл. 17.05.2023; опубл. 25.01.2024. Бюл. № 3 / И.А. Косарев.

Kosarev I.A. *Highly Durable Product Made of Corrugated Cardboard.* Patent RF no. RU 222 991 U1, 2024. (In Russ.).

17. Смолин А.С., Дубовый В.К., Комаров В.И., Казаков Я.В., Белоглазов В.И. Технология гофрокартона. 2-е изд., испр. и доп. СПб., 2019. 412 с.

Smolin A.S., Dubovij V.K., Komarov V.I., Kazakov Ya.V., Beloglazov V.I. *Corrugated Cardboard Technology*: 2nd edition, revised and enlarged. St. Petersburg, 2019. 412 p. (In Russ.).

18. Grant J., Young J., Watson B. *Paper and Board Manufacture: a General Account of its History, Processes and Applications*. UK, London, Technical Division, British Paper and Board Industry Federation, 1978, pp. 166–183.

19. Hung D.V., Nakano Y., Tanaka F., Hamanaka D., Uchino T. Preserving the Strength of Corrugated Cardboard under High Humidity Condition Using Nano-Sized Mists. *Composites Science and Technology*, 2010, vol. 70, iss. 14, pp. 2123–2127. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.08.011>

20. Koskela S., Dahlbo H., Judl J., Korhonen M., Niinen M. Reusable Plastic Crate or Recyclable Cardboard Box? A Comparison of Two Delivery Systems. *Journal of Cleaner Production*, 2014, vol. 69, pp. 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.045>

21. Salavatian S., D’Orazio M., Di Perna C., Di Giuseppe E. Assessment of Cardboard as an Environment-Friendly Wall Thermal Insulation for Low-Energy Prefabricated Buildings. *Sustainable Building for a Cleaner Environment. Innovative Renewable Energy*. Springer, Cham, 2019, pp. 463–470. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94595-8_39

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors’ Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article