

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЖЕСТКОСТИ ГОФРОУПАКОВКИ

Д.А. Дулькин, Д.Н. Жирнов, Е.В. Дернова
ООО «УК «ОБФ», Россия

Данная статья посвящена применению замкнутого цикла анализа к прогнозированию жесткости гофроупаковки. Современные системы сбора и обработки информации позволяют превратить вертикально интегрированную производственную площадку в настоящий инструмент анализа и прогнозирования.

THE APPLICATION OF MODERN METHODS OF ANALYSIS TO PREDICT THE ECT OF CORRUGATED BOARD

D.A. Dulkin, D.N. Zhirnov, E.V. Dernova
LLC "MC "CPM", Russia

This article is devoted to the application of closed-loop analysis to the prediction of ECT of corrugated board. Modern data collection and processing systems make it possible to turn a vertically integrated production companies into a real tool for analysis and forecasting.

Прогнозирование уровня жесткости гофроящика имеет первостепенный смысл для производителя, что позволяет не только оптимизировать затраты, но и быть уверенным в качестве конечной упаковки.

Для производителя гофротары, в частности, важно, чтобы себестоимость упаковки была минимальной, поэтому тренд на снижение массоёмкости тары набирает повышенные обороты. Но снизить массу 1 м² гофрокартона невозможно без предварительных расчетов уровня жесткости производимого гофроящика [1-3].

Для этой цели были экспериментально выведены зависимости между геометрическими параметрами ящика, уровнем нагрузки, жесткостью исходной гофроупаковки, а также ее отдельных компонентов [2-3]. Данные зависимости характеризуются коэффициентами, которые могут быть подобраны только экспериментальным путем. Для проведения подобного анализа производителю необходимо иметь собственную сертифицированную испытательную лабораторию. Кроме того, производителю упаковки необходим фактический уровень качества продукции, поставляемой в качестве исходного сырья.

Все это накладывает существенные ограничения для производителей гофропродукции со средней производственной мощностью, тем самым снижая их конкурентоспособность. Между производителями тарного картона и гофроупаковки существует огромная разница в учете полуфабрикатов: бумагу для гофрирования и картон для плоских слоев продают в тоннах, а гофрокартон в квадратных метрах. Поэтому, при аналогичной стоимости 1 тонны, гофрокартон из низкограммального сырья будет стоить дешевле.

Технологическое сотрудничество производителей сырья и гофроупаковки позволяет качественно и количественно улучшать упаковочные решения. Производители сырья знают уровень качества и статистические характеристики выпускаемой продукции. Производители гофрокартона получают фактический уровень его жесткости, что позволяет вплотную подойти к возможности уточнения экспериментальных коэффициентов.

Приоритетом нашей компании является научная деятельность и, в частности, прикладные исследования, направленные на решение конкретных производственных задач. Поэтому наши лаборатории оснащены комплексом испытательного оборудования, позволяющего контролировать качество на всех этапах производственной цепочки: тарный картон – гофрокартон – тара. Например, кроме стандартного аппаратного обеспечения для тестирования тарного картона (прочность при растяжении, сопротивление сжатию в малом диапазоне, поверхностная впитываемость, абсолютное сопротивление продавливанию, сопротивление плоскостному сжатию и т.д.) также имеется возможность определения воздухопроницаемости и шероховатости по Бендтсену, измерение ультразвуковых свойств бумажного полотна и сопротивление изгибу бумаги. Аналогичная расширенная приборная база для тестирования гофрокартона включает дополнительное оборудование для определения BCT и сопротивления 4-х точечному изгибу.

Испытания проводятся в стандартизированных условиях, что гарантирует повторяемость и сходимость результатов измерений.

Для прогнозирования жесткости гофроящика широко используется формула $McKee$ (1):

$$ECT = k \cdot (SCTl_1 + SCTf \cdot K_r + SCTl_2) + b, \text{ кН/м} \quad (1)$$

где $SCTl_1$, $SCTf$, $SCTl_2$ – SCT лайнера 1, флютинга и лайнера 2 соответственно, кН/м;

K_r – коэффициент гофрирования;

k и b – экспериментальные коэффициенты.

Формула относительно простая, но возникает ряд вопросов:

– какой уровень SCT использовать для расчета – минимальный или средний?

– каким образом учесть колебания SCT по ширине бумажного полотна?

– что делать, если фактическое значение сильно отличается от прогноза?

Компания ОБФ разработала аналитическую систему, которая позволяет уточнить коэффициенты формулы *McKee* исходя из фактического уровня качества компонентов гофрокартона и жесткости гофроящика. Все это стало возможным благодаря последовательному подходу к замкнутому циклу анализа – от показателей качества тарного картона до физико-механических характеристик гофрокартона, произведенного из данных компонентов.

Замкнутый цикл анализа предполагает существование аналитического хранилища данных. Для построения хранилища используется методология *DataVault*. Первичная информация выгружается автоматизированными средствами из 1С УПП. Далее информация обрабатывается и загружается непосредственно в аналитическое хранилище данных.

Обработка данных разделена на потоки и, в зависимости от сложности задачи, используются различные функции как языка *SQL*, так и классического языка программирования *Python*.

Использование языка программирования *Python* позволяет существенно расширить возможности обработки данных и применять для прогнозирования не только метод линейной регрессии, но и более сложные методы, например, машинное обучение [4].

Данное хранилище обеспечивает анализ всем необходимым:

– значения показателя SCT и его коэффициента вариации в каждом рулоне;

– масса 1 м^2 , влажность, ECT , марка и профиль гофрокартона, выработанного из данных рулонов.

Для обеспечения точности прогнозирования необходима статистическая обработка входных данных и большая база для анализа. Определение и удаление «промахов», расчет стандартных отклонений и доверительного интервала должны производиться быстро и корректно, т.е. с учетом степеней свободы, t -критерия Стьюдента и p -уровня значимости.

Для расчета формулы ECT используется набор данных, прошедший все стадии очистки. Объем выборки – более 800 примеров, историчность – более 2 лет. Средняя ошибка предсказания ECT – не более 5 %.

Например, при моделировании поведения ECT из сырья с различным уровнем коэффициента вариации SCT , размах показателя может превышать пределы марки, особенно это критично, если производитель дополнительно проводит деление стандартных марок, например, Т-231, Т-232 и т.д. (рис.1).

Для удобства использования результатов расчета нами применяются две системы анализа: экспресс-аналитика и глубокая аналитика.

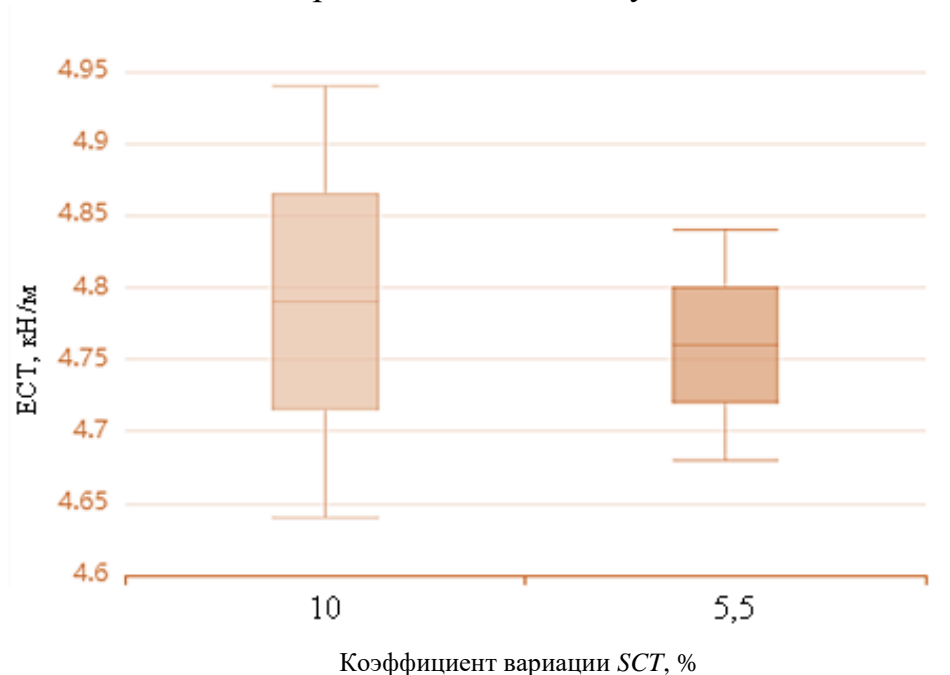


Рис. 1. Размах показателя ECT при различных коэффициентах вариации SCT

Система экспресс-аналитики [5] позволяет оперативно и точно получить информацию об уровне показателей качества за любой период времени и провести дополнительный анализ (сравнение периодов, учет уровня простоев и др.). Данная система позволяет технологическому персоналу оперативно получать информацию о технологическом процессе и качестве готовой продукции, например, со смартфона.

Для использования формулы ECT с целью прогнозирования жесткости продукции используется инструмент более глубокой аналитики – *Apache Superset* [6], который позволяет пользователю осуществлять следующие функции:

- видеть результаты расчета;
- изменять коэффициенты уравнения;
- накладывать ограничения на результаты расчета;
- дополнять расчет экономической частью (стоимость сырья).

Следующим шагом стало прогнозирование композиций гофрокартона, которое позволяет заменить используемое типичное по уровню качества сырье более технологически совершенным [1]. Симбиоз статистических законов, реляционной алгебры и современных вычислительных мощностей, позволил получить список наиболее оптимальных композиций в считанные секунды – быстро, точно и экономически целесообразно.

Применение современных методов анализа позволяет получить информацию не только о среднем уровне ECT , но и рассчитать предполагаемый размах показателя. Данный факт позволяет учитывать точное соответствие требованиям марки или заданному диапазону значений ECT внутри марки.

Для экономического обоснования производится расчет стоимости 1 м^2 гофрокартона и фактический прирост маржинального дохода.

Весь этот комплекс доступен не только нам, но и нашим клиентам. Уточненные коэффициенты формулы *McKee* не являются догмой и могут изменяться для разных гофроагрегатов. Поэтому, в рамках технологического сотрудничества, мы готовы совместными силами уточнить их для конкретного клиента и учесть это в наших расчетах.

Список литературы

1. Дернова Е.В., Дулькин Д.А. Технологичность как условие эффективной переработки тарного картона на высокоскоростных гофроагрегатах // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. 2017. С. 54–59.
2. Смолин А.С. Современные тенденции развития технологии гофрокартона // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. 2019. С. 39–46.
3. Дернова Е.В., Гораздова В.В., Дулькин Д.А., Лавров И.В. Анализ свойств и установление взаимосвязей характеристик качества картона-лайнера и

флютинга с жесткостью гофрированного картона // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. 2021. С. 290–296.

4. Жирнов Д.Н., Дернова Е.В., Дулькин Д.А. Прогнозирование качества тарного картона с использованием методов машинного обучения. // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. 2019. С. 263–267.

5. Жирнов Д.Н., Дернова Е.В., Дулькин Д.А. Разработка системы аналитики качества готовой продукции // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. 2021. С. 244–249.

6. Apache Superset [Электронный ресурс]. URL <https://superset.apache.org/> (дата обращения 15.07.23).