

ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КАРТОНА-ЛАЙНЕРА ПРИ ИЗГИБЕ

BENDING DEFORMATION PROPERTIES OF LINERBOARD



Я.В. Казаков

Yakov Kazakov

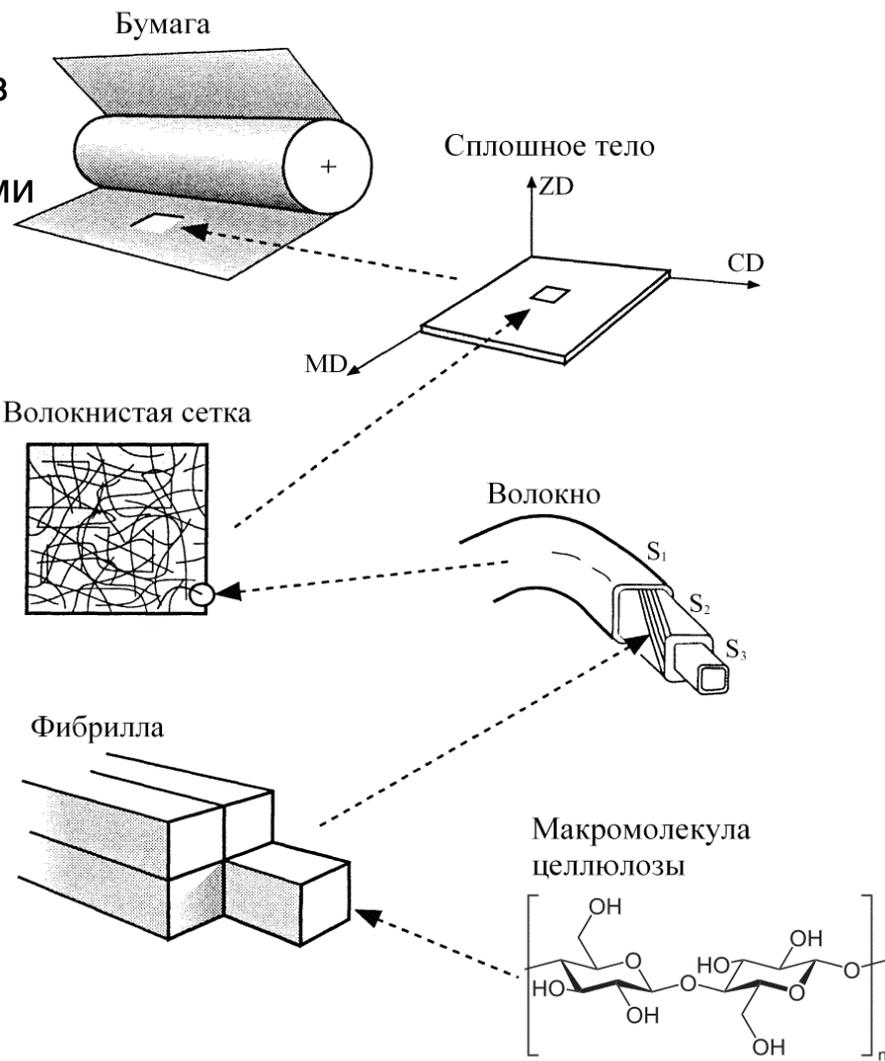
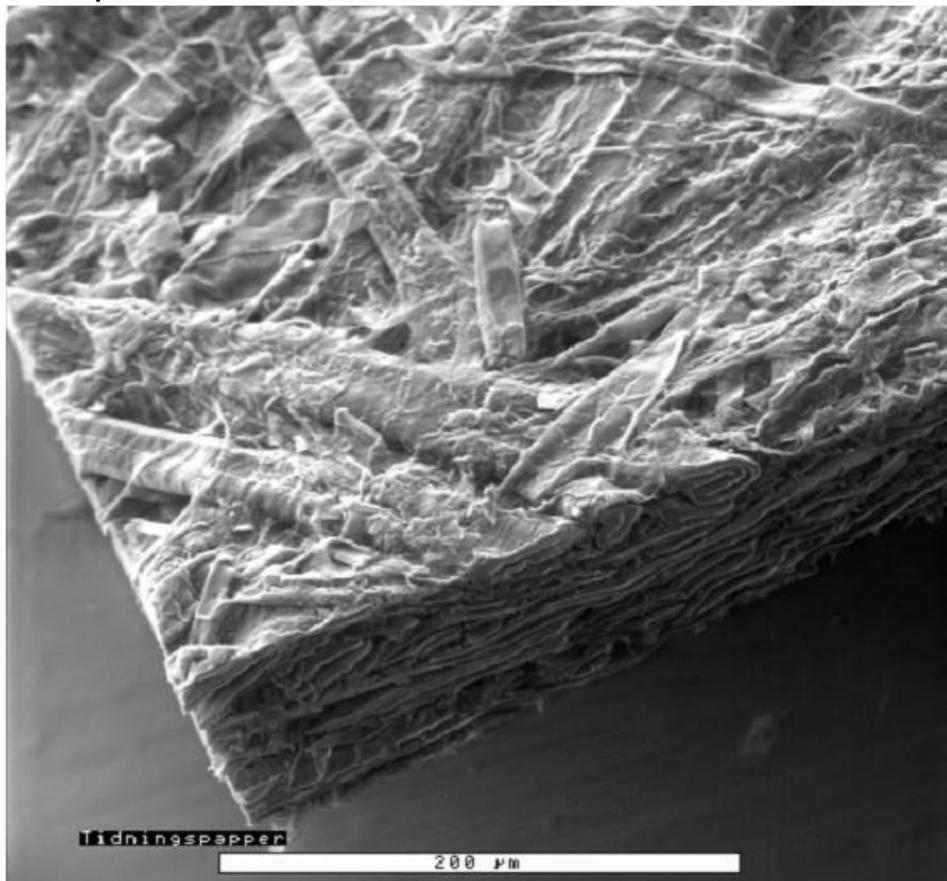
**СЕВЕРНЫЙ
(АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Бумага как материал

По принятому в отрасли определению, **бумага – это капиллярно-пористый материал в виде тонкого листа**, состоящий преимущественно из растительных волокон, беспорядочно переплетенных и связанных между собой силами поверхностного сцепления.



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Работы профессора В.И. Комарова по исследованию жесткости при изгибе бумаги и картона

- Комаров В.И. Исследование жесткости бумаги при изгибе: дис....канд. техн. наук. Л., 1972. 160 с.
- Комаров В.И. Деформативность целлюлозно-бумажных материалов при изгибе // Лесн. журн. 1994. №1. С. 96–103 (Изв. высш. учеб. заведений).
- 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).
- Комаров В.И. Деформативность целлюлозно-бумажных материалов: дис.... д-р. техн. наук / Комаров Валерий Иванович. С.Пб., 1999. 56 с.
- Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во Архан. гос. техн. ун-та, 2002. 440 с.
- Комаров В.И., Ларина Е.Ю. Расчет жесткости при изгибе волокнистых целлюлозно-бумажных материалов с учетом пластической деформации в сжатой зоне в плоскости листа // Лесн. журн. 2009. №4. с. 106–110. (Изв. высш. учеб. заведений)
- Ларина Е.Ю., Комаров В.И. Влияние пластических деформаций по толщине и в плоскости листа бумаги, возникающих при испытании на изгиб, на величину измеряемой характеристики // Лесн. журн. 2010. №4. с. 89–95. (Изв. высш. учеб. заведений)



Жесткость картона при изгибе

Является важной характеристикой для предотвращения деформации картонной коробки под воздействием содержимого, за счёт чего снижается несущая способность картонной коробки.

Это может произойти:

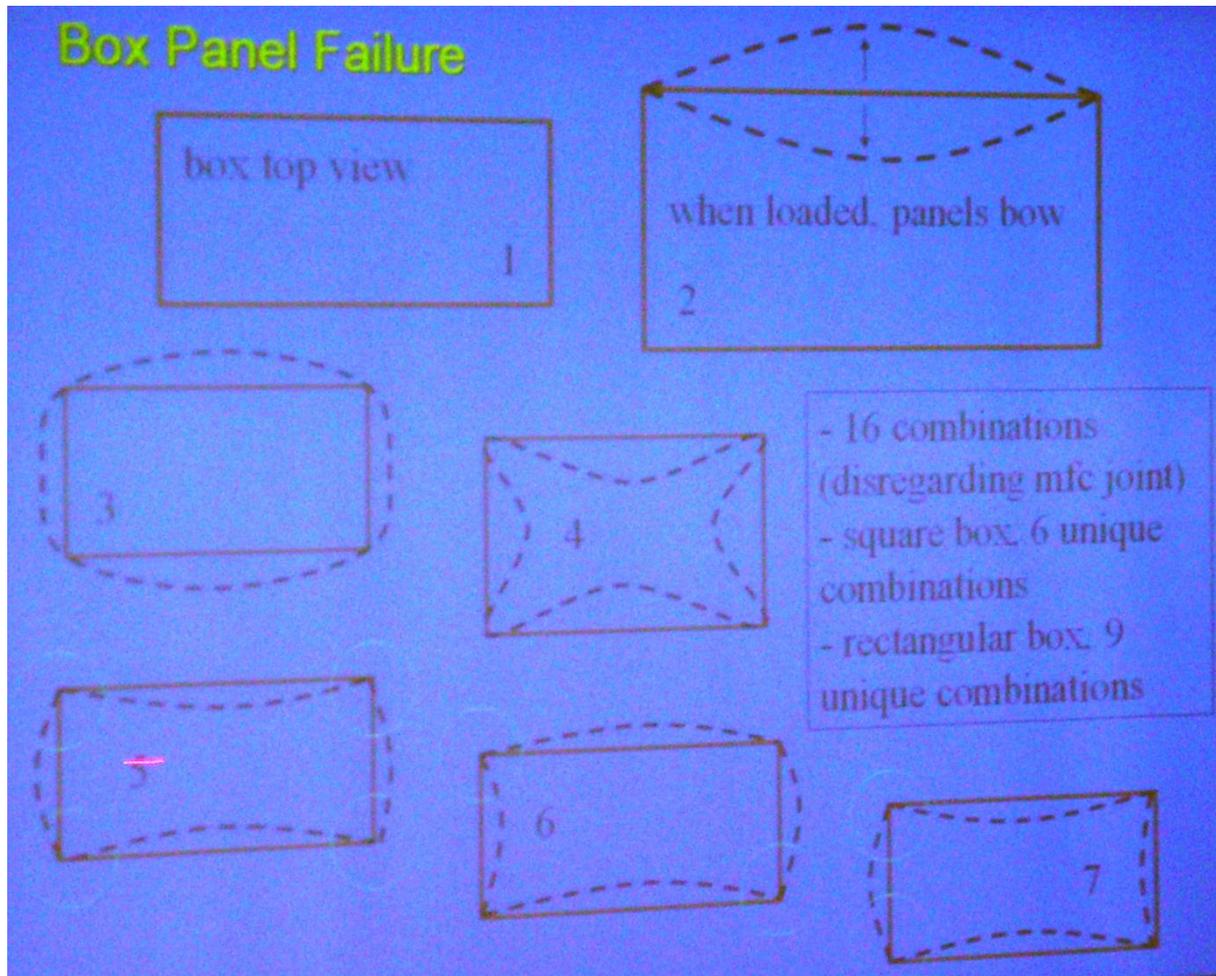
- при затаривании продукции;
- при укладке коробок в штабеля;
- при хранении затаренной продукции в штабелях;
- прогиб стенки ящика может вызвать трудности при автоматизированном складировании.

В целом жесткость картонной тары – одно из основных требований, выполнение которого является важным условием эксплуатации картонной и бумажной тары



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Деформация изгиба стенок гофроящика под действием сжимающей нагрузки



DEPENDENCIES OF CORRUGATED CONTAINER LIFETIME ON COMPONENT PROPERTIES

Roman E. Popil, Michael K. Schaepe*

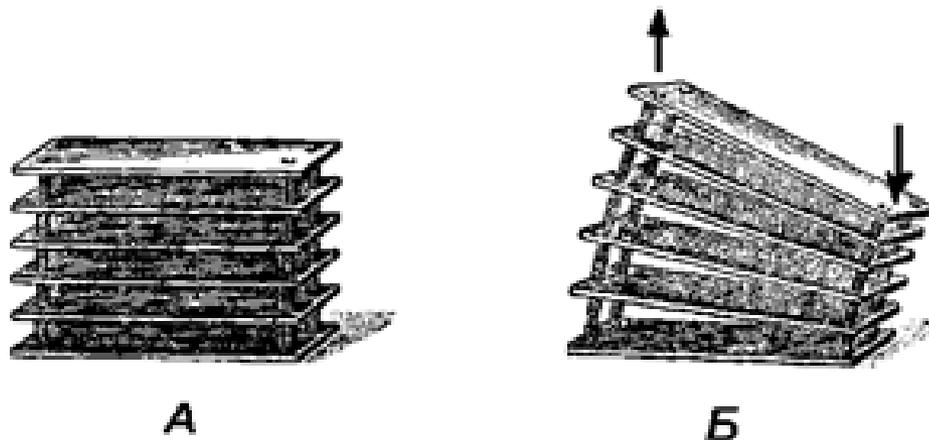
Institute for Paper Science and Technology

*Georgia Institute of Technology
 Atlanta, Georgia 30332*

*Progress in Paper Physics
 Seminar,
 2008
 Helsinki*

Деформативность картона-лайнера при изгибе

Деформация изгиба

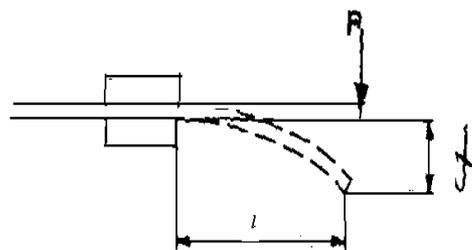


Изгиб получаем, наклонив верхнюю пластину (Б). При этом расстояния между соседними пластинами в различных местах изменяются по-разному. С одной стороны они увеличиваются, с другой - уменьшаются. Таким образом, **деформация изгиба сводится к растяжениям и сжатиям, различным в разных частях тела – неоднородному растяжению и сжатию.**

Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во Архан. гос. техн. ун-та, 2002. 440 с.

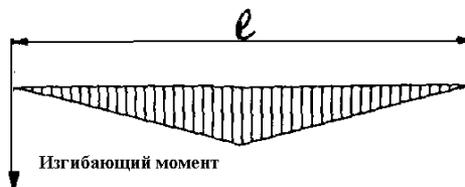
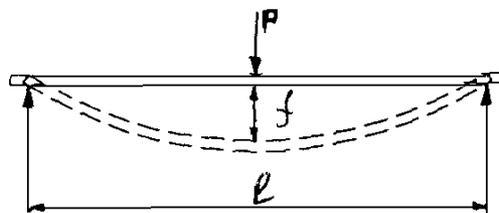
Методы испытания на изгиб

Двухточечный



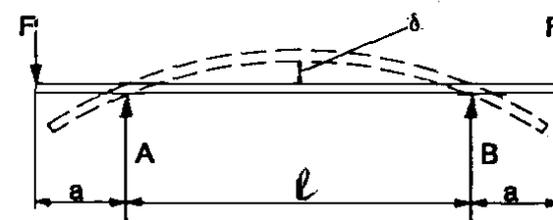
$$S_b = \frac{Pl^3}{3 \cdot f \cdot b}$$

Трехточечный



$$S_b = \frac{Fl^3}{48 \cdot \gamma \cdot b}$$

Четырехточечный



$$S_b = \frac{P \cdot a \cdot l^2}{8 \cdot f \cdot b}$$

Принцип нагружения и распределения изгибающего момента

Испытание на изгиб

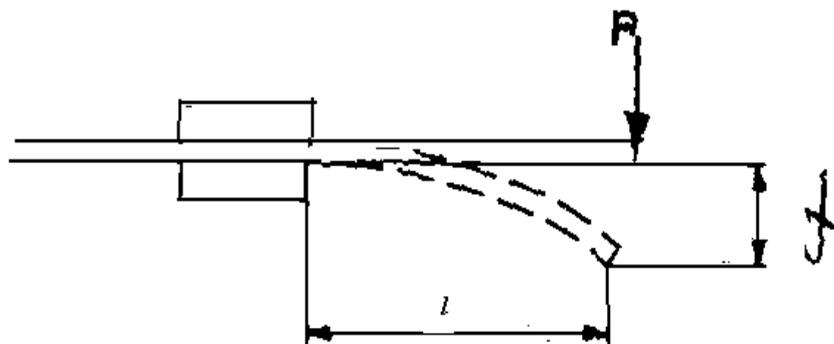
Определение сопротивления бумаги изгибу ГОСТ ISO 2493–96.

Стандартный метод: определение силы, приложенной к свободному концу консольно-закрепленного образца и изгибающей его на определенный угол

При выполнении испытаний и обработке результатов используются следующие определения:

- **сопротивление изгибу** – сила, необходимая для сгибания под углом 15° прямоугольного консольно закрепленного образца, приложенная вблизи свободного конца испытуемого образца на расстоянии 50 мм от линии его закрепления перпендикулярно к плоскости, определяемой закрепленным концом образца и точкой или линией приложения силы, в ньютонах (Н) или миллиньютонах (мН);
- **длина изгиба** – постоянное радиальное расстояние между линией закрепления образца и точкой приложения силы к нему;
- **угол изгиба** – угловое расстояние между начальным положением плоскости, проходящей через линию закрепления и линию приложения силы, и положением той же плоскости в конце испытания;
- **свободная длина** – начальная длина части испытуемого образца, выступающего из зажимного устройства.

Принцип нагружения и распределения изгибающего момента для двухточечного метода

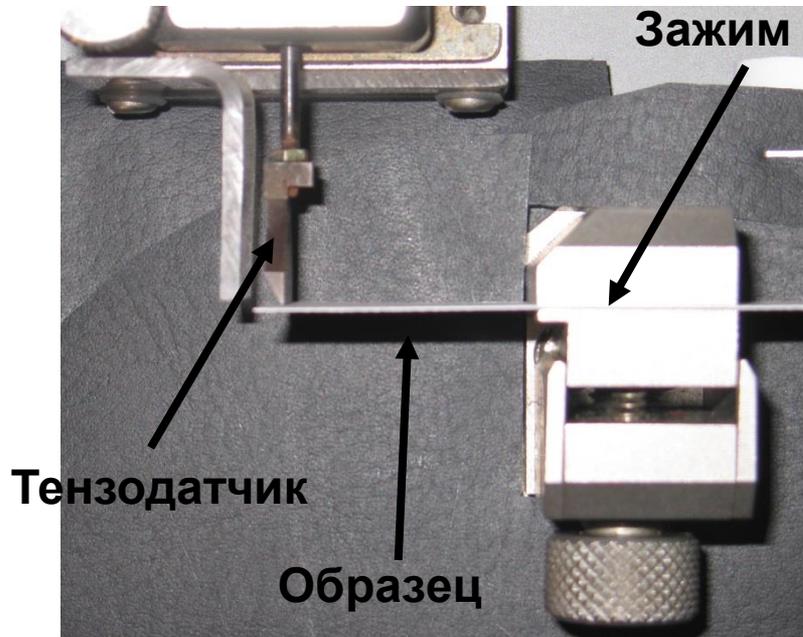
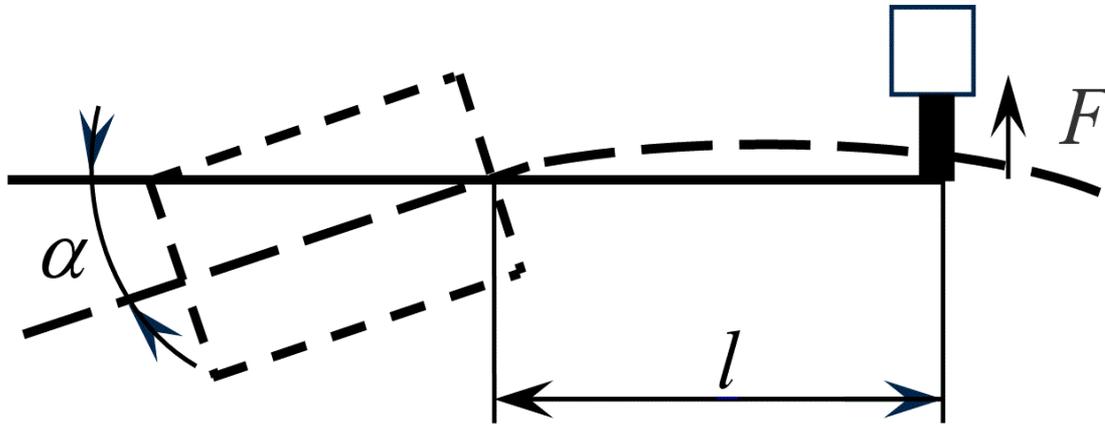


Сущность метода заключается в измерении силы, приложенной к свободному концу консольно закрепленного образца на постоянном расстоянии от линии закрепления и изгибающей его на определенный угол.



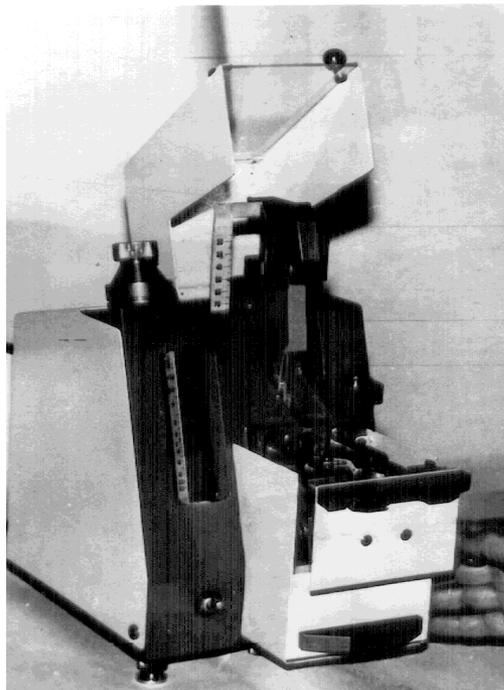
Деформативность картона-лайнера при изгибе

Принцип приложения нагрузки при 2-х точечном методе испытания на изгиб



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Приборы для измерения жесткости при изгибе бумаги и картона по двухточечному методу



ЖБИ-1



«Messmer Buchel Stiffness Tester 116-BD»



Модернизированный «Messmer Buchel Stiffness Tester 116-BD»



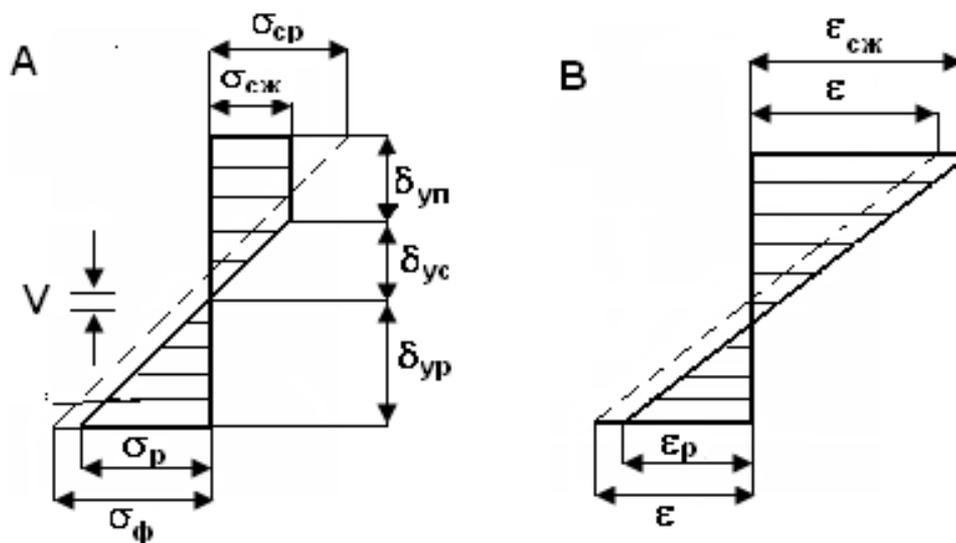
прибор для определения сопротивления изгибу «ИТС 7003»

Деформативность картона-лайнера при изгибе

Бумага как упруго-вязко-пластический материал

Бумага является упруго-вязко-пластическим материалом, в котором при приложении нагрузки возникают не только упругие, но и пластические деформации, которые при испытании образцов на жесткость при изгибе не учитываются

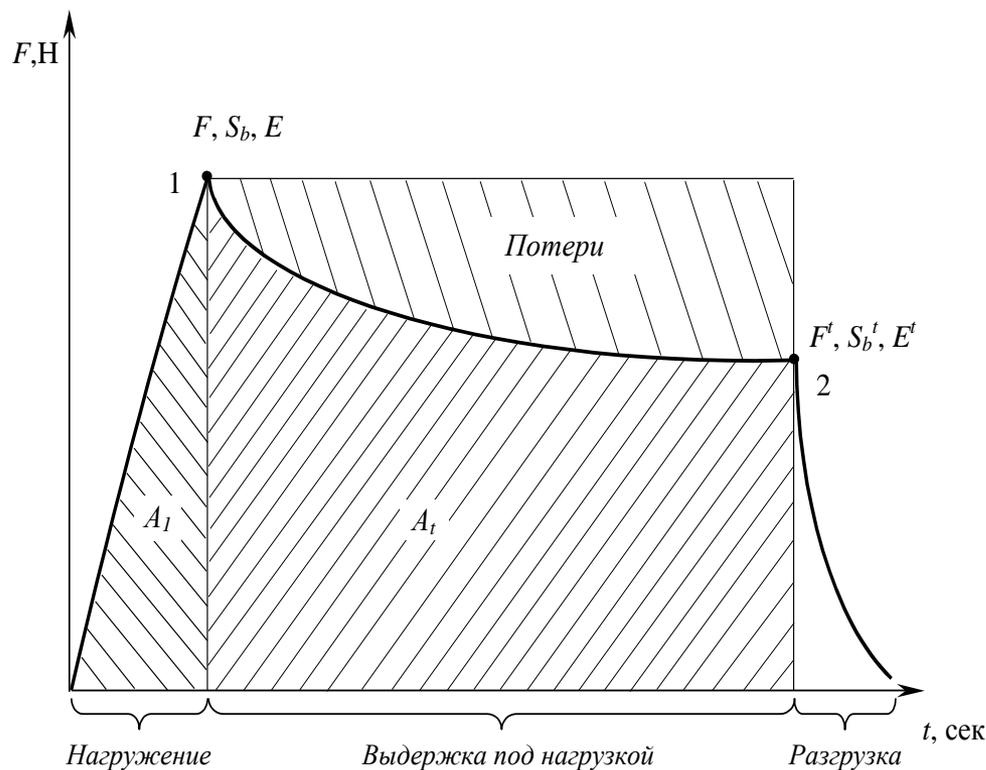
Известно, что такой материал при изгибе в растянутой зоне поперечного сечения стержня работает упруго вплоть до разрыва крайних волокон, а в сжатой зоне - упруго-пластически



Графоаналитический метод определения деформаций при изгибе с учетом пластических деформаций

Комаров В.И. Жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов. Анализ методов измерения и влияния технологических факторов // ИВУЗ. Лесной журнал. 1994. №3. С. 133–142.

Принцип определения характеристик вязкоупругости бумаги и картона при изгибе



Прибор регистрирует кривую изменения нагрузки на датчик во времени.

При обработке кривой рассчитываются:

- нагрузка F ;
 - жесткость при изгибе S_b ;
 - модуль упругости E ;
- в точке максимальной нагрузки (т.1)
в точке снятия нагрузки (т.2),
- работа нагружения A_1 ;
 - работа релаксации A_t ;
 - потери Q .

Деформативность картона-лайнера при изгибе

Казиков Я.В., Комаров В.И. Математическая обработка кривых зависимости "напряжение - деформация", полученных при испытании целлюлозно-бумажных материалов на растяжение // Лесн. журн. – 1995. – №1. – С.109-114. (Изв. высш. учеб. заведений).

Вычисления производятся по формулам

Жесткость при изгибе S_b , Н·м:

F – регистрируемая датчиком нагрузка, мН;
 l – активная длина образца, мм;
 α – угол изгиба образца, град;
 b – ширина образца мм.

$$S_b = \frac{F \cdot l^2}{3 \sin \alpha \cdot b}$$

Модуль упругости E , МПа:

δ – толщина образца, мкм

$$E = \frac{S_b \cdot 12}{\delta^3}$$

Работа нагружения A_1

$$A_1 = \int_0^{t_1} F dt$$

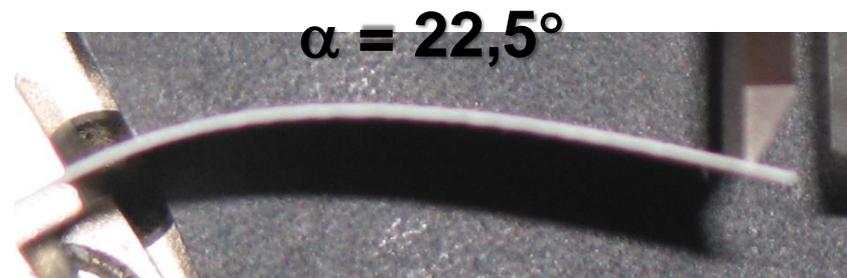
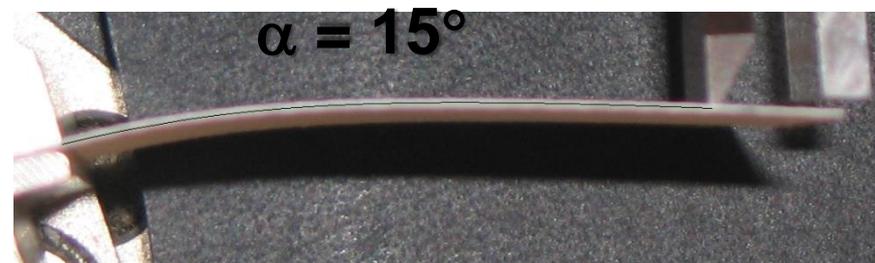
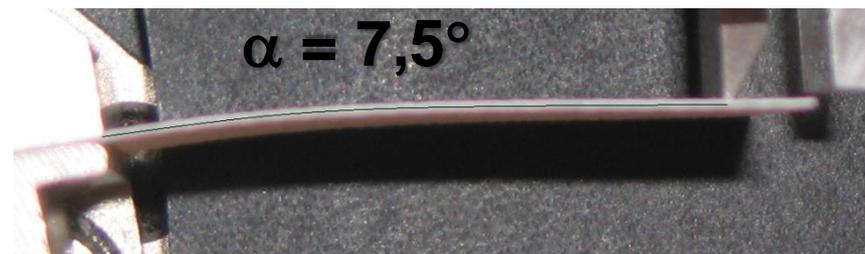
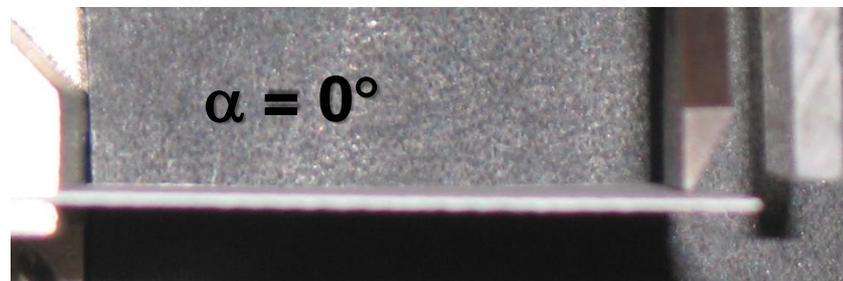
Работа при выдержке A_t :

$$A_t = \int_{t_1}^{t_2} F dt$$

Потери жёсткости Q , %:

$$Q = \frac{F(t_2 - t_1) - A_t}{F(t_2 - t_1)} \cdot 100 \%$$

Изгиб образца в процессе испытания



Длина образца – 25 мм



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Долговременная (усталостная) жесткость

Применяемые в отрасли стандартные методы измерения жесткости картона и бумаги при изгибе предусматривают **кратковременное нагружение** образца, при котором его деформация не превышает предела упругости при изгибе

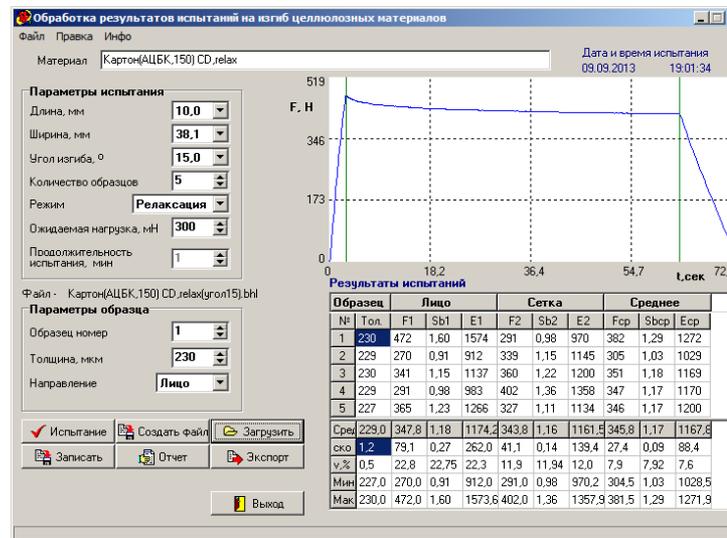
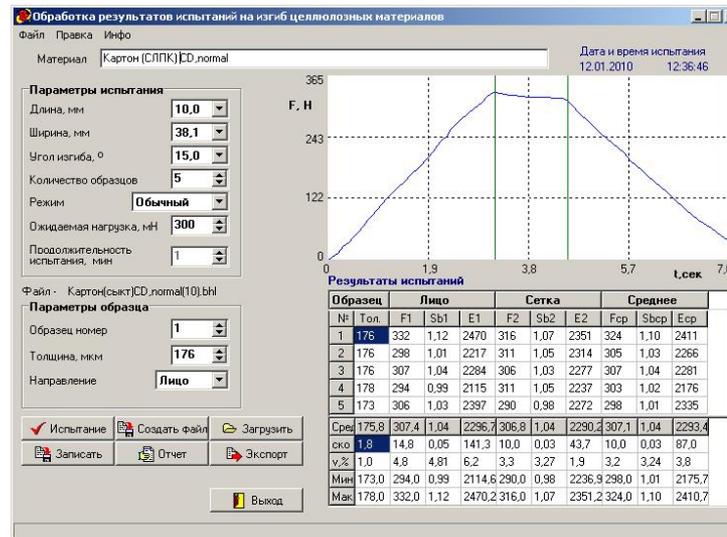
При эксплуатации изделий из картона, реальные нагрузки могут быть существенно выше и действовать длительное время, например, при транспортировке и хранении затаренной в коробки продукции.

В этих условиях речь должна идти уже о **долговременной или усталостной жесткости** и о необходимости учета релаксационных процессов в структуре картона как вязкоупругопластического материала, поскольку на результат оказывают влияние пластические деформации, возникающие в образце при его изгибе.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Для оценки деформативности целлюлозно-бумажных материалов при изгибе

Результат единичного испытания в стандартном режиме



Результат единичного испытания в режиме релаксации

Деформативность картона-лайнера при изгибе



Свид. № 2010612795 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для обработки результатов испытаний на изгиб целлюлозно-бумажных материалов (Stiffness). / Я.В. Казаков, Д.Г. Чухчин, Е.Ю. Ларина, В.И. Комаров; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2010610990; заявл. 02.03.2010; опубл. 23.04.2010, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с..

Отчет о результатах испытания на изгиб

Результаты испытаний

Результаты испытания образцов на изгиб на приборе Messmer Buchel

Образец - Картон (АЦБК, 125) CD, normal
 Дата и время - 05.09.2021 ; 23:31:25
 Размеры образца: Длина - 10 мм, Ширина - 38,1 мм
 Угол изгиба - 15,0 град
 Режим испытания - Обычный
 Данные хранятся в файле - Картон (АЦБК, 125) CD, normal (10) .bhl

| Направ- ление | Характе- ристика | Образец | | | | | Статистика | | | | | |
|------------------|---------------------|---------|------|------|------|------|------------|-------|-------|--------|--------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Среднее | Ско | v, % | Мин. | Макс. | |
| | Толщ, мм | 165 | 171 | 173 | 173 | 167 | 169,8 | 3,6 | 2,1 | 165,0 | 173,0 | |
| Лицо | F, Н | 183 | 219 | 170 | 234 | 191 | 199,4 | 26,4 | 13,2 | 170,0 | 234,0 | |
| | Sb, Н*м | 0,62 | 0,74 | 0,57 | 0,79 | 0,65 | 0,67 | 0,09 | 13,23 | 0,57 | 0,79 | |
| | Eи, МПа | 1652 | 1777 | 1332 | 1833 | 1663 | 1651,5 | 194,3 | 11,8 | 1331,8 | 1833,2 | |
| | A1, мДж | 236 | 323 | 241 | 383 | 297 | 295,8 | 61,1 | 20,6 | 235,8 | 382,9 | |
| | At, мДж | 388 | 389 | 309 | 287 | 260 | 327 | 59,1 | 18,1 | 260 | 389 | |
| | Ft, Н | 178 | 212 | 165 | 227 | 182 | 192,8 | 25,7 | 13,3 | 165,0 | 227,0 | |
| | Sbt, Н*м | 0,60 | 0,72 | 0,56 | 0,77 | 0,62 | 0,65 | 0,09 | 13,34 | 0,56 | 0,77 | |
| | Et, МПа | 1607 | 1720 | 1293 | 1778 | 1585 | 1596,7 | 187,7 | 11,8 | 1292,7 | 1778,4 | |
| | Потери, % | ---- | ---- | ---- | 18,8 | 9,5 | 14,1 | 6,6 | 46,7 | ---- | 18,8 | |
| | Tau | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Сетка | F, Н | 181 | 146 | 154 | 134 | 160 | 155,0 | 17,5 | 11,3 | 134,0 | 181,0 | |
| | Sb, Н*м | 0,61 | 0,49 | 0,52 | 0,45 | 0,54 | 0,52 | 0,06 | 11,29 | 0,45 | 0,61 | |
| | Eи, МПа | 1634 | 1184 | 1206 | 1050 | 1394 | 1293,7 | 226,4 | 17,5 | 1049,8 | 1634,4 | |
| | A1, мДж | 248 | 237 | 238 | 206 | 233 | 232,4 | 16,1 | 6,9 | 205,5 | 248,2 | |
| | At, мДж | 179 | 198 | 196 | 182 | 280 | 207 | 41,6 | 20,1 | 179 | 280 | |
| | Ft, Н | 175 | 138 | 147 | 129 | 154 | 148,6 | 17,5 | 11,8 | 129,0 | 175,0 | |
| | Sbt, Н*м | 0,59 | 0,47 | 0,50 | 0,44 | 0,52 | 0,50 | 0,06 | 11,78 | 0,44 | 0,59 | |
| | Et, МПа | 1580 | 1120 | 1152 | 1011 | 1341 | 1240,7 | 224,1 | 18,1 | 1010,6 | 1580,2 | |
| | Потери, % | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |

Save Print OK

Деформативность картона-лайнера при изгибе

Текущие характеристики кривой – количественные параметры кинетики деформирования при изгибе

Картон(АЦБК,125) CD,normal(10).txt — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

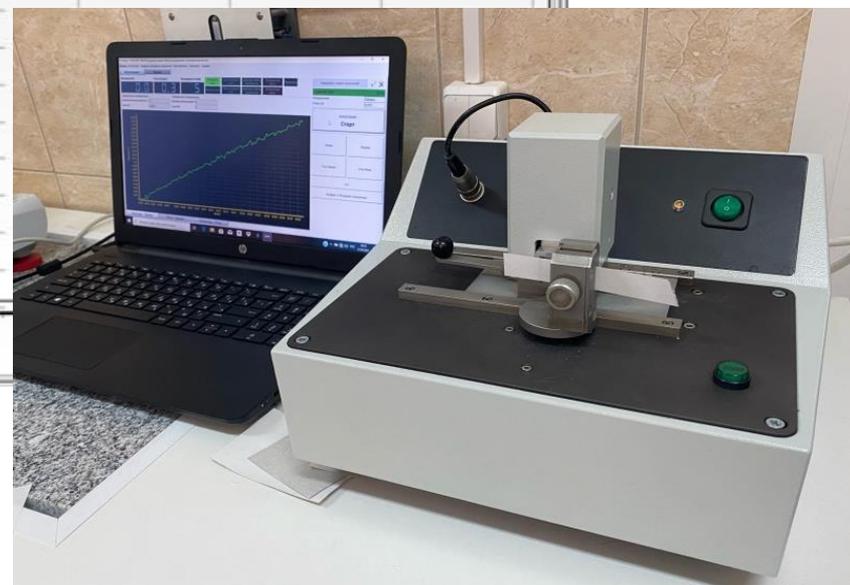
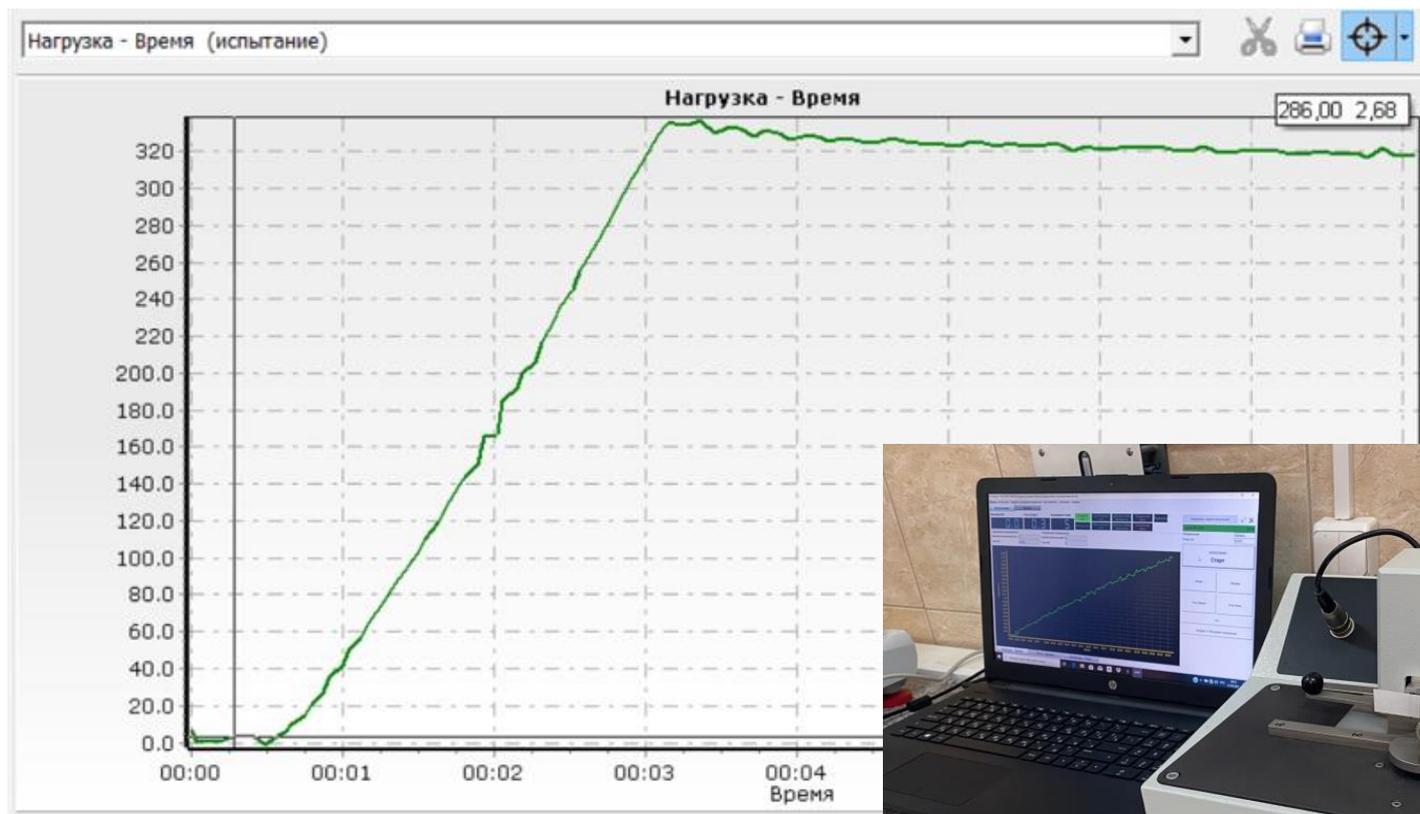
Данные, полученные при испытании образцов на изгиб на приборе Messmer Buchel

Образец - Картон(АЦБК,125)CD,normal
 Длина образца - 10; мм
 Ширина образца - 38,1; мм
 Угол изгиба - 15,0; град
 Режим испытания - Обычный
 Число образцов - 5
 Данные хранятся в файле - Картон(АЦБК,125) CD,normal(10).bhl

| Направление; | Лицо | Лицо | Лицо | Сетка | | |
|--------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| № образца | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | |
| Харак-тика | t,сек | F,H | t,сек | F,H | t,сек | F,H | t,сек | F,H | t,сек | F,H | t,сек | F,H |
| 1 | 0,2 | 6 | 0,2 | 9 | 0,2 | 8 | 0,0 | 3 | 0,0 | 1 | 0,0 | 1 | 0,0 | 1 | 0,1 | 5 | 0,0 | 4 | 0,1 | 6 | | |
| 2 | 0,4 | 16 | 0,3 | 17 | 0,3 | 13 | 0,1 | 11 | 0,2 | 4 | 0,1 | 6 | 0,1 | 5 | 0,3 | 15 | 0,1 | 12 | 0,3 | 14 | | |
| 3 | 0,5 | 23 | 0,4 | 25 | 0,5 | 24 | 0,2 | 18 | 0,4 | 14 | 0,2 | 11 | 0,3 | 13 | 0,4 | 21 | 0,2 | 16 | 0,4 | 20 | | |
| 4 | 0,6 | 34 | 0,6 | 37 | 0,6 | 32 | 0,4 | 30 | 0,5 | 20 | 0,4 | 21 | 0,5 | 19 | 0,6 | 30 | 0,3 | 21 | 0,6 | 29 | | |
| 5 | 0,8 | 44 | 0,7 | 44 | 0,8 | 42 | 0,5 | 39 | 0,7 | 29 | 0,6 | 32 | 0,6 | 26 | 0,7 | 35 | 0,4 | 26 | 0,7 | 38 | | |
| 6 | 0,9 | 59 | 0,7 | 52 | 0,9 | 53 | 0,6 | 47 | 0,8 | 35 | 0,8 | 43 | 0,8 | 32 | 0,8 | 41 | 0,5 | 30 | 0,9 | 49 | | |
| 7 | 1,1 | 70 | 0,9 | 63 | 1,0 | 59 | 0,7 | 55 | 0,9 | 45 | 0,8 | 50 | 1,0 | 39 | 0,9 | 49 | 0,6 | 35 | 1,0 | 54 | | |
| 8 | 1,2 | 80 | 1,1 | 74 | 1,2 | 69 | 0,7 | 63 | 1,0 | 55 | 0,9 | 57 | 1,0 | 44 | 1,0 | 55 | 0,7 | 40 | 1,2 | 62 | | |
| 9 | 1,4 | 90 | 1,3 | 84 | 1,4 | 78 | 0,8 | 70 | 1,2 | 69 | 1,1 | 67 | 1,1 | 48 | 1,2 | 63 | 0,8 | 45 | 1,3 | 67 | | |
| 10 | 1,5 | 99 | 1,5 | 100 | 1,5 | 84 | 0,9 | 78 | 1,3 | 79 | 1,2 | 75 | 1,2 | 53 | 1,3 | 69 | 0,9 | 53 | 1,5 | 78 | | |
| 11 | 1,7 | 109 | 1,7 | 115 | 1,7 | 95 | 1,0 | 86 | 1,5 | 89 | 1,3 | 82 | 1,3 | 58 | 1,4 | 74 | 1,0 | 58 | 1,6 | 88 | | |
| 12 | 1,7 | 118 | 1,8 | 130 | 1,7 | 100 | 1,1 | 93 | 1,7 | 101 | 1,4 | 88 | 1,4 | 63 | 1,5 | 79 | 1,1 | 62 | 1,7 | 93 | | |
| 13 | 1,8 | 123 | 1,9 | 136 | 1,8 | 108 | 1,2 | 100 | 1,8 | 113 | 1,5 | 94 | 1,5 | 68 | 1,7 | 90 | 1,3 | 72 | 1,8 | 98 | | |
| 14 | 1,9 | 129 | 2,0 | 144 | 2,0 | 118 | 1,3 | 112 | 2,0 | 126 | 1,6 | 101 | 1,7 | 77 | 1,8 | 95 | 1,4 | 76 | 2,0 | 105 | | |
| 15 | 2,0 | 135 | 2,2 | 157 | 2,1 | 124 | 1,4 | 120 | 2,1 | 131 | 1,7 | 107 | 1,8 | 81 | 1,9 | 105 | 1,5 | 81 | 2,1 | 110 | | |
| 16 | 2,1 | 140 | 2,3 | 163 | 2,3 | 135 | 1,5 | 126 | 2,3 | 142 | 1,7 | 113 | 1,9 | 86 | 2,1 | 110 | 1,6 | 86 | 2,2 | 115 | | |
| 17 | 2,2 | 145 | 2,3 | 170 | 2,4 | 140 | 1,6 | 133 | 2,4 | 147 | 1,9 | 125 | 2,0 | 91 | 2,1 | 114 | 1,7 | 90 | 2,3 | 121 | | |
| 18 | 2,3 | 151 | 2,4 | 176 | 2,5 | 146 | 1,7 | 147 | 2,6 | 158 | 2,0 | 131 | 2,2 | 99 | 2,2 | 118 | 1,8 | 94 | 2,4 | 126 | | |
| 19 | 2,4 | 161 | 2,5 | 181 | 2,6 | 156 | 1,8 | 154 | 2,7 | 168 | 2,2 | 142 | 2,2 | 103 | 2,4 | 127 | 1,9 | 103 | 2,5 | 133 | | |
| 20 | 2,5 | 167 | 2,6 | 188 | 2,7 | 161 | 1,9 | 161 | 2,9 | 178 | 2,3 | 147 | 2,3 | 109 | 2,6 | 132 | 2,0 | 106 | 2,6 | 140 | | |
| 21 | 2,6 | 173 | 2,7 | 197 | 2,8 | 169 | 2,0 | 168 | 3,0 | 183 | 2,4 | 158 | 2,4 | 114 | 2,7 | 138 | 2,1 | 111 | 2,7 | 146 | | |
| 22 | 2,7 | 183 | 2,9 | 209 | 2,9 | 170 | 2,2 | 181 | 3,2 | 191 | 2,5 | 164 | 2,5 | 118 | 2,7 | 142 | 2,2 | 115 | 2,8 | 153 | | |
| 23 | 3,0 | 182 | 2,9 | 215 | 3,0 | 170 | 2,3 | 187 | 3,3 | 190 | 2,6 | 170 | 2,6 | 121 | 2,8 | 147 | 2,4 | 123 | 3,0 | 160 | | |
| 24 | 3,1 | 182 | 3,0 | 219 | 3,1 | 169 | 2,3 | 193 | 3,3 | 189 | 2,7 | 176 | 2,8 | 129 | 3,0 | 151 | 2,5 | 128 | 3,1 | 160 | | |
| 25 | 3,2 | 181 | 3,1 | 219 | 3,2 | 169 | 2,4 | 199 | 3,5 | 188 | 2,8 | 181 | 2,9 | 133 | 3,0 | 154 | 2,6 | 132 | 3,2 | 159 | | |
| 26 | 3,4 | 181 | 3,3 | 217 | 3,4 | 168 | 2,5 | 207 | 3,6 | 187 | 2,9 | 181 | 3,1 | 140 | 3,2 | 153 | 2,8 | 134 | 3,2 | 159 | | |
| 27 | 3,5 | 180 | 3,5 | 216 | 3,5 | 167 | 2,6 | 214 | 3,7 | 187 | 3,0 | 180 | 3,1 | 145 | 3,4 | 152 | 3,0 | 133 | 3,3 | 159 | | |
| 28 | 3,7 | 180 | 3,6 | 216 | 3,6 | 167 | 2,7 | 219 | 3,9 | 186 | 3,1 | 180 | 3,2 | 146 | 3,6 | 151 | 3,0 | 133 | 3,5 | 168 | | |
| 29 | 3,9 | 179 | 3,7 | 215 | 3,8 | 167 | 2,8 | 225 | 4,0 | 186 | 3,2 | 179 | 3,3 | 145 | 3,8 | 151 | 3,1 | 132 | 3,7 | 167 | | |
| 30 | 4,0 | 179 | 3,8 | 215 | 4,0 | 166 | 2,9 | 232 | 4,1 | 185 | 3,3 | 179 | 3,5 | 144 | 3,9 | 150 | 3,2 | 132 | 3,8 | 167 | | |
| 31 | 4,2 | 179 | 3,9 | 214 | 4,2 | 166 | 3,0 | 234 | 4,2 | 185 | 3,4 | 179 | 3,6 | 144 | 4,0 | 150 | 3,4 | 132 | 3,9 | 167 | | |
| 32 | 4,3 | 178 | 4,0 | 214 | 4,4 | 165 | 3,1 | 233 | 4,3 | 185 | 3,4 | 179 | 3,7 | 144 | 4,0 | 150 | 3,4 | 132 | 4,0 | 167 | | |
| 33 | 4,4 | 178 | 4,2 | 213 | 4,6 | 157 | 3,2 | 232 | 4,4 | 184 | 3,5 | 178 | 3,8 | 143 | 4,1 | 149 | 3,5 | 131 | 4,2 | 167 | | |

Деформативность картона-лайнера при изгибе

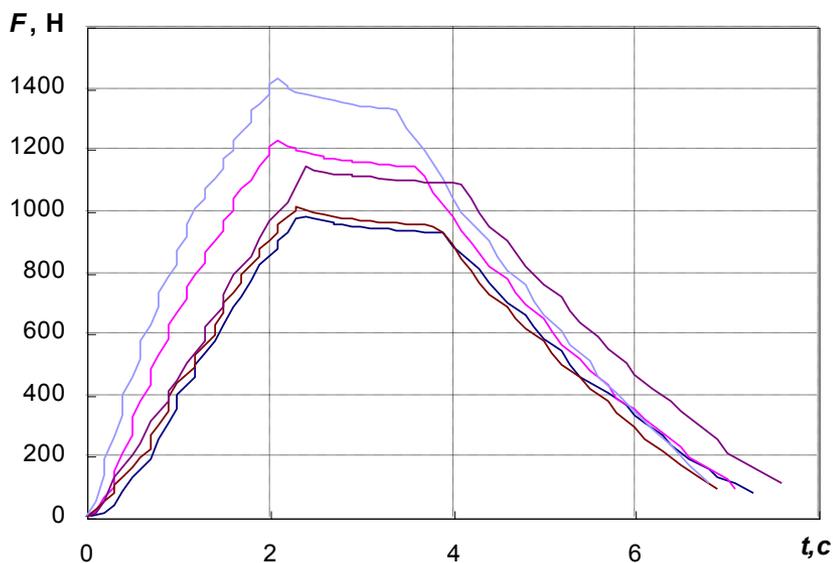
Регистрация кривой нагружения при испытании на изгиб



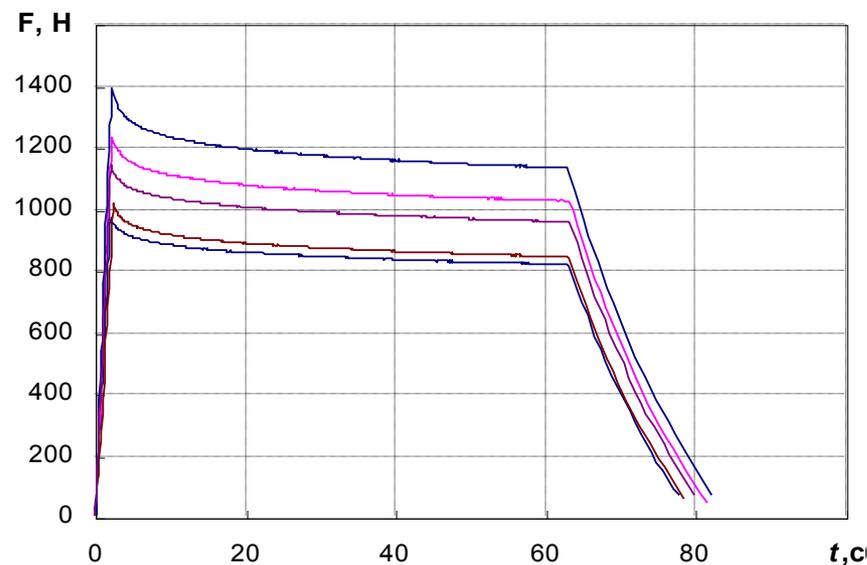
Деформативность картона-лайнера при изгибе

Зависимости, получаемые при испытании серии параллельных образцов картона

в стандартном режиме



в режиме релаксации

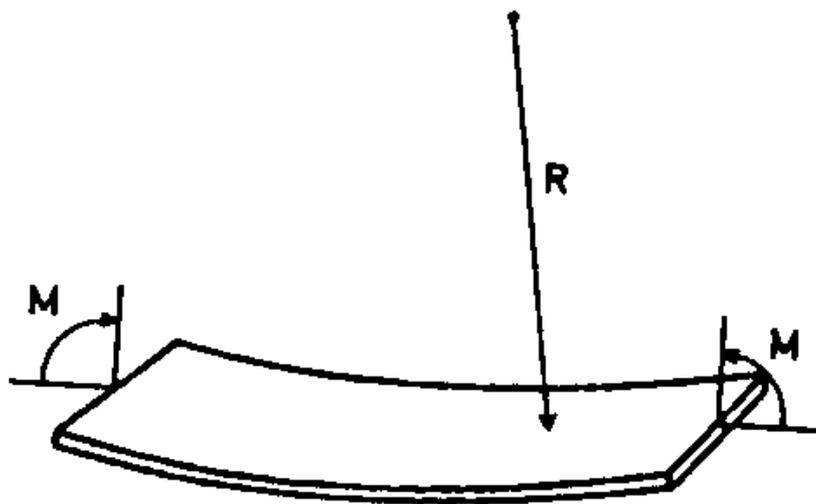


Факторы, влияющие на сопротивление образца изгибу:

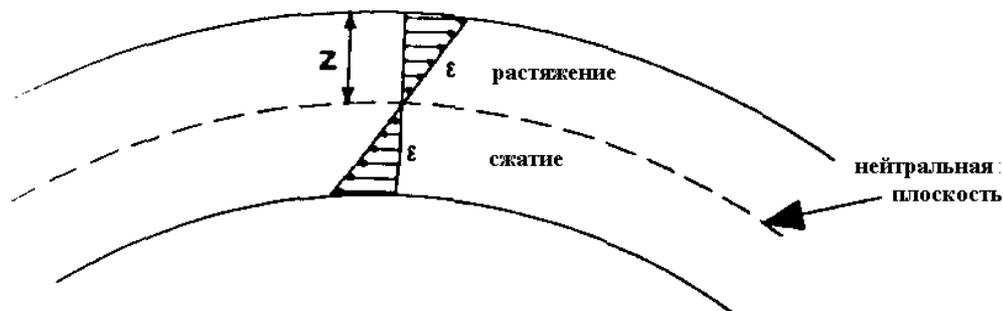
- лицевая/сеточная сторона – разносторонность;
- скручиваемость образца до начала нагружения;
- коробление образца;
- неоднородность структуры из-за флокуляции;

Деформативность картона-лайнера при изгибе

Изгиб балки в упругой области, где существует пропорциональность между нагрузкой и деформацией



Чистый изгиб балки с прямоугольным поперечным сечением – Радиус кривизны R также является постоянным вдоль балки и плоскость поперечного сечения остается перпендикулярной к нейтральной плоскости вдоль изгиба. Изгибающий момент M пропорционален кривизне

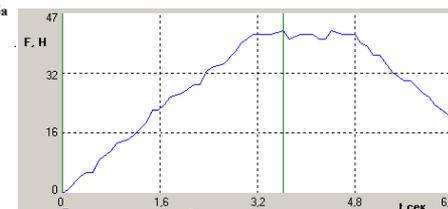
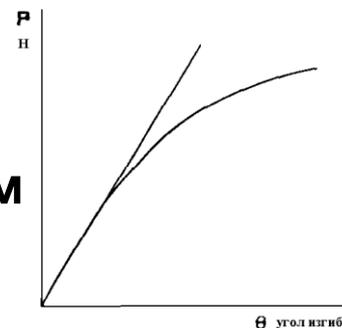
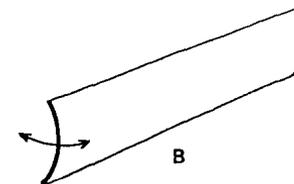


Растягивающее и сжимающее напряжения по отношению к нейтральной плоскости симметричны

Деформативность картона-лайнера при изгибе

Источники ошибок при измерении жесткости при изгибе

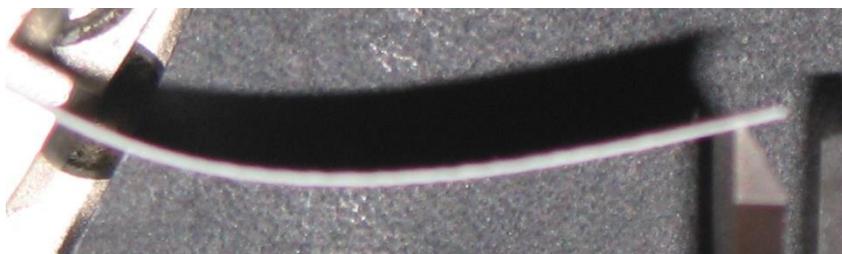
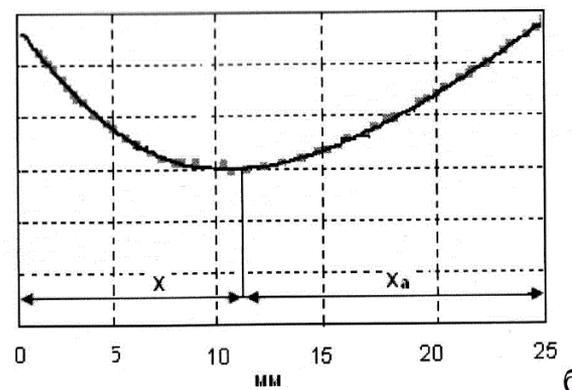
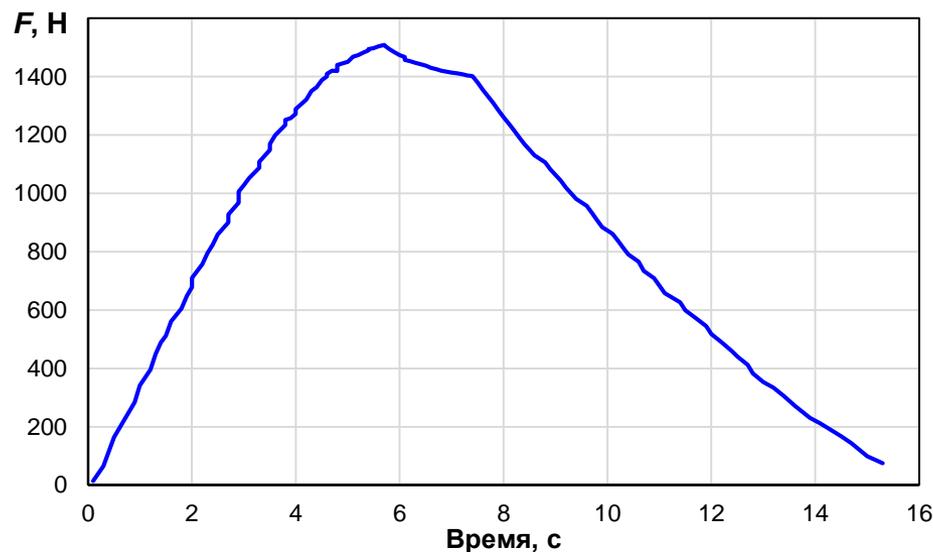
- лицевая/сеточная сторона – разносторонность;
- скручиваемость образца до начала нагружения;
- коробление образца;
- неоднородность структуры из-за флокуляции;
- испытания образца с использованием усилия, создающего деформацию превышающую зону упругости;
- Величина регистрируемой нагрузки сопоставима с погрешностью датчика



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Проявление упруго-пластических свойств бумаги при изгибе

- Загиб кривой нагружения образца, отклонение хода кривой от прямолинейности;
- Релаксация напряжения при выдерживании образца при нагрузке;
- Отклонение кривизны изгиба от окружности;



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Исследованные образцы

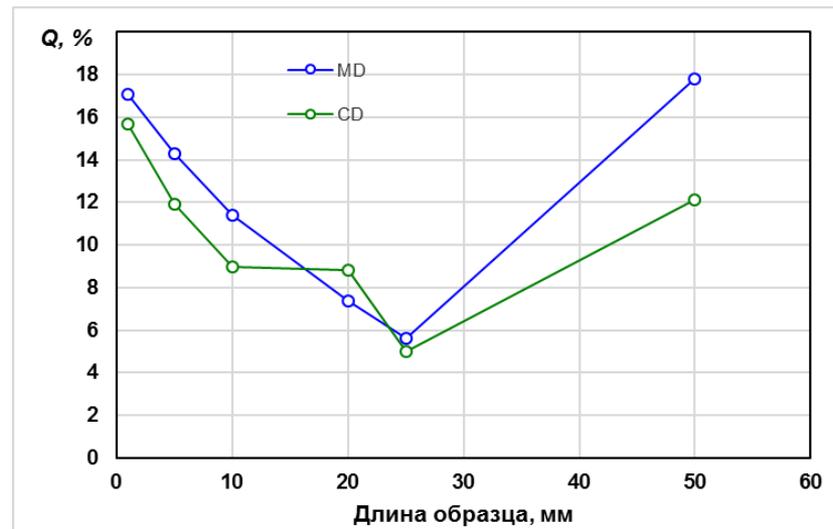
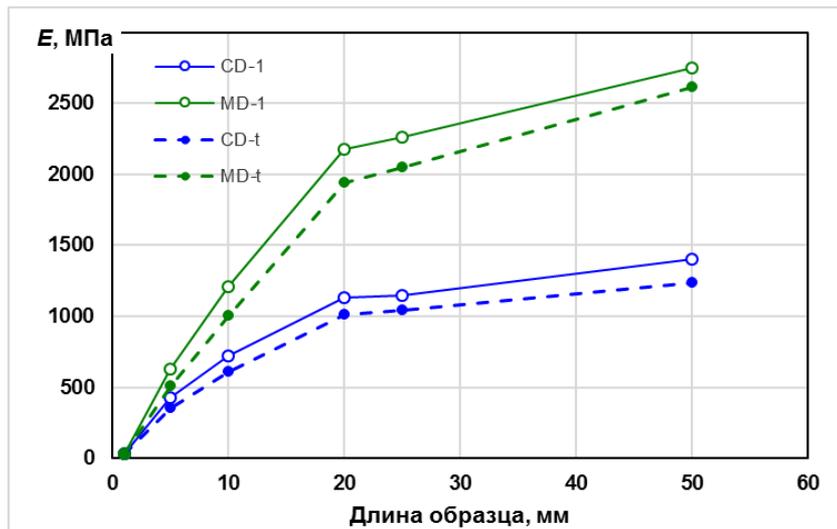
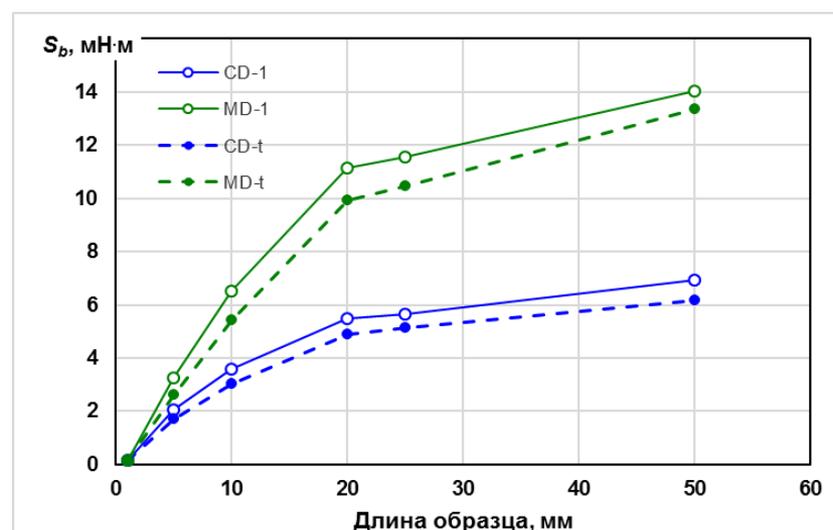
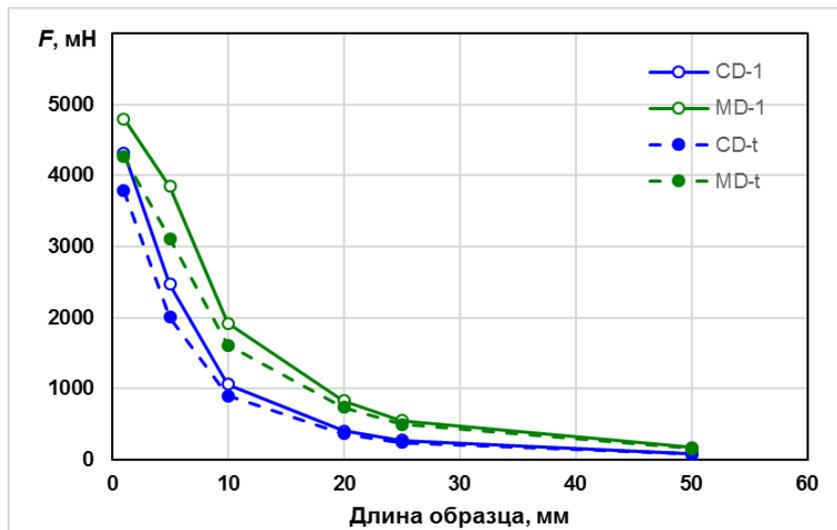
картона для плоских слоёв гофрированного картона

- **крафт-лайнер** – из целлюлозы высокого выхода,
- **топ-лайнер** – картона из хвойной и лиственной целлюлозы с белёным покровным слоем;
- **тестлайнер** – макулатурный картон.

Варьируемые параметры:

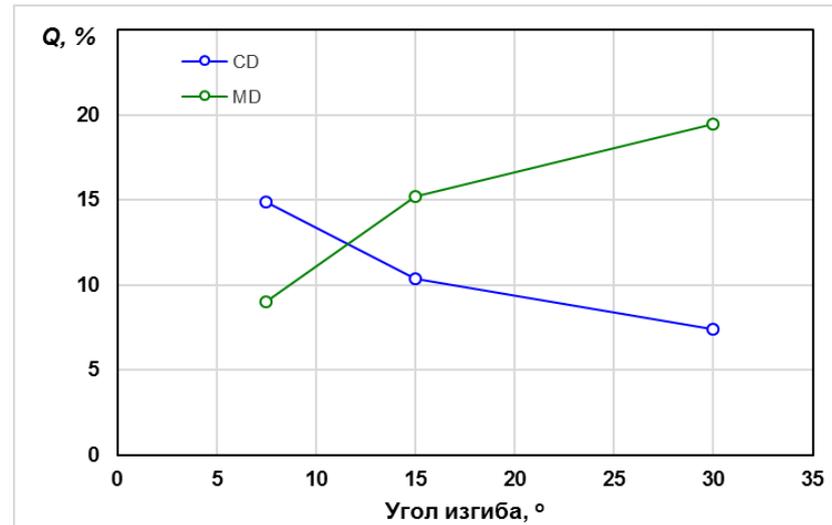
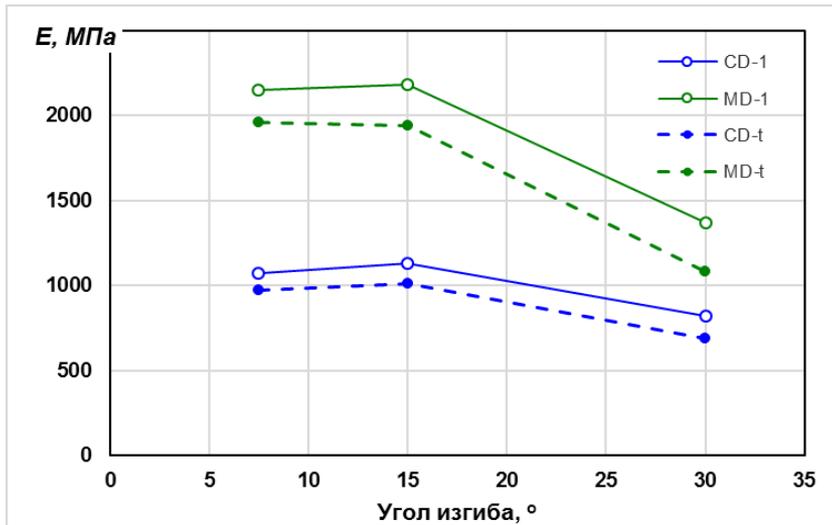
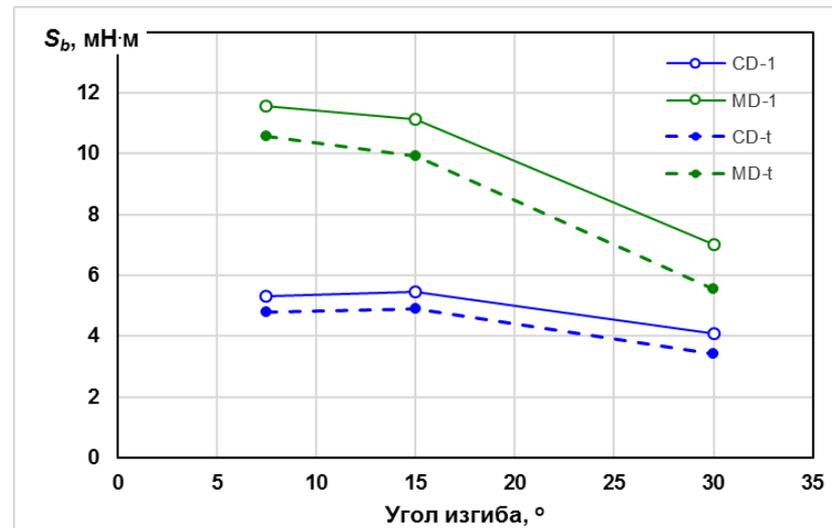
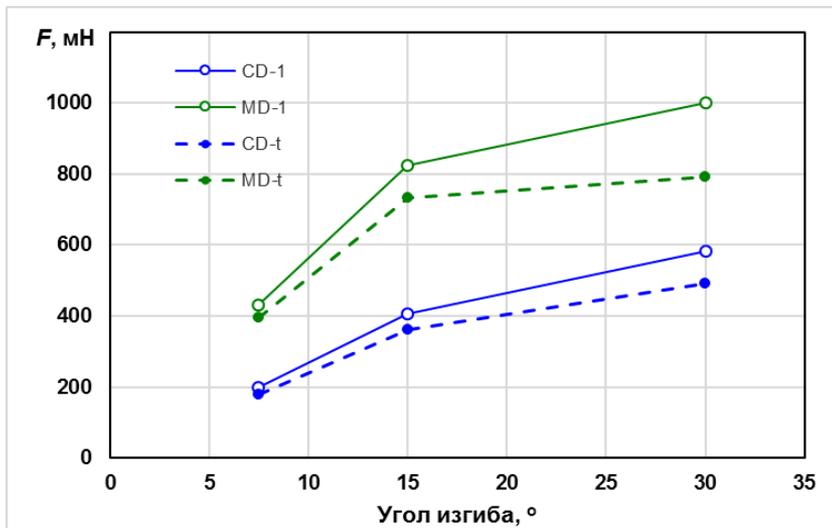
- размеры образцов (длина и ширина);
- угол изгиба;
- масса 1 м²;
- выдержки при максимально угле изгиба.

Влияние длины образца картон тест-лайнер 200 г/м²



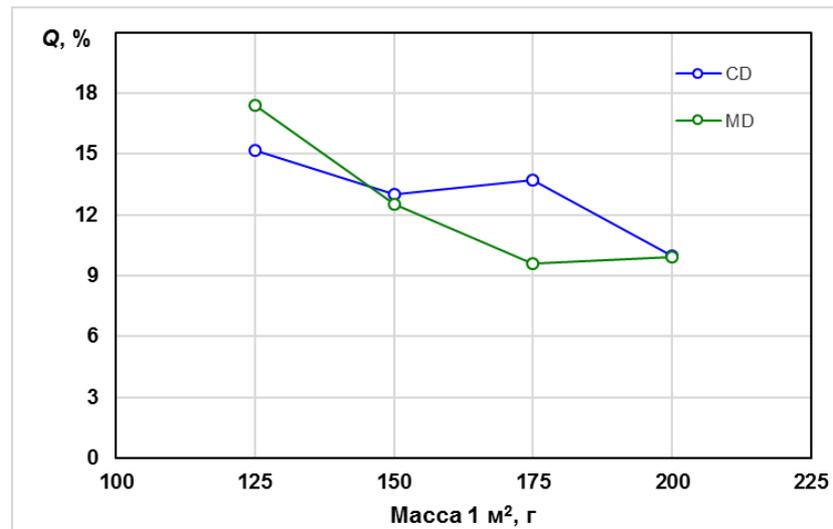
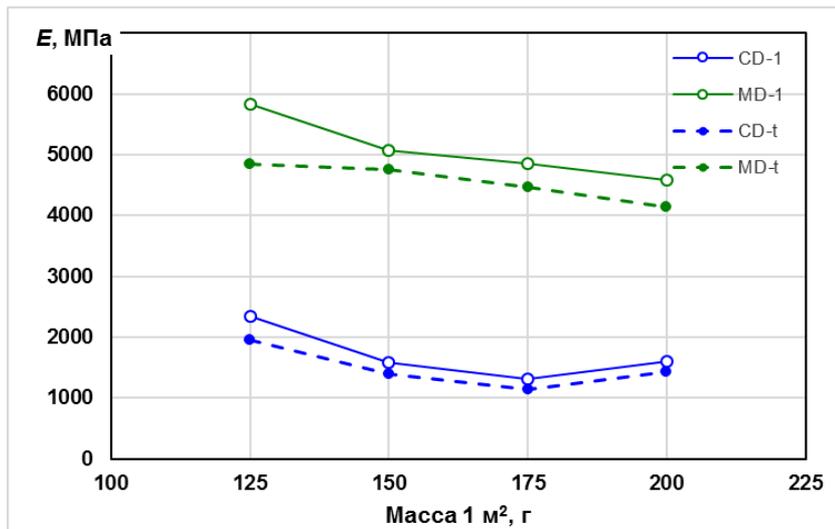
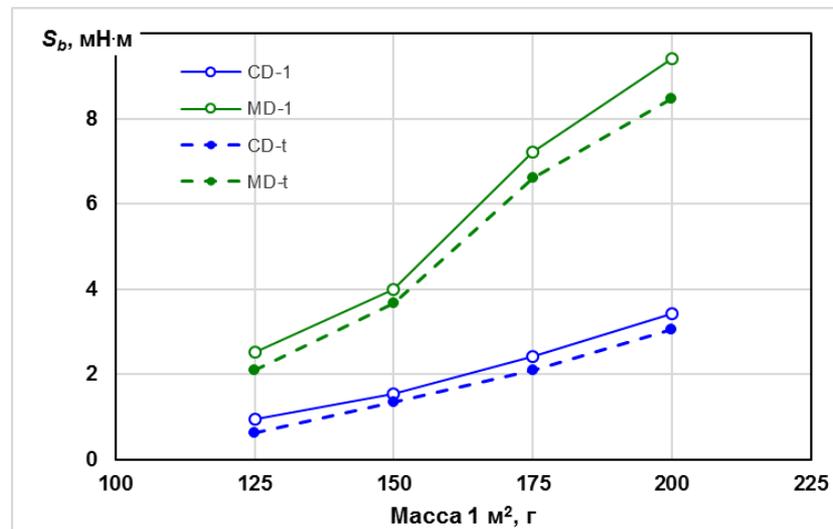
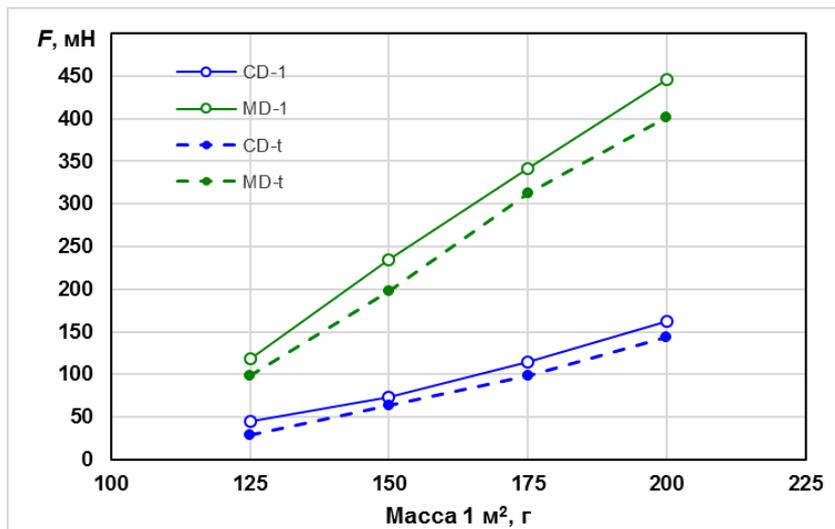
Деформативность картона-лайнера при изгибе

Влияние угла изгиба картон тест-лайнера, 200 г/м²



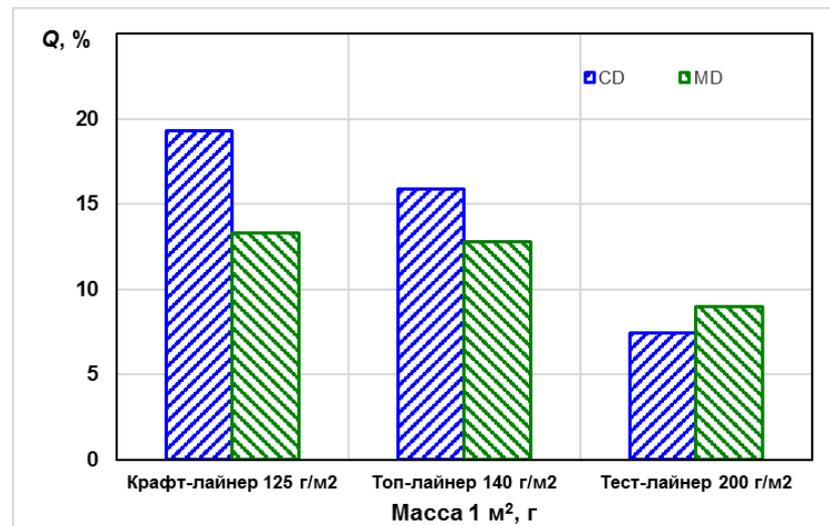
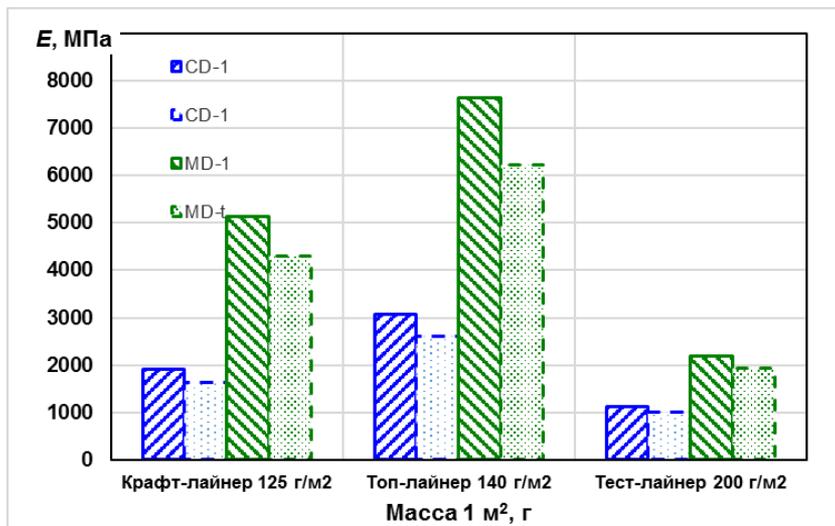
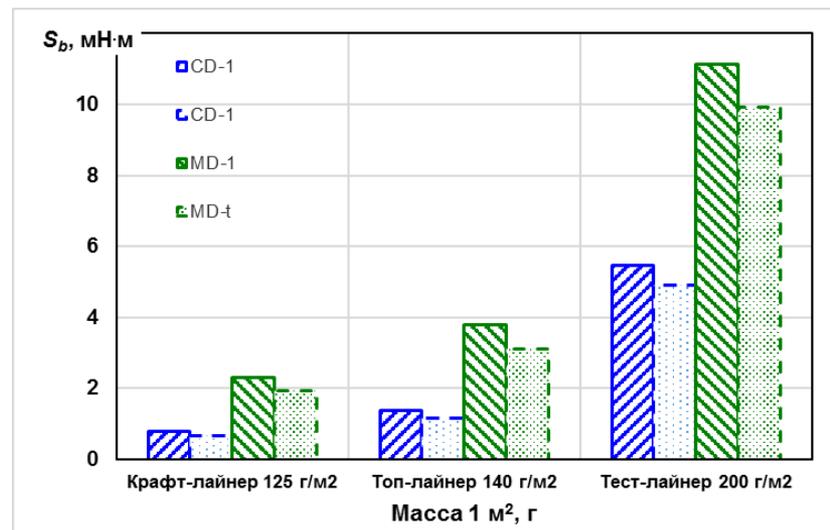
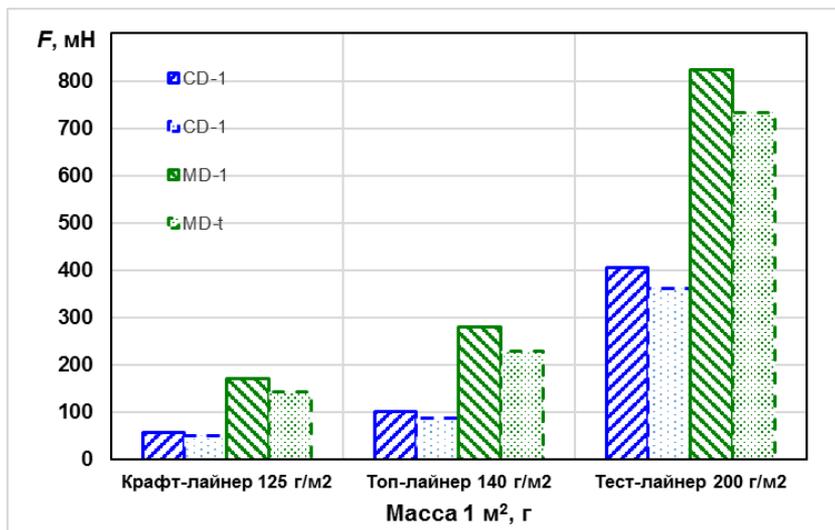
Деформативность картона-лайнера при изгибе

Влияние массы 1 м^2 крафт-лайнера, угол изгиба 15° , ширина $38,1 \text{ мм}$



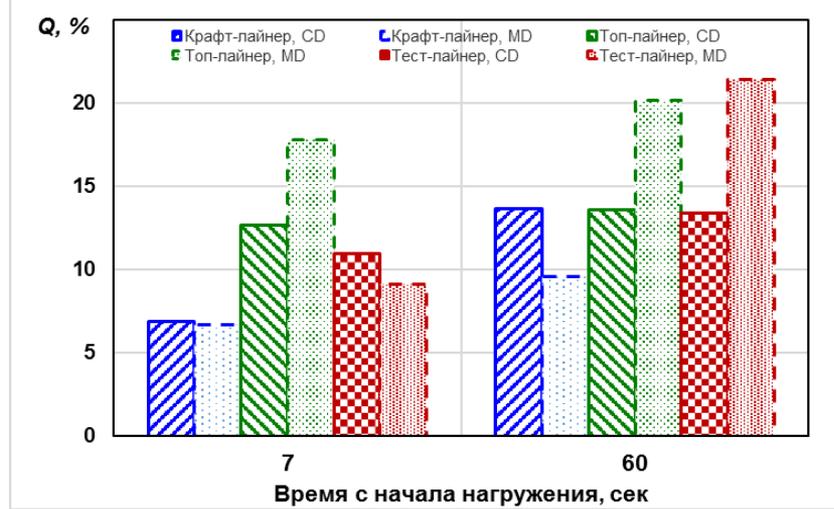
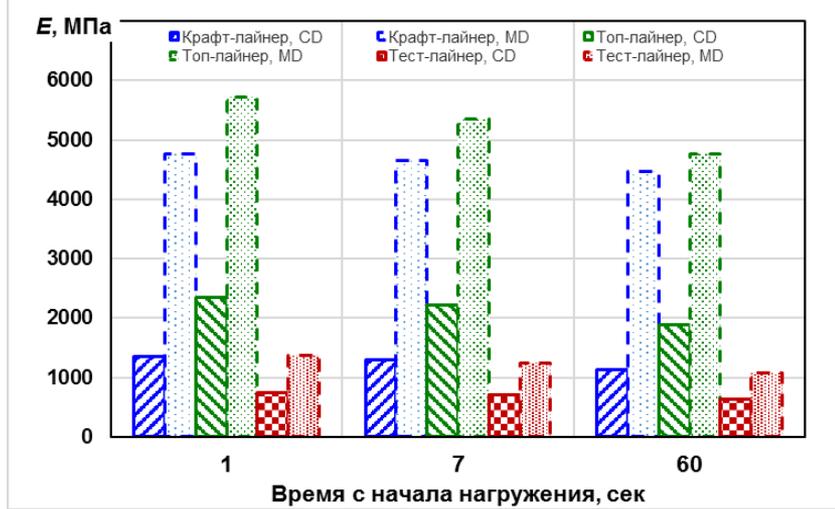
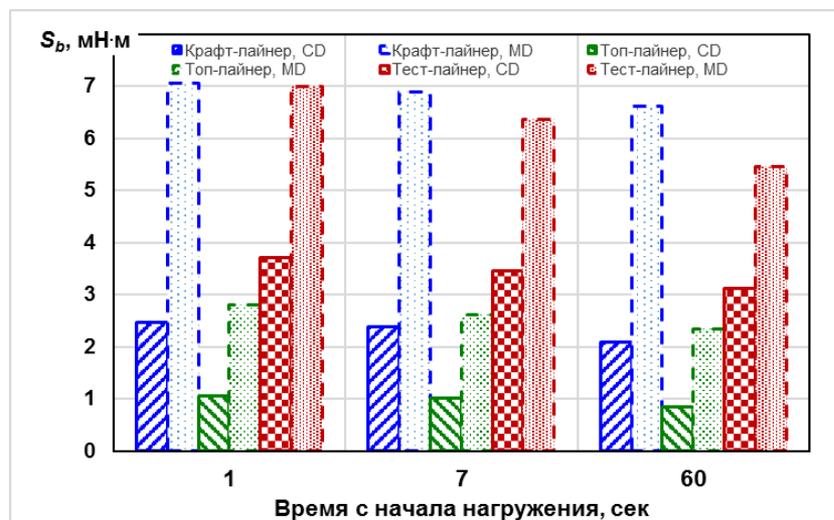
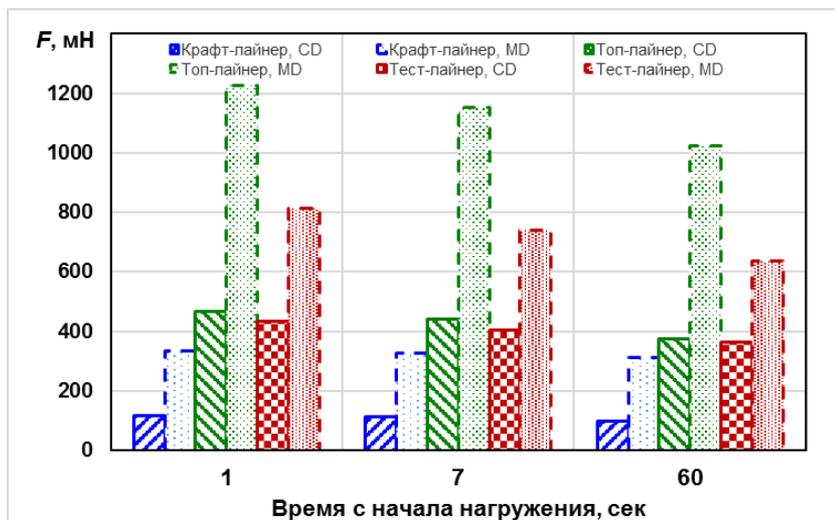
Деформативность картона-лайнера при изгибе

Сравнительная характеристика деформативности при изгибе картона лайнера, угол изгиба 15° , размеры образца $20 \times 38,1$ мм



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Влияние продолжительности испытания



Деформативность картона-лайнера при изгибе

Выводы

- доказано существование и количественно охарактеризованы упруговязкопластические свойства картона при испытании его на изгиб;
- показана необходимость учета релаксационных процессов в структуре картона как вязкоупругопластического материала, поскольку на результат оказывают влияние пластические деформации, возникающие в образце при его изгибе;
- стандартные условия испытания на изгиб не являются универсальными и подходящими для всех видов картона;
- соблюдение условия проведения испытаний в упругой области приводит к повышению погрешности измерений;
- изменение условий испытания с целью перевода показаний датчика в область, сдвинутую от начала шкалы, приводит к развитию неупругих и пластических деформаций в образце;
- при сравнительной оценке качества картона нужно указание условий испытания на изгиб.

Заключение

На примере типичных представителей целлюлозно-бумажных материалов, приведена количественная характеристика их вязкоупруго-вязкопластического поведения при изгибе.

По результатам проведенного эксперимента на основании анализа кривых зависимости «Нагрузка-время» дана оценка различия в деформационном поведении различных целлюлозно-бумажных материалов в условиях статического изгиба при использовании тестера, проводящего измерения по двухточечному методу.

Спасибо за внимание!



Северный (Арктический)
федеральный университет

Кафедра целлюлозно-бумажных
и лесохимических производств

тел. (+78182) 21-61-82

E-mail: j.kazakov@narfu.ru



Деформативность картона-лайнера при изгибе