

УДК 655.3.022.75

С. К. Грудо, А. Н. Кудряшова

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УПАКОВКИ

В статье представлены результаты исследования фрактальной структуры пленочных материалов, используемых для производства упаковочной продукции. Исследование проводилось с целью последующего выявления зависимости влияния процесса печати на микроструктуру поверхности гибкой упаковки.

Было рассмотрено значение имитационного моделирования для процессов, направленных на определение характера изменения фрактальной структуры поверхности, и выявлено, что его результаты позволяют расширить возможность обработки данных экспериментальных исследований фрактальных свойств реальных полиграфических материалов.

С использованием теории фракталов проанализирована структура пленочных материалов на основе полиэтилена, их свойства и характеристики для возможности использования в упаковочном производстве. Описан процесс получения необходимых для анализа данных: получение микропрофилей образцов, оцифровка профилограмм для получения расчетных значений показателя фрактальной размерности. Приведенное описание характеристик и микрогеометрии поверхности исследуемых в работе образцов позволит смоделировать в дальнейшем наиболее благоприятные условия для взаимодействия упаковочного материала и печатной краски.

Проведение экспериментов осуществлялось на базе лаборатории кафедры полиграфических производств Белорусского государственного технологического университета с образцами, полученными на РУП «Бобруйская укрупненная типография им А. Т. Непогодина».

Ключевые слова: контроль качества, гибкая упаковка, полиэтиленовые пакеты, фрактальная структура, микропрофиль, профилограмма.

S. K. Grudo, A. N. Kudryashova

Belarusian State Technological University

RESEARCH OF NATURE OF CHANGE OF FRACTAL STRUCTURES OF FILM MATERIALS

Results of a research of fractal structure of the film materials used for production of packing products are presented in article. The research was conducted with the aim of subsequent identification of dependence of impact of process of the press on a microstructure of a surface of elastic packing.

The value of the change in the structure of the fractal structure was determined, and it was revealed that its results make it possible to expand the possibility of processing the data of experimental studies of the fractal properties of real polygraphic materials.

Using fractal theory analyzed structure film material based on polyethylene, their properties and characteristics for possible use in the packaging industry. Process of receiving necessary for data analysis is described: obtaining microprofiles of samples, digitization of profilograms to obtain the estimated values of the fractal dimension. The provided description of characteristics and microgeometry of a surface of the samples investigated in work will allow to simulate further optimum conditions for interaction of a packing material and printing paint.

Carrying out experiments was carried out on the basis of laboratory of department of printing productions of the Belarusian state technological university with the samples received on RUP “The Babruysk integrated printing house by it A.T. Nepogodina”.

Key words: quality control, elastic packing, plastic bags, fractal structure, microprofile, profilogram.

Введение. В настоящее время полиграфическая промышленность является высокотехнологической отраслью, которая активно развивается. Во многом это происходит благодаря расширению упаковочного производства. С развитием экономики Республики Беларусь увеличивается производство и ассортимент различ-

ного рода продукции, большая часть которой нуждается в таре и упаковке. В связи с этим большинство белорусских типографий переориентируют свое производство на изготовление упаковочной продукции, в том числе и гибкой, что дает рост предложений в данной сфере услуг.

В результате образования конкуренции основным критерием выбора производимой упаковочной продукции является ее высокое качество. Необходимость выделить свою продукцию среди множества предложений обязывает предприятие производить оценку качества на всех этапах производственного процесса [1].

Все материалы, которые используются для изготовления упаковки, различаются по качеству и печатным свойствам [2]. Поэтому важно иметь структурный параметр, позволяющий описывать их различия. Для этого можно использовать теорию фракталов.

На начальном этапе необходимо выполнить ряд измерений. Это обусловлено тем, что математическое описание технологических процессов полиграфического производства не является замкнутым. Для выполнения расчетов необходимо иметь параметры, характеризующие среду.

Целью данной работы является определение и исследование микроструктуры поверхности пленочного материала путем применения особого анализатора (микроскопа) с использованием теории фракталов для изучения новых структурно-механических характеристик гибкой упаковки и последующего моделирования условий взаимодействия этого материала в печатном процессе.

Основная часть. Сегодня гибкие пленочные материалы используются для упаковки практически любых видов продукции, включая замороженные продукты, кондитерские изделия, чай, молочные продукты и т. д. Такая упаковка универсальна, экономична, удобна и имеет привлекательный вид. Основными преимуществами гибкой упаковки перед традиционными материалами являются ее относительно небольшой вес и безопасность, она не требует больших складских площадей, а ее использование существенно снижает расходы на транспортировку. Особые достоинства имеет гибкая упаковка, изготовленная из многослойных пленок. Комбинирование различных слоев в многослойных пленках позволяет придать им необходимые дополнительные свойства: нужный уровень барьерности, стойкость к разрыву, жесткость.

Производство полиэтиленовых (ПЭ) пакетов начало осуществляться в середине 50-х гг. прошлого века. Их основным назначением была лишь фасовка хлеба и фруктов. В начале 2000 г. мировой «тираж» пакетной продукции достиг величины более чем в 4,5 трлн шт. в год [3].

Полиэтиленовые пакеты выгодно отличаются от упаковки из других материалов по многим параметрам.

Полиэтилен – это самый дешевый упаковочный материал. Производство пакетов из других веществ и материалов обходится намного дороже. Бумажные пакеты, которые наиболее экологичны, неудобны для упаковки влажной и жирной продукции и менее прочны. Целлофан – продукт переработки целлюлозы – при появлении небольшого надрыва разрывается дальше практически мгновенно. Полипропилен выдерживает более высокие температуры, но менее стоек к проколу и солнечному свету. В случаях упаковки продукции с острыми углами он значительно проигрывает пакету из полиэтилена.

Полиэтиленовые (или пластиковые) пакеты создаются из тонкого полимерного материала, синтезированного из газообразного углеводорода этилена. В зависимости от условий протекания реакции полимеризации полиэтилен для изготовления пакетов может быть разным [4].

Для упаковки многих пищевых продуктов применяют трех- и пятислойные пленки с наличием в структуре материала черного слоя. Толщина таких пленок составляет 70–90 мкм. Каждый из слоев имеет свое назначение и содержит специальные добавки.

Черный слой создает барьер от проникновения света и значительно продлевает срок хранения пищевой продукции. В зависимости от выбранной технологии этот слой может быть внутренним или контактирующим с продуктом.

Белый внешний слой предназначен для яркой полноцветной печати с использованием самых современных полиграфических технологий. В этот же слой вводится специальная добавка, которая повышает «скользкость» пленки, что важно для работы на современном упаковочном оборудовании. Если внутренний слой – черный, то слой, контактирующий с продукцией, является прозрачным и выполняется из чистого, химически нейтрального полиэтилена.

Так, в упаковке из однослойной пленки пастеризованное молоко хранится 36 ч, в упаковке из черно-белой пленки – от 72 до 120 ч.

Пятислойная пленка – прорыв среди производителей молочных пленок. Данная пленка сочетает в себе все возможные достоинства трехслойной пленки. Главным преимуществом же является наличие противокислородного свойства, что обеспечивает увеличение срока хранения стерилизованных продуктов.

Вышеприведенный вид пленок – один из основных упаковочных материалов, используемый белорусскими предприятиями для производства молока и молочных продуктов, которые занимают одну из основных ниш продовольственных товаров. Это обуславливает выбор объекта исследования данной статьи.

Математические основы теории фракталов были заложены в самом начале XX в., однако только после опубликования монографии «Фрактальная геометрия природы» автора Бенуа Мандельброта началось бурное развитие как самой теории, так и ее приложений. Фракталы являются сравнительно новым объектом исследования в механике материалов.

Строгого и полного определения фракталов пока не существует, однако это не является препятствием для развития теории. В настоящее время она интенсивно развивается благодаря наличию интуитивных определений, а также определений, имеющих достаточный уровень математической строгости [5].

Объемы печати на полимерных пленках непрерывно растут, в первую очередь благодаря бурному развитию упаковочной индустрии, а также высокому спросу на потребительские товары в красочной полимерной упаковке. Важное условие грамотного внедрения теории фракталов – точное определение условий их применения в полиграфических процессах.

В отличие от бумаги, являющейся традиционным запечатываемым материалом, физико-механические и поверхностные свойства полимерных пленок оказывают на процесс и качество печати гораздо большее влияние. Особенно это касается прохождения пленки по лентопротяжному тракту полиграфического печатного оборудования.

В основе процесса нанесения печати на молочную пленку лежит флексопечать. Для нанесения изображения на пленку используются специальные формы из высокоэластичных фотополимеров и быстросохнущие печатные краски на водной или спиртовой основе [6]. Основными преимуществами флексопечати являются высокое качество оттисков и экологичность производства. Помимо эстетического внешнего вида, молочная пленка с рисунком считается прекрасным носителем рекламы и информации о продукте и его производителе.

В работах прикладного характера параметры среды определяются, как правило, в результате прямых измерений объекта исследования. В качестве такой измерительной процедуры авторами данной работы предложено экспериментальное измерение микропрофилей чистой и запечатанной пленок для определения их поверхностных свойств.

В настоящее время существует достаточное количество установленных фрактальных объектов. С типологической точки зрения фракталы полезно разделить на три типа: природные – встречающиеся в естественных условиях; искусственные – созданные целенаправленно в различных дисперсных системах, например, в

коллоидных; модельные – построенные в результате моделирования на ЭВМ.

В конкретном случае будут использованы искусственные фрактальные объекты.

Имитационное моделирование процессов агрегации заключается в том, что его результаты позволяют расширить возможности обработки данных экспериментальных исследований фрактальных свойств реальных материалов. В результате экспериментальным путем фрактальной размерности структур материалов появляется возможность построить определенные гипотезы и предположения относительно процессов и технологий создания этих материалов [7].

Для реализации поставленной цели был выполнен эксперимент, проведенный на базе лаборатории кафедры полиграфических производств с полученными образцами пленки на предприятии РУП «Бобруйская укрупненная типография им А. Т. Непогодина».

Первым этапом эксперимента было получение образцов трех видов: незапечатанная пленка, запечатанная пленка для молока 1,5% и запечатанная пленка для молока 2,5%.

Следующим этапом исследования было получение пяти микропрофилей для каждого из образцов с помощью микроскопа Levenhuk 320. Далее их оцифровка с помощью мультимедийных приложений: метод трассировки в программе Adobe Illustrator, корректирование изображений в программе Adobe Photoshop.

Третий этап – построение графиков профилеграмм в программе Microsoft Excel по полученным данным в программе GetData Graph Digitizer.

Четвертый этап исследования включает в себя обработку полученных данных, расчет основных параметров фрактальной размерности и изучение влияния фрактальной поверхности полимерного материала на качество выполнения печати.

На рис. 1–2 представлены микропрофили образцов, полученные в ходе исследования запечатанной пленки 1 для молока 1,5% и запечатанной пленки 1 для молока 2,5%



Рис. 1. Микропрофиль образца запечатанной пленки 1 для молока 1,5%

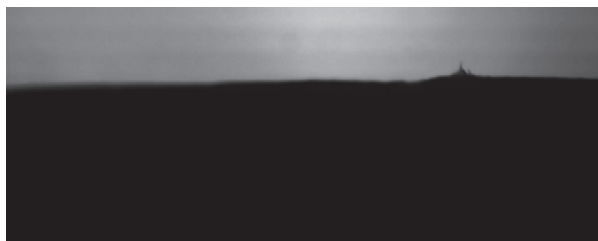


Рис. 2. Микропрофиль образца запечатанной пленки 1 для молока 2,5%

Микропрофили образцов запечатанной пленки 1 для молока 1,5% и запечатанной пленки 1 для молока 2,5%, полученные после обработки в программе Adobe Photoshop, представлены на рис. 3–4.



Рис. 3. Микропрофиль образца запечатанной пленки 1 для молока 1,5% после обработки



Рис. 4. Микропрофиль образца запечатанной пленки 1 для молока 2,5% после обработки

На рис. 5 представлен микропрофиль образца запечатанной пленки 1 для молока 1,5%, обработанный при помощи программы GetData Graph Digitizer. При его обработке получены данные, используемые для построения профилограммы.

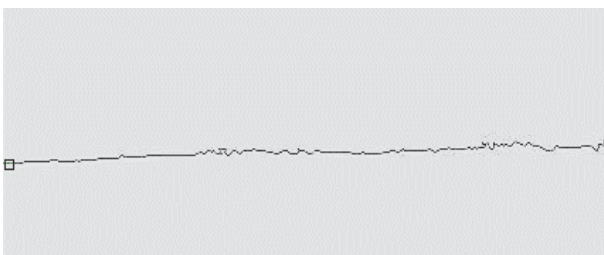


Рис. 5. Микропрофиль образца запечатанной пленки 1 для молока 1,5% после обработки в программе GetData Graph Digitizer

Профилограммы для незапечатанной пленки 1, запечатанной пленки 1 для молока 1,5%, запечатанной пленки 1 для молока 2,5% представлены на рис. 4–6 соответственно.

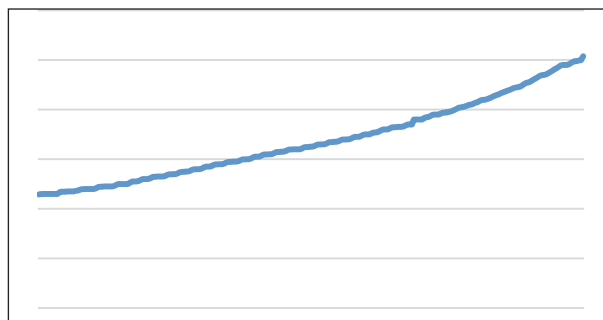


Рис. 6. Профилограмма для образца незапечатанной пленки 1

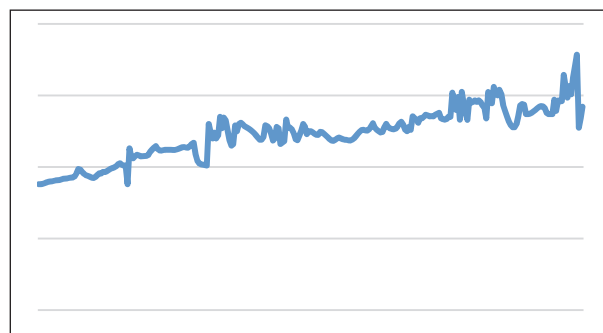


Рис. 7. Профилограмма для образца запечатанной пленки 1 для молока 1,5%

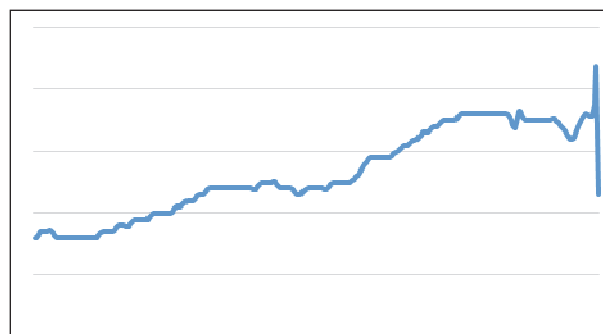


Рис. 8. Профилограмма для образца запечатанной пленки 1 для молока 2,5%

Процедура оцифровывания осуществлялась следующим образом: участок профилограммы длиной R измеряли в единицах масштаба r_0 по прямой и по профилю, последовательно увеличивая масштаб r_0 . В результате получали табличную зависимость количества шагов по профилю N от количества шагов по прямой R/r_0 .

Расчетные значения показателя фрактальной размерности микропрофиля и структуры исследуемых образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1
Фрактальная размерность поверхности образца

Образец	Среднее значение $D_{пр}$ (фрактальная размерность микропрофиля)	D (фрактальная размерность структуры)
Незапечатанная пленка 1	1,0189	2,0189
Незапечатанная пленка 2	1,0122	2,0122
Незапечатанная пленка 3	1,0088	2,0088
Незапечатанная пленка 4	1,0058	2,0058
Незапечатанная пленка 5	1,0004	2,0004
Запечатанная пленка 1 для молока 1,5%	1,1278	2,1278
Запечатанная пленка 2 для молока 1,5%	1,1804	2,1804
Запечатанная пленка 3 для молока 1,5%	1,0673	2,0673
Запечатанная пленка 4 для молока 1,5%	1,0683	2,0683
Запечатанная пленка 5 для молока 1,5%	1,1569	2,1569
Запечатанная пленка 1 для молока 2,5%	1,0299	2,0299
Запечатанная пленка 2 для молока 2,5%	1,0234	2,0234
Запечатанная пленка 3 для молока 2,5%	1,0086	2,0086
Запечатанная пленка 4 для молока 2,5%	1,0017	2,0017
Запечатанная пленка 5 для молока 2,5%	1,0024	2,0024

Формула, с помощью которой определяется фрактальная размерность [8]:

$$N = \left(\frac{R}{r_0} \right)^{D_{пр}}, \quad (1)$$

где N – количество шагов по профилограмме; R – длина базовой линии; r_0 – масштаб или шаг; $D_{пр}$ – показатель фрактальной размерности микропрофиля.

Фрактальная размерность структуры образца определяется выражением

$$D = D_{пр} + 1. \quad (2)$$

В результате вышеприведенных расчетов были получены зависимость количества шагов по профилю от количества шагов по прямой и значения показателя фрактальной размерности для каждого образца, а также вычислены средние значения $D_{пр}$.

Для удобства сравнения и анализа результатов полученные данные для экспериментальных образцов усреднили (табл. 2).

Таблица 2
Усредненное значение фрактальной размерности структуры экспериментальных образцов

Образец	Усредненное значение D (фрактальная размерность структуры)
Незапечатанная пленка полиэтиленовая	2,0092
Запечатанная пленка полиэтиленовая для молока 1,5%	2,1201
Запечатанная пленка полиэтиленовая для молока 2,5%	2,0132

Заключение. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что при запечатывании упаковочного материала фрактальная структура увеличивается.

Также было выявлено, что существует зависимость влияния процесса печати на микроструктуру поверхности, что позволяет использовать теорию фракталов для изучения структурно-механических характеристик пленки.

Данные исследования дают возможность дальнейшего моделирования условий взаимодействия упаковочного материала в печатном процессе.

Литература

1. Технология печатных процессов / А. Н. Раскин [и др.]; под общ. ред. А. Н. Раскина. М.: Книга, 1989. 432 с.
2. Малкольм Дж. Кейф. Послепечатные технологии. М.: Принтмедиацентр, 2005. 273 с.
3. Кулак М. И. Структуризация знаний в интеллектуальной системе моделирования компози- тов // Искусственный интеллект – 90: докл. Всесоюз. конф. Минск, 1990. Т. 3. С. 66–68.

4. Кулак М. И., Ничипорович С. А., Медяк Д. М. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы. Минск: Бел. наука, 2007. 419 с.
5. Нетесов А. Роль контраста в процессе контроля качества печати // Курсив. 2003. № 2. URL: http://publish.ruprint.ru/stories/2/113_1.php (дата обращения: 29.01.2019).
6. Грудо С. К., Барташевич С. А., Русак Е. В. Особенности ультразвуковой модернизации способа получения флексографских фотополимерных печатных форм // Материалы, технологии, инструменты. 2014. Т. 19. № 2. С. 80–85.
7. Стефанов С. И., Смирнова Ю. В. Технологии производства печатной рекламы: в 2 ч. М.: МГУП, 2009. Ч. 2. С. 46–49.
8. Кулак М. И. Фрактальная механика материалов. Минск: Высшая школа, 2002. 304 с.

References

1. Raskin A. N., Romeykov I. V., Biryukova N. D., Muratov Yu. A., Yefremova A. N. *Tekhnologiya pechatnykh protsessov* [Technology of printing processes]. Moscow, Kniga Publ., 1989. 432 p.
2. Malcolm J. K. *Poslepechatnye protsessy* [Postprinting technologies]. Moscow, Printmediatsentr, 2005. 273 p.
3. Kulak M. I. Structuring of knowledge in the intelligent system modeling of composites. *Doklady Vsesoyuznoy konferentsii (Iskustvennyy intellekt – 90)* [Reports of the all-Union conference (Artificial intelligence)]. Minsk, 1990, vol. 3, pp. 66–68 (In Russian).
4. Kulak M. I., Nicheporovich S. A., Medyak D. M. *Metody teorii fraktalov v tekhnologicheskoy mekhanike i protsessakh upravleniya: poligraficheskiye materialy i protsessy* [Methods of the theory of fractals in technological mechanics and management processes: printing materials and processes]. Minsk, Bel. Nauka Publ., 2007. 419 p.
5. Netesov A. The role of contrast in print quality control. *Kursiv* [Cursive], 2003, no. 2. Available at: http://publish.ruprint.ru/stories/2/113_1.php (accessed 29.01.2019).
6. Grudo S. K., Bartashevich S. A., Rusak E. V. Features of ultrasonic modernization of a way of receiving flexographic photopolymeric printing forms. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials, technologies, tools], 2014, vol. 19, no. 2, pp. 80–85 (In Russian).
7. Stefanov S. I., Smirnova Yu. V. *Tekhnologii proizvodstva pechatnoy reklamy* [Production technologies of the print advertising]. Moscow, MGUP Publ., 2009. 49 p.
8. Kulak M. I. *Fraktal'naya mekhanika materialov* [Fractal mechanics of materials]. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 2002. 304 p.

Информация об авторах

Грудо Сергей Казимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Grudo@belstu.by

Кудряшова Алина Николаевна – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: aliftina19@mail.ru

Information about the authors

Grudo Sergey Kazimirovich – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Printing Productions. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Grudo@belstu.by

Kudryashova Alina Nikolaevna – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aliftina19@mail.ru

Поступила 29.01.2019