

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент научно-технологической политики и образования
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Костромская государственная сельскохозяйственная академия»

**Международная научно-методическая конференция
ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЗА
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
24-25 мая 2018 года**

Информационное письмо

п. Каравасово 2018

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕСТ-ЛАЙНЕРА НА ОСНОВЕ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ

*Казаков Я.В.1, Галимзянова А.Р.1, Лавров И.В.2 Выползов Р.Ю.2
1Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия
2ООО «Сухонский КБК», г. Сокол, Россия*

Для быстрого получения информации о качестве произведенной продукции – бумаги и картона в настоящее время используются on-line системы, реализованные в сканирующей системе профилометров, в которых применяются неразрушающие методы. Эти методы в настоящее время используются для измерения массы 1 м², влажности и толщины картона или бумаги в режиме на КДМ, производящих картон-лайнер и флютинг и позволяют, при необходимости, быстро ввести корректировки в технологический процесс. Однако, проблема быстрой и достоверной оценки величины механических свойств картона до сих пор до конца не решена.

Для картона очень важны показатели механической прочности – абсолютное сопротивление продавливанию, разрушающее усилие при сжатии кольца RCT, сопротивление сжатию короткого образца SCT, жесткость при изгибе. Для определения полного набора стандартных механических характеристик картона требуется время, в течение которого необходимо выполнить отбор образцов с тамбура КДМ в виде нескольких кусков полотна или среза с тамбура, провести кондиционирование, нарезку образцов, испытания и расчеты. То есть технолог получает информацию о качестве продукции с задержкой, исключающей быстрое принятие оперативных решений по корректировке параметров технологического процесса.

Основным преимуществом неразрушающих методов является сохранение целостности материала, поскольку при их проведении не происходит разрушение образца и сохраняется возможность определения других характеристик на этом же образце. Другим важным преимуществом является скорость их выполнения и, как следствие, возможность проведения измерений в режиме on-line. Современные анализаторы способны в on-line режиме измерять неразрушающие структурные и упругие свойства – жесткость при растяжении и ее анизотропию, а также неоднородность формования, и построить тренды их изменения по ширине КДМ и во времени [1–4]. Показатели механической прочности в этом случае вычисляются с использованием математических моделей, связывающих комплекс неразрушающих характеристик с прочностными. Однако, для каждого бумаги или картона требуется проведение отдельной калибровки.

В основе подобных технологий прогнозирования лежат доказанные зависимости между упругими свойствами, степенью анизотропии и неоднородностью структуры со стандартными прочностными характеристиками бумаги и картона.

На кафедре целлюлозно-бумажных и лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета разработана методика прогнозирования величины сопротивления продавливанию, сопротивления сжатию и изгибу картона крафт-лайнера из первичного волокна на основании измерения толщины, профиля ТСО, и индекса формования [6,7]. Для прогнозирования используется комплекс неразрушающих характеристик, вся процедура занимает несколько минут и имеет несомненные преимущества.

Для установления количественных зависимостей и разработки математических мо-

делей, выполняется анализ образцов картона в виде срезов с тамбура с наката КДМ, по методике L&W, рис. 1.

Образцы представляют собой полосы картона длиной, соответствующей обрезной ширине КДМ и шириной 300 мм. Полосы картона подготовлены с помощью подрезчика L&W Sample Trimmer. Измерения свойств полосы картона неразрушающими методами производилось с шагом 100 мм, в результате получается практически непрерывный профиль картона, а количество позиций зависит от ширины КДМ. При этом важно, чтобы образцы для определения значений традиционных свойств были бы вырезаны с точно тех же позиций, что и образцы для определения значений TSO/TSI и индекса формования.

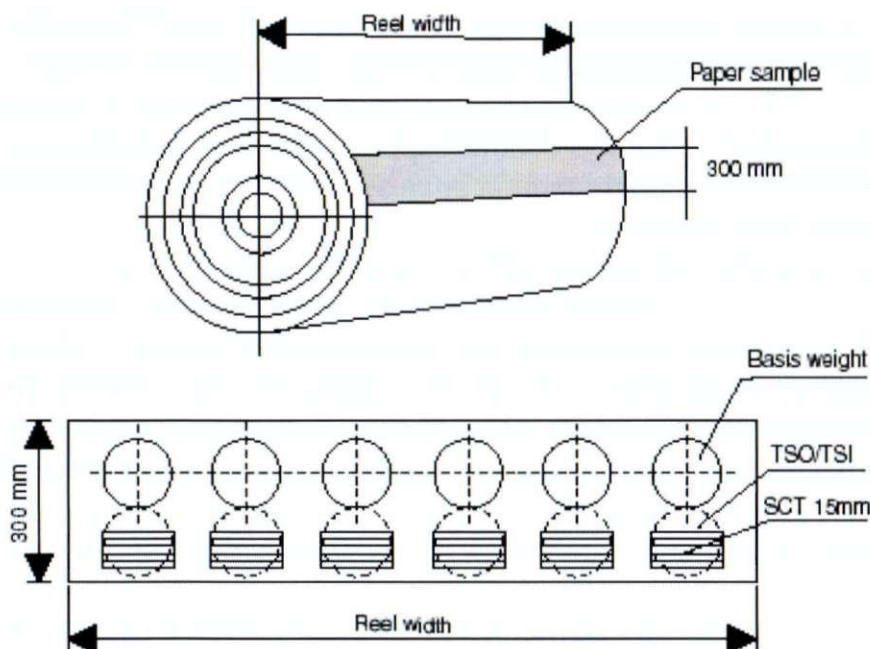


Рис. 1.
Схема отбора образца в виде поперечного среза с тамбура для проведения ультразвуковых и традиционных испытаний [4].

Для всех образцов выполняются измерения неразрушающих характеристик на целой полосе картона:

- толщина картона δ , мкм;
- анизотропия жесткости при растяжении ультразвуковым методом на приборе L&W TSO Tester [4];
- неоднородность структуры на анализаторе формования PTA-Line Formation Tester [5];
- масса 1 м², г М.

Затем из полосы картона нарезаются листы, шириной 100 мм, определяется сопротивление продавливанию (П, кПа), и из оставшегося материала стандартными методами готовятся образцы, шириной 15 мм для механических испытаний, в машинном (MD) и поперечном машинному (CD) направлении.

Испытания целлюлозно-бумажного волокнистого материала на TSO-тестере позволяют количественно оценить жесткость при растяжении, анизотропию жесткости материала и ее изменение по ширине тамбура. На TSO-тестере измерены характеристики: TSIMD – индекс жесткости в машинном направлении; TSICD – индекс жесткости в поперечном направлении; TSIMD/CD – соотношение индексов жесткости в машинном и поперечном направлении; TSO-angle – угол TSO.

Для количественной характеристики неоднородности структуры картона в нашем эксперименте использован PTA-Line Formation Tester [5], на котором получены цифровые

изображения участка картона, размером 12×12 см в поляризованном проходящем свете, и методами частотного Фурье-анализа рассчитаны характеристики: индекс формирования I_f , характеризующий сумму интенсивности колебаний неоднородности яркости пикселей, средний размер флокул в направлении осей Ox и Oy L_{cp} , мм, характеристики неоднородностей с размерами 1, 2, 3, 6, 10 и 16 мм.

Для анализа профилей характеристик картона и прогнозирования его механических свойств, была разработана компьютерная программа [7], которая позволяет по результатам измерений комплекса неразрушающих характеристик выполнить следующие процедуры обработки данных:

- организовать хранение данных по результатам неразрушающих и разрушающих испытаний образцов по ширине КДМ;
- выбрать независимые и зависимые характеристики для статистического анализа;
- выполнить корреляционный анализ и построить корреляционные поля для произвольно выбранных свойств с целью отбора влияющих характеристик;
- по выбранным характеристикам: рассчитать коэффициенты уравнений регрессии и рассчитать прогнозные значения механических характеристик;
- построить профили неразрушающих и механических (экспериментальных и прогнозных) характеристик картона [6].

Подробная методика и результаты ее применения на образцах крафтлайнера из первичного волокна приведены в работах [6–9]. В большинстве случаев погрешность прогнозирования характеристик крафтлайнера составляет величину 1,5...4,5 %, что говорит об адекватности разработанных моделей и технологии прогнозирования. При этом наилучшие результаты достигнуты при прогнозировании профилей сопротивления сжатию на коротком расстоянии SCT и жесткости при изгибе S_b в направлении CD.

Целью данной работы является проверка применимости технологии прогнозирования, разработанной для картона из первичного волокна, для оценки свойств картона для плоских слоев гофрированного картона тестлайнер из макулатуры.

Эксперимент проведен на картоне тестлайнер, массой 115 г/м² производства ООО «Сухонский КБК». Картон изготавливается двухслойный, в качестве сырья применяется макулатура марки МС-5б.

Проанализированы 10 полос картона длиной 3200 мм, длина полосы соответствует ширине КДМ. Измерения производилось с шагом 100 мм, в результате получается практически непрерывный профиль по 31 позиции. Всего выполнено 310 измерений. На данном этапе работы апробацию методики провели на примере сопротивления продавливанию.

На рис. 2 приведен пример профилей по ширине КДМ индекса жесткости при растяжении в поперечном направлении, результаты по каждому образцу и средний профиль. Каждая из полос картона имеет свой профиль и величину характеристик, а средний профиль дает общую оценку изменения свойства по ширине. В данном случае – это типичный профиль TSICD, с понижением жесткости по краям машины.

Сравнительная оценка изменения различных характеристик в относительных величинах для одного из образцов представлена на рис.3. На профилях четко прослеживаются существенные отличия в величинах характеристик в соседних точках из-за неоднородности структуры, и зависимость от положения по ширине КДМ.

На рис.4 представлены средние по 10 образцам профили различных свойств, по сравнению с профилями для одного образца, они более гладкие, но также демонстрируют зависимость величин свойств от положения на ширине машины и колебания в соседних точках.

Соответственно, коэффициенты моделей и результаты прогнозирования будут несколько различаться, в зависимости от того, частные или усредненные данные будут использованы для проведения расчетов.

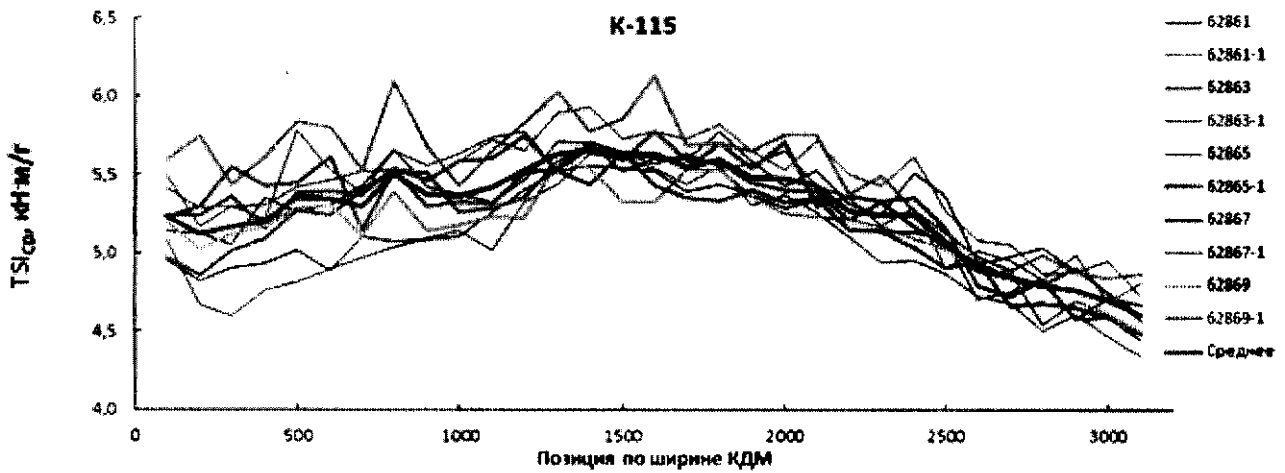


Рис.2. Профили по ширине КДМ индекса жесткости при растяжении в поперечном направлении: результаты по каждому образцу и средний профиль.

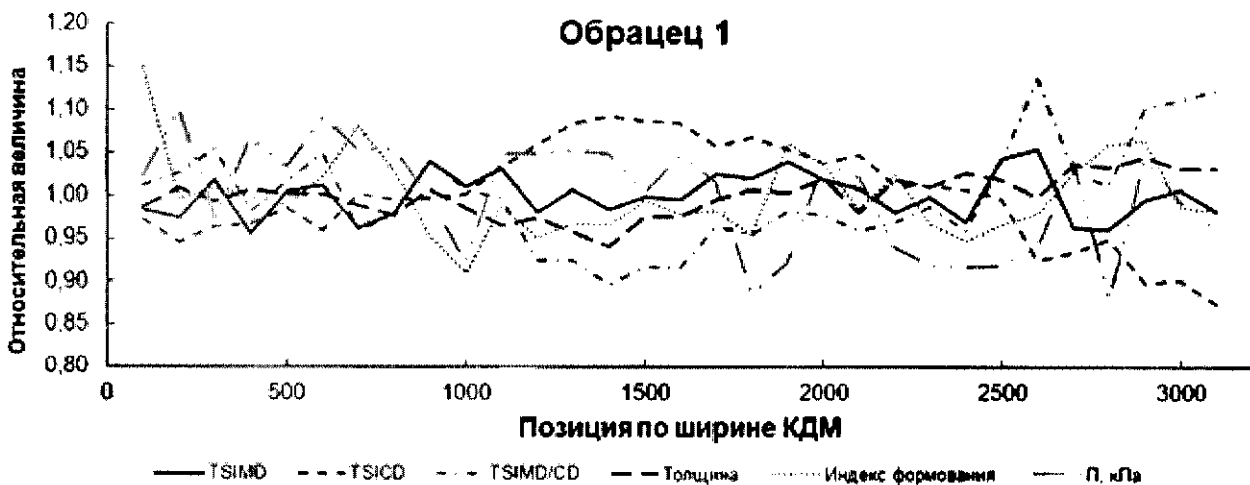


Рис.3. Профили неразрушающих характеристик и сопротивления продавливанию по ширине КДМ для одного образца тестлайнера.

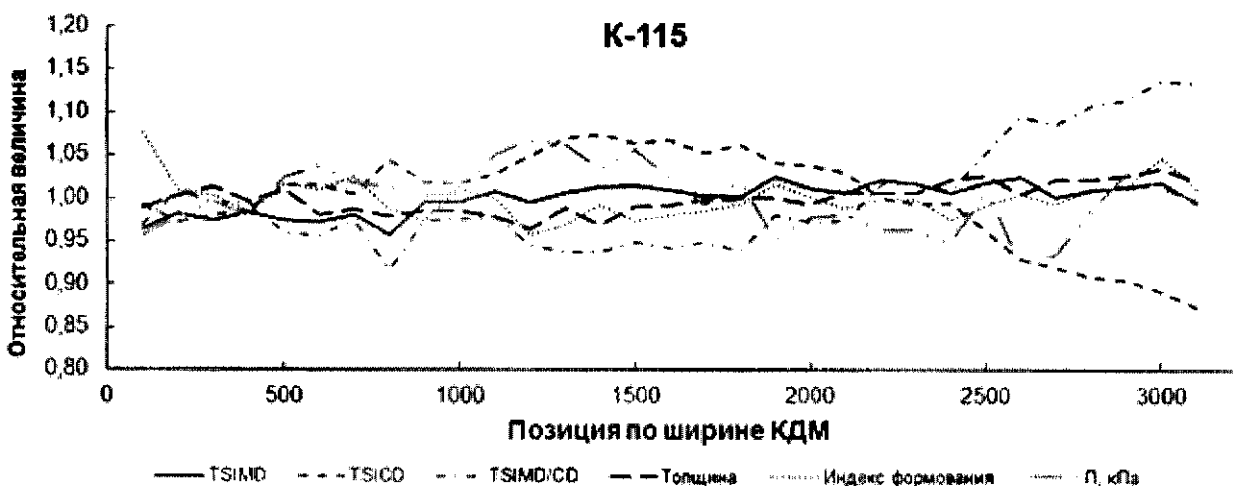


Рис.4. Средние по 10 образцам профили характеристик по ширине КДМ.

В этих целях расчеты проведены для двух выборок данных: 1 – по данным для одной полосы картона, как представитель частного случая; 2 – по средним значениям по 10 образцам, в этом случае учитываются статистические закономерности и дается характеристика данного картона как материала. В качестве входных параметров использованы 9 неразрушающих характеристик, включая толщину, массу 1 м², 4 характеристики с TSO-тестера и 3 с анализатора формования.

Оценка качества моделей проводится по их статистическим характеристикам – коэффициентам множественной корреляции между экспериментальными и расчетными данными r и средней относительной погрешности δ , %.

На рис. 5 представлена корреляция экспериментальных и расчетных значений при прогнозировании сопротивления продавливанию тест-лайнера. Коэффициент множественной корреляции составил 0,75 и 0,82, а средняя относительная погрешность прогнозирования – 3,3 и 1,7 %, соответственно, для вариантов 1 и 2.

Низкая погрешность прогнозирования составляет и высокие коэффициенты корреляции свидетельствуют об адекватности разработанных моделей и технологии прогнозирования.

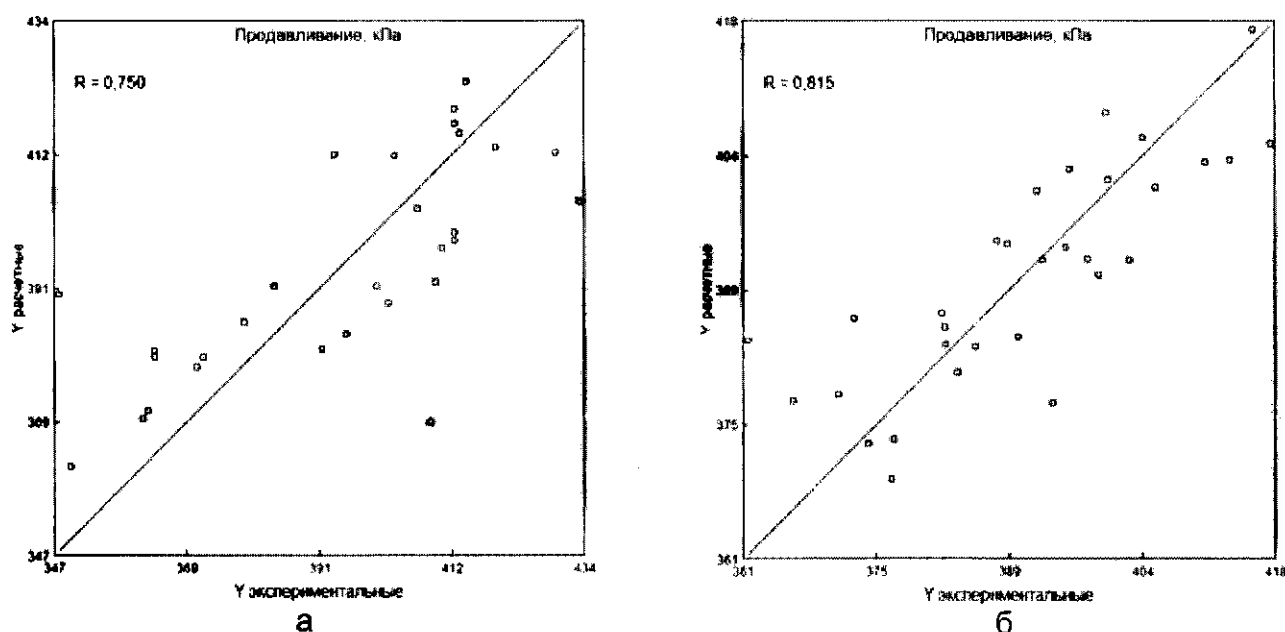
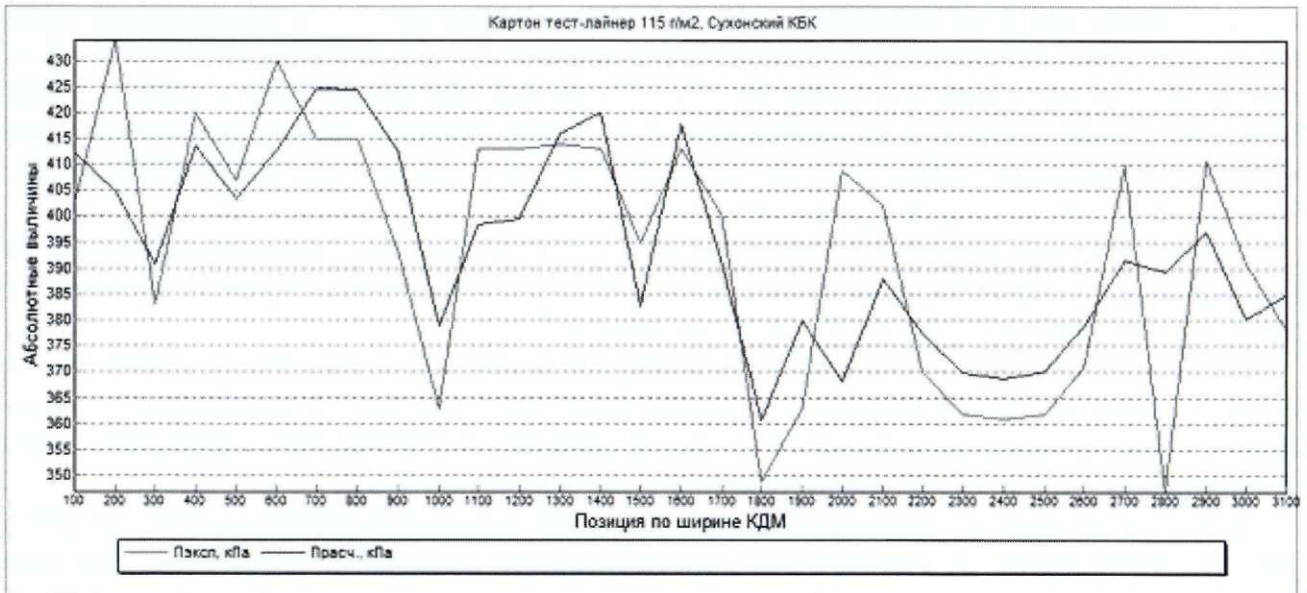


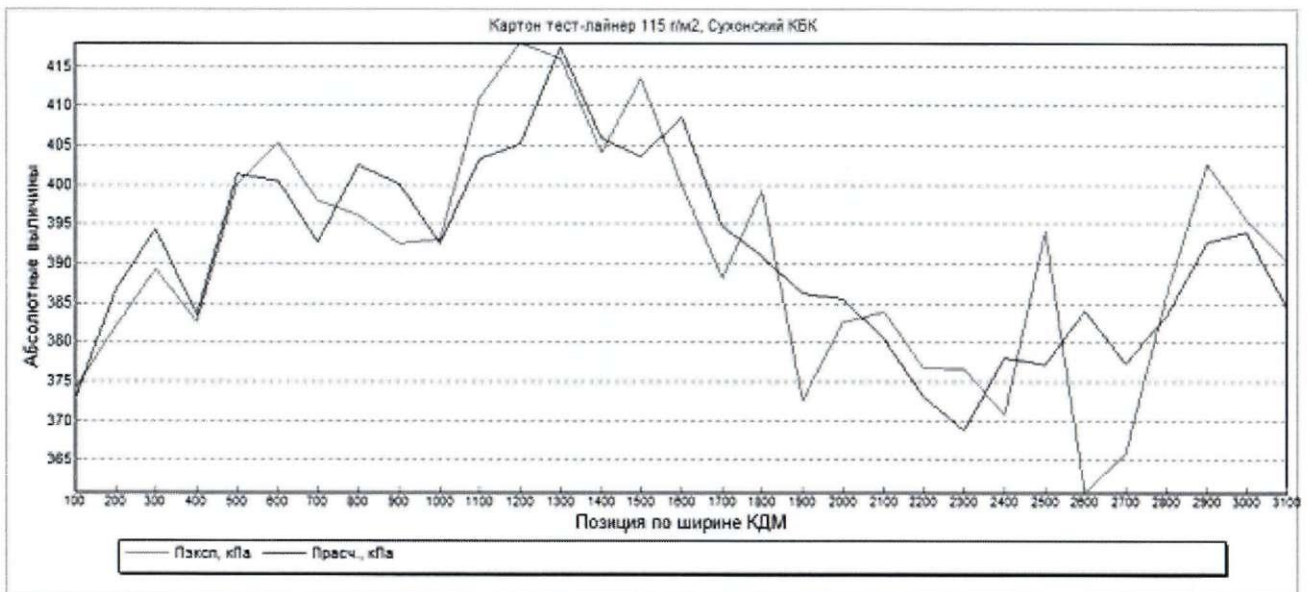
Рис. 5. Корреляция экспериментальных и расчетных значений при прогнозировании сопротивления продавливанию тест-лайнера для 9 влияющих факторов:
а – для одного образца картона; б – по средним значениям.

Лучшие результаты для выборки из средних значений связаны с меньшей вариацией входных и выходных параметров за счет усреднения локальных вариаций свойств, связанных с неоднородностью структуры.

На рис.6, в качестве примера, представлены экспериментальные и расчетные профили сопротивления продавливанию тестлайнера, подтверждающие работоспособность метода прогнозирования его механических свойств.



а



б

Рис.6. Экспериментальный и расчетный профиль сопротивления продавливанию тестлайнера: а – для данных по одному образцу ($r=0,75$; $\square = 3,3\%$); б – по данным для средних значений по 10 образцам ($r=0,82$; $\square = 1,7\%$).

Таким образом, представленная технология и программное обеспечение, для прогнозирования профилей механических характеристик картона по результатам неразрушающего контроля, разработанная первоначально для крафтлайнера из первичного волокна, показали свою работоспособность для макулатурного картона на примере сопротивления продавливанию. Статистические характеристики моделей оказались лучше, чем для крафтлайнера, средняя относительная погрешность прогнозирования составила величину от 1,7 до 4,3 %, что связано с более низкой, по сравнению с крафтлайнером, вариации свойств тестлайнера из макулатуры.

Работа выполнена на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России

Список литературы

1. Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Комаров В.И. Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки. Архангельск: изд-во АГТУ, 2005. 252 с.
2. Гурьев А.В., Комаров В.И., Белоглазов В.И. Опыт использования TSO-тестера для коррекции технологического режима КДМ / В сб. «Технология переработки макулатуры» матер. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево – Правдинский, 2005. С. 136–138.
3. Линдبلاد Г., Юха Ю.С. Настройка БДМ для оптимизации прочностных свойств картона для плоских слоев гофрированного картона и бумаги для гофрирования с помощью анализа на TSO тестере // В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов» Матер. I Междун. научн.-техн. конфер. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, 2011. С. 78–87.
4. Lindblad, G. Fürst T. The ultrasonic measuring technology on paper and board. Lorentzen&Wettre, Elanders Tofters AB, 2001. 100 p.
5. Lab formation Sensor 2D FSensor [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (дата обращения: 18.05.2015)
6. Беляев О.С., Казаков Я.В. Использование неразрушающих методов контроля качества крафт-лайнера // Лесной журн., (Изв. высш. учеб. заведений). 2016. №3. С.157–170.
7. Свид. № 2016614009 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для прогнозирования качества крафт-лайнера по результатам неразрушающего контроля (Kraft-Liner) / Я.В.Казаков, О.С.Беляев: заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО САФУ (RU). – № 20166111457; заявл. 24.02.2016; опубл. 12.04.2016, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
8. Казаков Я.В., Беляев О.С., Филиппов И.Б. К вопросу о прогнозировании механических свойств крафт-лайнера по результатам неразрушающего контроля // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2016 №1. С.68–73.
9. Казаков Я.В., Беляев О.С. Контроль механических характеристик картона-лайнера неразрушающими методами // В сб. «Год экологии в России и на предприятиях ЦБП. Качество макулатурного сырья. Производство бумаги и картона для гофротары и упаковки»: матер. и докл. 18-й Междун. научн.-техн. конфер. Караваево, 25-26 мая 2017 г. М.: ООО «Вива Стар», 2017. С.51–57.