Оригинальное практическое исследование
УДК 676.012.1
DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_14–24

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ГОФРОКАРТОНА

Андрей Владимирович Бахтин, Павел Матвеевич Кейзер, Виктория Александровна Соколова

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

© Бахтин А. В., Кейзер П. В., Соколова В. А., 2026

Автор-корреспондент: А. В. Бахтин, e-mail: bahtin73@mail. ru

АННОТАЦИЯ

Определение качества упаковочной продукции неразрывно связано не только с использованием современного испытательного оборудования, но и с задачей подготовки образцов для испытаний. Это особенно значимо при испытаниях гофрокартона. Сравнение способов вырезания стандартных образцов позволяет правильно планировать процесс испытаний, обоснованно выбирать способы подготовки материалов для минимизации их влияния на численные значения показателей. В работе рассматривается сравнение двух способов механического вырезания образцов из нескольких видов гофрокартона: с помощью специализированных резаков и с помощью станка лазерной резки. В результате научно-практической работы, выполненной на базе учебно-научного центра «Научно-испытательная лаборатория биоразлагаемых материалов», показано, какие виды испытаний имеют зависимость от способа создания кромки испытуемого образца гофрокартона. Применение различных способов приготовления стандартных образцов обуславливаются видом испытаний, количеством образцов, свойствами материала и требованиями соответствующих стандартов. Сравнительный анализ полученных данных показывает, что такой показатель, как разрывная длина, нечувствителен к процессу образования кромки образца, в то же время из результатов испытаний на торцевое сжатие можно сделать вывод, что в среднем образцы, полученные с помощью лазера, примерно в 1,5 раза прочнее тех, что получены механическим путем. Последнее связано с отсутствием механического контакта с образцом в станке лазерной резки, в то время как при механическом вырезании образец повреждается еще до начала испытаний. Полученные результаты могут быть использованы в лабораториях отраслевых предприятий для проектирования и оптимизации испытаний качества упаковочной продукции на основе гофрокартона.

Ключевые слова: качество гофрокартона, механическая прочность, подготовка образцов, способ торцевого сжатия, сопротивление расслаиванию, разрывная длина, лазерная резка образцов

Для цитирования: Бахтин А. В., Кейзер П. В., Соколова В. А. Сравнительный анализ способов изготовления образцов для испытания механической прочности гофрокартона // Технология и энергетика. 2026. № 3 (3). С. 14–24. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_14–24.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SAMPLE PREPARATION METHODS FOR MECHANICAL STRENGTH TESTING OF CORRUGATED BOARD

Andrey Vladimirovich Bakhtin, Pavel Matveevich Keizer, Victoria Alexandrovna Sokolova

Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: A. V. Bakhtin, e-mail: bahtin. vshte@mail. ru

ABSTRACT

Packaging product quality assessment is inextricably linked not only to modern testing equipment but also to sample preparation for testing. This is especially relevant for corrugated board testing. Comparing standard sample cutting methods enables proper test planning and informed selection of preparation techniques to minimize their impact on measured values. The paper compares two mechanical cutting methods applied to several types of corrugated board: specialized cutting dies and a laser cutting machine. It was demonstrated which test types depend on the method of forming the edge of the corrugated board specimen based on the scientific and practical work performed at the Academic and Research Center "Research and Testing Laboratory of Biodegradable Materials". The choice of standard sample preparation methods depends on the test type, the number of samples, the material properties, and the requirements of applicable standards. A comparative analysis of the data shows that breaking length is insensitive to edge formation. However, edgewise compression tests indicate that laser-cut samples are on average about 1.5 times stronger than mechanically cut ones. This is because there is no mechanical contact with the sample in a laser cutting machine, whereas mechanical cutting damages the sample before testing begins. The obtained data can be used in industry laboratories to design and optimize quality testing of corrugated board packaging products.

Keywords: corrugated board quality, mechanical strength, sample preparation, edgewise compression method, delamination resistance, breaking length, laser cutting of samples

For citation: Bakhtin A. V., Keizer P. V., Sokolova V. A. (2026) 'Comparative analysis of methods for manufacturing samples for testing the mechanical strength of corrugated cardboard', Technology and Energy, no. 3(3), pp. 14–24. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_14–24.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время идет активное развитие рынка упаковочных материалов из гофрокартона взамен пластиковой упаковки — он демонстрирует сопоставимые характеристики с EPS в поддержании жесткости опоры, одновременно предлагая преимущество экологической устойчивости [1]. Эта тенденция требует оптимизации всех этапов производства, в том числе развития методов испытаний, обеспечения испытательных лабораторий современным оборудованием, позволяющим с достаточной степенью воспроизводимости результатов создавать условия для выявления различных видов брака продукции [2]. В Высшей школе технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна работает одна из таких испытательных лабораторий, занимающаяся независимой экспертной оценкой качества бумаги, картона, гофрокартона и упаковочной продукции из них[1]. Лаборатория в основном состоит из стандартных приборов для определения механических и прочностных показателей бумажной продукции. Совместно с компанией ОРБИС лаборатория укомплектована новейшим оборудованием китайского производителя. В ходе ее работы выявляются различные особенности эксплуатации оборудования, что приводит к развитию технологий испытаний. В современном мире развитие измерительной техники и испытательного оборудования идет по пути совершенствования и ускорения самого процесса испытаний и создания протоколов и отчетов по ним. Некоторые производители оборудования в достаточно бюджетном сегменте в основном ориентируются на качество и надежность самих приборов, не ставя особых акцентов на сопутствующие принадлежности и дополнительное программное обеспечение. Однако когда приходится иметь дело с потоком испытаний, огромное значение имеют автоматизация труда лаборантов и удобство их работы. Это не только ускоряет производство работ, но и снижает вероятность ошибок, обусловленных человеческим фактором. Одной из важнейших задач для проведения испытаний является подготовка образцов определенных размеров. Здесь как китайские, так и многие западные производители используют набор стандартных механических резаков, что требует определенной сноровки и физических усилий лаборантов. Приобретение отдельных резаков для каждого вида испытаний также не является экономически выгодным решением. Кроме того, эти приспособления занимают достаточно большое количество места в помещениях с кондиционированием, что приводит к увеличению требуемых площадей и затрат на их содержание и обслуживание.

В стандартах на испытания не указывается способ вырезания образцов, что открывает возможности для автоматизации данного процесса. Например, одним из способов получения образцов заданной геометрии может служить вырезание с помощью лазера. Этот способ актуален для тонких, легко повреждаемых бумаг, а также для многослойного

1 https://vshte. ru/paper-quality-control-center

гофрированного картона, образцы которого могут легко деформироваться еще до проведения испытаний. Также при обычном механическом вырезании край образца сминается, в результате чего получаются заниженные показатели прочности. Чтобы этого избежать, ищут разные пути: например, в работе [3] особое внимание уделено коэффициенту вариации между предельной деформацией и углом расположения линий гофров и даны рекомендации относительно угла расположения линий гофров. В данной работе представлены результаты испытаний различных типовых видов гофрокартона, образцы которого были получены двумя различными способами механического вырезания: на стандартном оборудовании и на станке лазерной резки. Несмотря на указание некоторых исследователей на меньшую эффективность последней на толстых гофрированных картонах [4], при вырезании образцов было решено попробовать этот способ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследования используем следующие материалы.

Материал 1. Трехслойный картон с профилем С, состоящий из слоёв:
- картон для плоских слоёв — тест-лайнер 110 г/м^2 из вторичного волокна;
- бумага для гофрирования 125 г/м^2 из вторичного волокна;
- картон для плоских слоёв — тест-лайнер 175 г/м^2 из вторичного волокна.

Материал 2. Трехслойный картон с профилем С, состоящий из слоёв:
- картон для плоских слоёв– крафт-лайнер 135 г/м^2 из первичного волокна;
- бумага для гофрирования 140 г/м^2 из вторичного волокна;
- картон для плоских слоёв — крафт-лайнер 200 г/м^2 из первичного волокна.

Изготовление образцов механическим способом. При помощи резака ECT (PAT) YT-BY25 (см. рисунок 1) нарезали картон на образцы длиной (100,0 ± 0,5) мм и шириной (25,0 ± 0,5) мм так, чтобы ширина образцов совпадала с направлением гофров согласно ГОСТ 20683–97[2], для испытания на торцевое сжатие; длиной (100,0 ± 0,5) мм и шириной (25,0 ± 0,5) мм для испытания на сопротивление расслаиванию[3].

Также нарезали образцы длиной (200±1) мм и шириной (25±1) мм для испытания на сопротивление разрыву согласно ГОСТ Р 52901–2007.

Изготовление образцов с помощью лазера. При помощи лазерного станка (см. рисунок 2) нарезали картон на образцы.

В программу управления лазерным станком загружалось векторное изображение с требуемым количеством и размером образцов. Резка осуществлялась за 1 проход, высота над материалом 14 мм, расстояние между образцами 5 мм. Подбор параметров мощности и скорости осуществлялся опытным путем, исходя из технических характеристик устройства лазерной резки (таблица 1).

Таблица 1. Технические характеристики лазерного станка[4]
Table 1. Technical specifications of the laser cutting machine

Наименование параметра	Значения параметра
Лазерный модуль	LT40W-AA
Максимальная оптическая мощность лазера	5Вт
Максимальное фокусное расстояние	45 мм (38 мм занимает высота магнитной защитной крышки на модуле)
Настраиваемое фокусное расстояние	7 мм
Рабочее поле (ШхВ)	215×210 мм
Скорость работы охлаждающего вентилятора в лазерном модуле	9000 об/мин
Контроллер	Arduino Mega

Сохраняя максимальную оптическую мощность лазера 5 Вт, изготовили 3 образца одинакового размера длиной 100 мм и шириной 25 мм из материала 2 на разных скоростях — 30, 80 и 100 мм/мин, для изучения степени термического воздействия на картон. Изготовленные таким образом образцы изучили с помощью микроскопа «Микромед МИКМЕД 5.0» (см. рисунок 3).

2 ГОСТ 20683–97. Картон тарный. Метод определения сопротивления торцевому сжатию. (Метод непарафинированного торца). Минск: ИПК Издательство стандартов, 2001. 7 с.

3 ГОСТ 22981–78. Картон гофрированный. Метод определения сопротивления расслаиванию. Москва: Издательство стандартов, 1978.

4 Источник: ГОСТ Р 52901–2007. Картон гофрированный для упаковки продукции. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2008. 7 с.

Скорость для материала 1 подбирали максимально возможную, так чтобы после реза образцы были полностью отделены от листа гофрокартона. Выбрав скорость резки для материала 1–250 мм/мин и для материала 2–80 мм/мин, изготовили 60 образцов размером 100 мм в длину и 25 мм в ширину и 20 образцов 200 мм в длину и 25 мм в ширину. Из материала 2 изготовили такое же количество образцов тех же размеров. Кондиционирование образцов производили согласно ГОСТ 13523–78: температура 23±1 °С, влажность 50 ±2 % [5].

Для испытания прочностных характеристик образцов провели с ними три вида экспериментов. Замеряли: сопротивление торцевому сжатию вдоль гофров; сопротивление расслаиванию; прочность на разрыв и удлинение при растяжении. Результаты приведем ниже.

1. Сопротивление торцевому сжатию вдоль гофров. Эта характеристика показывает максимальную нагрузку, которую образец гофрокартона способен выдержать вдоль сжатия гофров до момента разрушения. Характеризует способность картонной коробки выдерживать вертикальные нагрузки при штабелировании, что особенно важно, если коробка используется для перевозки товара или хранения в складских помещениях. Этот параметр испытывали по ГОСТ 20683–97.

На специальном приборе для испытания на сжатие YT-YS3000A (рисунок 4) образец длиной 100 мм и шириной 25 мм поставили на торец на сжимающую плиту между двумя плоскопараллельными металлическими параллелепипедами.

Сопротивление расслаиванию. Эта характеристика показывает качество склейки и сопротивление разрушению при сжатии. Она также важна для тарного и упаковочного картона, применяемого в логистике и на складах [6]. Коробки с высоким показателем сопротивления расслаиванию сохраняют целостность структуры и не распадаются на отдельные составляющие. Этот параметр испытывали по ГОСТ 22981–78[5] также на приборе для испытания на сжатие YT-YS3000A.

2. Прочность на разрыв и удлинение при растяжении. Эта характеристика показывает, насколько долговечен материал и насколько он эластичен, что очень важно для материалов, испытывающих длительные деформирующие нагрузки. Этот параметр испытывали по ГОСТ 13525.1–79 [7] на горизонтальной разрывной машине MESSMER-BÜCHEL (рисунок 5).

5 ГОСТ 13523–78. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод кондиционирования образцов. Москва: Издательство стандартов, 1978. 6 с.

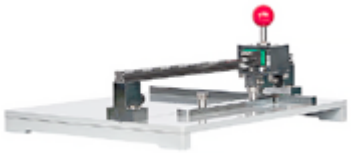


Рисунок 1. Резак для образцов ECT (PAT) YT-BY25
Figure 1. Cutting tool for ECT (PAT) YT-BY25 samples

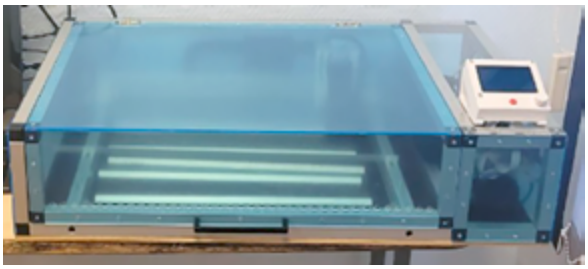


Рисунок 2. Лазерный станок (оригинальная разработка кафедры АТПиП ВШТЭ СПбГУПТД)
Figure 2. Laser cutting machine (Original development of the Department of Automation of Technological Processes and Production (ATPiP)



Рисунок 3. Микроскоп «Микромед МИКМЕД 5.0»
Figure 3. Microscope «Micromed MIKMED 5.0»



Рисунок 4. Прибор для испытания на сжатие YT-YS3000A
Figure 4. Compression tester YT-YS3000A



Рисунок 5. Горизонтальная разрывная машина MESSMER-BÜCHEL
Figure 5. MESSMER-BÜCHEL horizontal tensile testing machine

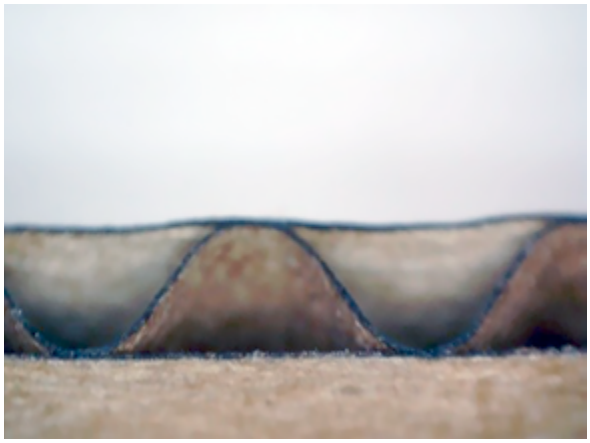


Рисунок 6. Вид образца из материала 2, полученного на лазерном станке при скорости 30 мм/мин (увеличение 4х)

Figure 6. View of a sample made of material 2, obtained on a laser cutting machine at a speed of 30 mm/min (4x magnification)

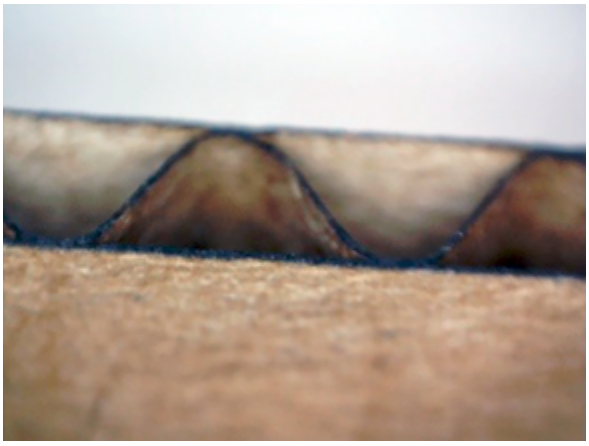


Рисунок 7. Вид образца из материала 2, полученного на лазерном станке при скорости 80 мм/мин (увеличение 4х)

Figure 7. View of a sample made of material 2, obtained on a laser cutting machine at a speed of 80 mm/min (4x magnification)

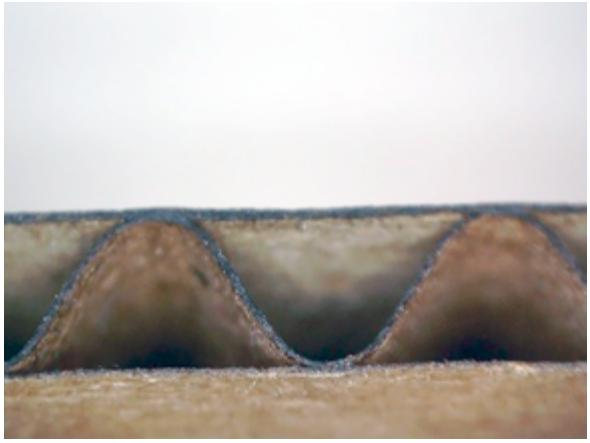


Рисунок 8. Вид образца из материала 2, полученного на лазерном станке при скорости 100 мм/мин (увеличение 6х)

Figure 8. View of a sample made of material 2, obtained on a laser cutting machine at a speed of 100 mm/min (6x magnification)

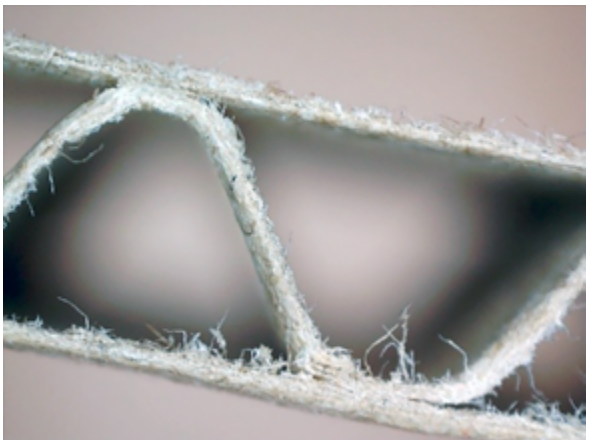


Рисунок 9. Срез образца из материала 1, полученного механическим способом (увеличение 8х)

Figure 9. Cross-section of a sample of material 1 produced by mechanical cutting (8x magnification)

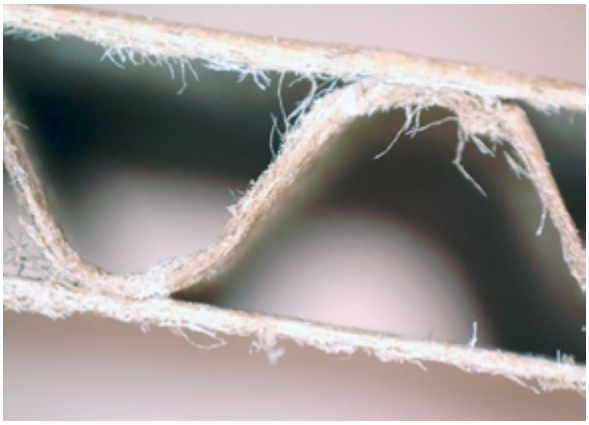


Рисунок 10. Срез образца из материала 2, полученного механическим способом (увеличение 8х)

Figure 10. Cross-section of a sample of material 2 produced by mechanical cutting (8x magnification)

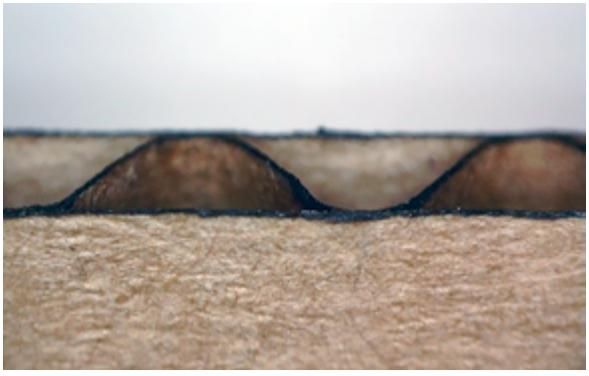


Рисунок 11. Продольный вид гофры образца из материала 1, полученного на лазерном станке при скорости 80 мм/мин (увеличение 6х)

Figure 11. Longitudinal view of corrugation in a material 1 sample obtained on a laser cutting machine at 80 mm/min (6x magnification)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Микроскопическое исследование. Образцы, полученные с помощью лазера на разных скоростях реза, представлены на рисунках 6, 7, 8.

Образцы, вырезанные на скорости 30 мм/мин, имеют термическую деформацию лайнера из-за более длительного воздействия; образцы, вырезанные из листа на скорости 100 мм/мин оставались частично соединены с ним. В связи с этим была выбрана скорость реза для получения образцов лазерным способом 80 мм/мин.

Получив образцы механическим способом и при помощи лазерного станка, изучили их кромки. Кромки образцов, полученные механическим способом, представлены на рисунках 9 и 10.

На изображениях заметны множество выступающих волокон и локальные зоны расслоения в некоторых местах, что свидетельствует о механическом повреждении структуры картона. Также присутствует небольшая деформация краёв лайнера. Можно сделать вывод: при резке картона нож загибает края.

Образцы, полученные на лазерном станке, представлены на рисунках 11 и 12.

На рисунке 11 отчетливо видно, что кромки образцов, полученных на лазерном станке из материала 1, подгорают



Рисунок 12. Продольный вид гофры образца из материала 2, полученного на лазерном станке при скорости 80 мм/мин (увеличение 6х)

Figure 12. Longitudinal view of corrugation in a material 2 sample obtained on a laser cutting machine at 80 mm/min (6x magnification)

гораздо сильнее, чем из материала 2, можно увидеть небольшую неровность реза. Опытным путем подобрали скорость реза для этого материала — 250 мм/мин.

На рисунке 12 видно, что на кромках образца, полученного на лазерном станке из материала 2, гораздо меньше гари по сравнению с образцами из материала 1. Сами кромки ровные, никаких отделившихся волокон

Таблица 2. Результаты проведения испытаний на торцевое сжатие
Table 2. Edgewise compression test result

Материал, вид резки и вес 1 м², г/м²	Макул., мех. 475	Целл., мех. 575	Макул., лаз 475	Целл., лаз. 575	Единицы измерения
1	401	606	613	892	Н
2	401	601	613	892	Н
3	395	596	608	884	Н
4	394	595	601	879	Н
5	392	595	601	868	Н
6	391	586	598	834	Н
7	387	584	597	832	Н
8	385	584	588	830	Н
9	385	583	588	789	Н
10	381	573	588	751	Н
11	381	568	587	742	Н
12	381	568	579	741	Н
Макс.	401	606	613	892	Н
Мин.	381	568	579	741	Н
Средн.	390	587	597	828	Н
Ст. откл	7	12	11	59	Н

не наблюдается, качество их существенно лучше по сравнению с образцами, полученными механическим путём.

Испытание на торцевое сжатие. В ходе испытаний были получены и занесены в таблицу 2 следующие данные.

Для более корректного сравнения полученных результатов с результатами испытания прочих образцов переводим единицы измерения из ньютонов (Н) в килоньютоны на метр (kH/м) по формуле (1):

$$x_{kH/м} = \frac{x_H}{1000 \times l}, \frac{kH}{м}, \quad (1)$$

где $x_{kH/м}$ — полученные значения в переведённых единицах измерения, kH/м;
x_H — исходные значения в исходных единицах измерения, Н;
1000 — переводной коэффициент;
l — длина образца.

Полученные результаты расчётов отражены в таблице 3.

Кромки образцов, полученных лазерным способом (рисунки 13, 14), не деформировались. Кромки образцов, полученных механическим путём (рисунки 15, 16), в процессе испытания значительно деформировались.

Исходя из результатов испытаний на торцевое сжатие, можно сделать вывод, что образцы, полученные с помощью лазера, в среднем прочнее тех, что получены механическим путем примерно в 1,5 раза.

Смятие кромок образцов, полученных механическим путем, может говорить о деформации образцов при взаимодействии с ножом в связи с его недостаточной заточкой или быстрым затуплением в процессе резки, чего при лазерном резе не происходит.

Испытание на сопротивление расслаиванию. В ходе проведения испытаний были получены результаты (таблица 4).

Для более корректного сравнения полученных результатов с результатами испытания прочих испытаний переводим единицы измерения из ньютонов (Н) в килоньютон на метр (Н/м) по формуле (2).

$$x_{H/м} = \frac{x_H}{l}, \frac{H}{м}, \quad (2)$$

Таблица 3. Таблица описательной статистики результатов испытания на торцевое сжатие в килоньютонах на метр
Table 3. Table of descriptive statistics for edge crush test results in kN/m

Материал, вид резки и вес 1 м², г/м²	Макул., мех. 475	Целл., мех. 575	Макул., лаз 475	Целл., лаз. 575	Единицы измерения
R (Макс.)	4,01	6,06	6,13	8,92	kH/м
R (Мин.)	3,81	5,68	5,79	7,41	kH/м
R (Средн.)	3,90	5,87	5,97	8,28	kH/м
R (Ст. откл.)	0,07	0,12	0,11	0,59	kH/м

Таблица 4. Результаты проведения испытаний на сопротивление расслаиванию
Table 4. Delamination resistance test result

Номер опыта	Сила, которую выдерживает образец до разрушения, Н			
	Механический способ		Лазерный способ	
	Материал 1	Материал 2	Материал 1	Материал 2
1	16,93	27,37	16,31	25,82
2	14,65	25,10	16,94	25,07
3	16,66	26,90	14,10	29,54
4	18,66	29,02	17,02	24,37
5	14,17	25,64	18,00	23,64
6	18,94	27,17	14,31	30,39
7	17,78	24,42	13,92	29,53
Максимальное значение, Н	18,94	29,02	18,00	30,39
Минимальное значение, Н	14,17	24,42	13,92	23,64
Среднее значение, Н	16,77	26,23	15,80	26,91
Стандартное отклонение, Н	1,81	1,66	1,66	2,82

где $x_{Н/м}$ — полученные значения в переведённых единицах измерения, Н/м;
$x_Н$ — исходные значения в исходных единицах измерения, Н;
l — длина образца, м;

Полученные значения представлены в таблице 5.

Можно сделать вывод, что вид резки не влияет на прочностные характеристики полученных образцов, а небольшая разница обусловлена размером выборки.

Испытание на сопротивление разрыву. Полученные в ходе исследований результаты представлены в таблице 6.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что способ получения образцов не влияет на сопротивление разрыву, а разница в значениях не превышает погрешности.

Таблица 5. Результаты испытания на сопротивление расслаиванию в ньютонах на метр
Table 5. Results of the delamination resistance test expressed in newtons per meter

Материал, вид резки и вес 1 м², г/м²	Макул., мех. 475	Целл., мех. 575	Макул., лаз 475	Целл., лаз. 575	Единицы измерения
P (Макс.)	695	955	730	995	Н/м
P (Мин.)	640	870	655	850	Н/м
P (Средн.)	665	916	684	921	Н/м
P (Ст. откл.)	21	34	25	49	Н/м

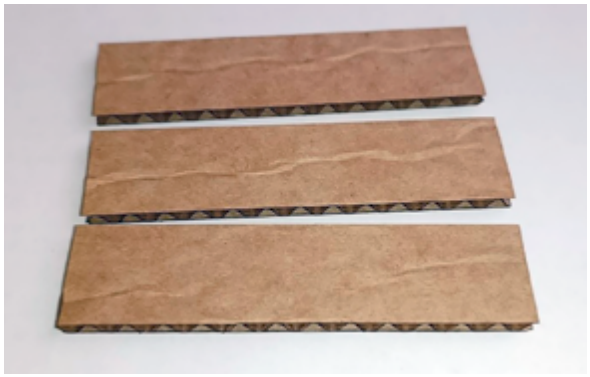


Рисунок 13. Образцы, изготовленные из материала 2 на лазерном станке после испытания на торцевое сжатие

Figure 13. Samples fabricated from material 2 on a laser cutting machine after the edgewise compression test

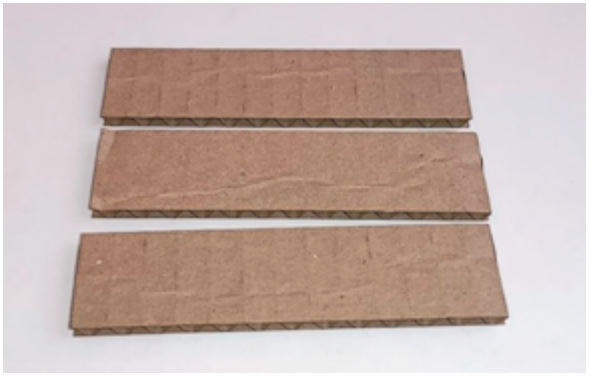


Рисунок 14. Образцы, изготовленные из материала 1 на лазерном станке после испытания на торцевое сжатие

Figure 14. Samples fabricated from material 1 on a laser cutting machine after the edgewise compression test

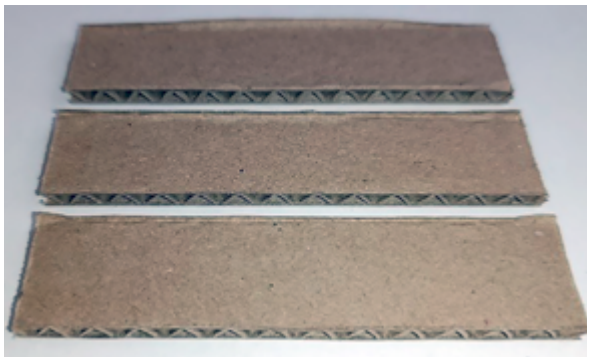


Рисунок 15. Образцы, изготовленные из материала 1 механическим способом после испытания на торцевое сжатие

Figure 15. Samples fabricated from material 1 mechanically after the edgewise compression test

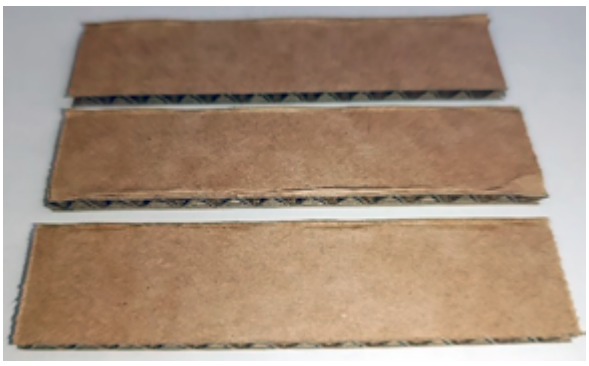


Рисунок 16. Образцы, изготовленные из материала 2 механическим способом после испытания на торцевое сжатие

Figure 16. Samples fabricated from material 2 mechanically after the edgewise compression test

Таблица 6. Результаты проведения испытаний на сопротивление разрыву, Н
Table 6. Tensile strength test result, N

Материал, вид резки и вес 1 м², г/м²	Макул., мех. 475	Целл., мех. 575	Макул., лаз 475	Целл., лаз. 575	Единицы измерения
1	16,93	27,37	16,31	25,82	Н
2	14,65	25,10	16,94	25,07	Н
3	16,66	26,90	14,10	29,54	Н
4	18,66	29,02	17,02	24,37	Н
5	14,17	25,64	18,00	23,64	Н
6	18,94	27,17	14,31	30,39	Н
7	17,78	24,42	13,92	29,53	Н
Макс.	18,94	29,02	18,00	30,39	Н
Мин.	14,17	24,42	13,92	23,64	Н
Средн.	16,77	26,23	15,80	26,91	Н
Ст. откл.	1,81	1,66	1,66	2,82	Н

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа данных получено, что разница между лазерным и механическим резом видна только в результатах испытаний на торцевое сжатие. Однако следует отметить, что кромки образцов, полученных механическим способом, сильно деформировались, в то время как образцы, полученные на лазерном станке, остались прежними. Можно предположить, что разница в результатах обусловлена в большей мере качеством подготовки режущего инструмента, установленного на механическом резаке, или способом резки, который способствует образованию неровных кромок, чего не происходило с образцами, полученными на лазерном станке. Все прочие параметры различаются в пределах погрешности.

Значения испытания на торцевое сжатие в среднем больше (примерно в 1,5 раза) у картона, полученного на лазерном станке. Последнее связано с отсутствием механического контакта с образцом в станке лазерной резки, в то время как при механическом вырезании образец повреждается еще до начала испытаний.

На основании результатов проведенной работы можно говорить о целесообразности замены длительных по времени традиционных способов подготовки образцов на механических резаках на современную экспресс-подготовку на лазерном резаке. В результате использования устройства для лазерной резки полностью устраняется влияние человеческого фактора на подготовку образцов. Кроме того, образцы одного типа идеально параллельны друг другу и могут располагаться через минимальные расстояния, что приводит к экономии материалов для испытаний и новым возможностям исследований образцов. Один универсальный станок для вырезания образцов позволит получить значительную экономию при закупках оборудования по сравнению с традиционными механическими устройствами, которые ориентированы только на конкретные испытания. При возникновении необходимости в новых типах образцов уже не будет требоваться приобретение дополнительного оборудования, а только нужен новый векторный чертеж для загрузки в станок.

В данной работе использовался лазерный роботизированный комплекс [8, 9], разработанный в Высшей школе технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна на кафедре автоматизации технологических процессов и производств для задач учебно-научного центра «Научно-испытательная лаборатория биоразлагаемых материалов». Совершенствование прототипа этого устройства продолжается с целью получения увеличения скорости и качества реза, а также автоматизации загрузки требуемых векторных чертежей в зависимости от выбранного стандарта испытаний.

Полученные данные могут быть использованы в лабораториях отраслевых предприятий для проектирования и оптимизации испытаний качества упаковочной продукции на основе гофрокартона и других листовых материалов.

Список литературы

1. Kim S., Jang Y., Kim W., Lee C. and Park J. (2025). Dynamic Behavior of Corrugated Cardboard Edge Damaged by Vibration Input Environments. Materials. Vol. 18. 4364. 10.3390/ma18184364.
2. Бахтин А. В. Совершенствование системы оценки качества картона / А. В. Бахтин // Совершенствование методологии познания в целях развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 03 ноября 2019 года. Саратов: Омега Сайнс, 2019. С. 30–32.

3. Косарев И. А., Гурьев А. В. Конструкционная прочность изделий из гофрированного картона // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2025. № 1. С. 210–220. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-210-220.
4. Nolot J.-B., Féron J., Chauvin N., Delloque P., Odof S., Meuret M. and Erre D. Corrugated Packaging Manufacturing Evaluation Laser Cutting vs. Traditional Methods // Conference: IAPRI Member's Conference 32ND. ROANOKE VA USA — 2025. URL: https://www. researchgate. net/publication/396311017_Corrugated_Packaging_Manufacturing_Evaluation_Laser_Cutting_vs_Traditional_Methods.
5. Steen W. M. Laser Material Processing / W. M. Steen, J. Mazumder. 4th ed. London: Springer, 2010. 558 p. ISBN 978-1-84996-061-8.
6. Судоплатова А. Д. Оценка прочности различных типов гофрокартона для производства тары // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. № 10. С. 121–127.
7. ГОСТ 13525.1–79. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2007. 15 с.
8. Бахтин А. В. Тенденции развития современного оборудования для определения показателей качества бумаги, картона и гофрокартона / А. В. Бахтин, В. А. Соколова // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VIII международной научно-технической конференции имени профессора В. И. Комарова, Архангельск, 11–13 сентября 2025 года. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, 2025. С. 53–57.
9. Соколова В. А., Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии / Соколова В. А., Кривоногова А. С., Иванов А. М., Марков В. А., Парфенопуло Г. К. // Сб. ст. по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. Отв. ред. В. А. Соколова. 2019. С. 50–55.

References

1. Kim S., Jang Y., Kim W., Lee C. and Park J. (2025) 'Dynamic behavior of corrugated cardboard edge damaged by vibration input environments', Materials, Vol. 18, 4364. DOI: 10.3390/ma18184364.
2. Bakhtin A. V. (2019) 'Improvement of the system for assessing cardboard quality', in Improvement of the methodology of cognition for the development of science: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Saratov, 03 November 2019. Saratov: Omega Sains, pp. 30–32.
3. Kosarev I. A. and Guryev A. V. (2025) 'Structural strength of corrugated cardboard products', News of Higher Educational Institutions. Forest Journal, No. 1, pp. 210–220. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-210-220.
4. Nolot J.-B., Féron J., Chauvin N., Delloque P., Odof S., Meuret M. and Erre D. (2025) 'Corrugated packaging manufacturing evaluation: laser cutting vs. traditional methods', in Conference: IAPRI Member's Conference 32nd, Roanoke, VA, USA. Available at: https://www. researchgate. net/publication/396311017_Corrugated_Packaging_Manufacturing_Evaluation_Laser_Cutting_vs_Traditional_Methods (Accessed: [date]).
5. Steen W. M. and Mazumder J. (2010) Laser material processing. 4th ed. London: Springer. ISBN 978-1-84996-061-8.
6. Sudoplatova A. D. (2021) 'Assessment of the strength of various types of corrugated cardboard for packaging production', News of TulGU. Technical Sciences, No. 10, pp. 121–127.
7. GOST 13525.1–79 (2007) Fibrous semi-finished products, paper and cardboard: methods for determining tensile strength and elongation at tension. Technical specifications. Moscow: Standartinform.
8. Bakhtin A. V. and Sokolova V. A. (2025) 'Trends in the development of modern equipment for determining the quality indicators of paper, cardboard and corrugated cardboard', in Problems of mechanics of pulp and paper materials: proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference named after Professor V. I. Komarov, Arkhangelsk, 11–13 September 2025. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, pp. 53–57.
9. Sokolova V. A., Krivonogova A. S., Ivanov A. M., Markov V. A. and Parfenopulo G. K. (2019) 'Ways to improve product quality at a woodworking enterprise', in Collection of articles based on the materials of the scientific and technical conference of the Institute of Technological Machines and Forest Transport on the results of research work in 2018, ed. by V. A. Sokolova, pp. 50–55.

Информация об авторах

Бахтин Андрей Владимирович, *кандидат технических наук, доцент, директор учебно-научного центра «Научно-испытательная лаборатория биоразлагаемых материалов», Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4; SPIN-код: 5517–9430; Author ID: 341037; e-mail: bahtin73@mail.ru*

Кейзер Павел Матвеевич, *кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бумаги и картона, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4; SPIN-код: 4864–8012; Author ID: 956110; e-mail: kpm022@yandex.ru.*

Соколова Виктория Александровна, *кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по перспективному развитию и инновациям, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4; SPIN-код: 5116–5102; Author ID: 803015; e-mail: sokolova.vshte@mail.ru.*

Information about the authors

Andrey Vladimirovich Bakhtin, *PhD in Engineering, Associate Professor, Director of the Educational and Research Center "Research and Testing Laboratory of Biodegradable Materials", Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivana Chernykh Street, Saint Petersburg, 198095, Russia; SPIN-code: 5517–9430; Author ID (RSCI): 341037; e-mail: bahtin73@mail.ru.*

Pavel Matveyevich Keyser, *PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Paper and Cardboard Technology, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivana Chernykh Street, Saint Petersburg, 198095, Russia; SPIN-code: 4864–8012; Author ID (RSCI): 956110; e-mail: kpm022@yandex.ru.*

Victoria Aleksandrovna Sokolova, *PhD in Engineering, Associate Professor, Deputy Director for Prospective Development and Innovation, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivana Chernykh Street, Saint Petersburg, 198095, Russia; SPIN-code: 5116–5102; Author ID (RSCI): 803015; e-mail: sokolova.vshte@mail.ru.*