

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО И УПАКОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 655.3

Д. М. Медяк, Н. Э. Трусевич

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЧАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

В работе на основе описания известных механизмов износа было выполнено моделирование износа защитных элементов печатной продукции. Рассматриваются проблемы износостойкости защитных элементов и возможности повышения качества и уровня изготавливаемых ценных бумаг. Приведены три стадии износа деталей и материалов в течение времени работоспособности. Различия в материалах, структуре и технологии изготовления защитных элементов печатной продукции обуславливают отличия в скорости и сочетаниях механических, физических, химических процессов, приводящих к их износу. Для изучения износа как функции от времени обращения необходимы исследования свойств исходных материалов, а также определение характеристик поверхностных слоев защитных элементов в течение всего рабочего времени. В работе для характеристики поверхности структуры защитных элементов использован показатель оптической плотности, который изменяется в процессе обращения защищенной печатной продукции.

В статье представлена статистическая модель на основе функции жизненного цикла для описания износа защитных элементов печатной продукции. Приведены результаты обработки данных эксперимента, описывающие кинетику износа различных защитных элементов на протяжении всего периода эксплуатации печатной продукции.

В результате проведения исследования износостойкости различных защитных элементов построены теоретические кривые износа и выполнен их анализ. Приведенные модели позволяют учесть и спрогнозировать износ материалов и продукции.

Ключевые слова: моделирование, износ печатной продукции, кинетика износа, защищенная печатная продукция, оптическая плотность.

D. M. Medyak, N. E. Trusevich

Belarusian State Technological University

INVESTIGATION OF WEAR-RESISTANCE OF PROTECTIVE ELEMENTS PRINTED PRODUCTS

In the work on the basis of the description of known wear mechanisms, modeling of wear of protective elements of printed products was carried out. The problems of wear resistance of protective elements and the possibility of improving the quality and level of the securities being produced are considered. There are three stages of wear of parts and materials during the working time. Differences in materials, structure and manufacturing technology of protective elements of printed products cause differences in the speed and combinations of mechanical, physical, chemical processes leading to their wear and tear. To study wear, it is necessary to study the properties of the raw materials, as well as to determine the characteristics of the surface layers of the protective elements throughout the entire

working time as a function of the time of circulation. In work, the indicator of optical density is used to characterize the surface of the structure of protective elements, which changes during the circulation of protected printed products.

The article presents a statistical model based on the function of the life cycle for describing the wear of protective elements of printed products. The results of processing experimental data describing the kinetics of wear of various protective elements throughout the period of operation of printed products are presented.

As a result of the investigation of the wear resistance of various protective elements, theoretical wear curves were constructed and their analysis was performed. The resulted models allow to consider and predict deterioration of materials and production.

Key words: modeling, wear of printed materials, kinetics of wear, protected printed products, optical density.

Введение. Сегодня на территории Республики Беларусь находится в обращении более тысячи видов различной защищенной от подделки полиграфической продукции и ее количество постоянно растет. Большая часть продукции изготавливается предприятиями республики. Обеспечение необходимой и достаточной защиты ценных бумаг и документов является одной из важнейших государственных задач, направленных на поддержание национальной и экономической безопасности государства [1].

Разработка и создание защищенной печатной продукции – это сложный процесс, в котором должны быть учтены: сложившаяся практика отраслевого делопроизводства и существующая аппаратная база контроля защищенной продукции; реальные условия обращения продукта и уровень квалификации персонала; эргономический, эстетический и экономический факторы.

При этом следует учитывать, что в процессе обращения защитные элементы изнашиваются и, соответственно, могут утрачивать в той или иной мере свою защитную функцию, тем самым провоцировать подделку. Особенно это касается документной продукции, имеющей многоуровневую и многократную схему обращения в течение длительного периода времени, например документы группы А, некоторые документы групп Б, В и Г.

К группе А относятся бланки документов, удостоверяющих личность, отношение граждан к исполнению воинских обязанностей и дающих право на пересечение границы [2]: вид на жительство в Республике Беларусь; разрешение на временное проживание; документ о приглашении иностранного гражданина или лица без гражданства в Республику Беларусь; пропуск на въезд в пограничную зону Республики Беларусь; свидетельство на возвращение в Республику Беларусь; удостоверение беженца; паспорт гражданина Республики Беларусь; служебный паспорт; военный билет; дипломатический паспорт; национальное удостоверение

личности моряка; свидетельство летчика, пилота, штурмана и т. п.

В результате обращения данных видов полиграфической продукции происходит их общий износ и, соответственно, изнашивание защитных элементов.

Изнашивание – процесс разрушения и отделения частиц материала от поверхности или накопления в нем остаточной деформации. Процесс изнашивания может выражаться в единицах длины, объема, массы, параметрах физических, химических, энергетических свойств и структуры материала.

Необходимость в исследовании износа защитных элементов печатной продукции основывается на интенсивном развитии технологии печатных и послепечатных процессов, появлении новых материалов и оборудования для ее изготовления, а также возрастающими требованиями к качеству печатной продукции.

В настоящее время разработан ряд теорий трения и износа деталей машин, из которых можно выделить наиболее полно объясняющие сущность происходящих явлений в различных условиях эксплуатации материалов. К таким теориям относятся деформационно-адгезионная, молекулярная, молекулярно-механическая, молекулярно-кинетическая, структурно-энергетическая. С позиции последней детально и всеобъемлюще трактуется сущность износа офсетного полотна и тиражестойкости печатных форм. Она наиболее развернуто устанавливает явления, происходящие в зоне печатного контакта в прямых и косвенных способах печати [3].

В результате систематического исследования процессов трения и износа деталей машин проф. Б. И. Костецкий сформулировал основные положения структурно-энергетической теории, базирующейся на законах термодинамики необратимых процессов. Разработана классификация видов износа по процессам. Согласно структурно-энергетической теории в поверхностных слоях материала при трении и износе возникают и развиваются физические, химические и механические процессы. Они

возникают под влиянием внешних механических воздействий, окружающей среды, теплоты трения. Наиболее существенное влияние на развитие износа оказывают процессы окисления, схватывания, абразивные и усталостные воздействия.

В зависимости от условий трения и одновременного влияния различных факторов образуются состояния, обеспечивающие развитие одного процесса и оказывающие меньшее влияние на другие процессы. Различные процессы имеют разные скорости, поэтому преимущественно развивается тот, для которого появляются наиболее благоприятные обстоятельства. В любых условиях эксплуатации деталей и материалов трением существует процесс, протекающий с наибольшей скоростью. Его называют ведущим. Именно этим процессом определяется вид износа.

В работах Б. И. Костецкого обосновано разделение всех процессов поверхностного разрушения на теоретически и практически допустимые и недопустимые, которые приводят к повреждаемости материалов. К первым относятся механохимический нормальный окислительный; механохимический нормальный износ пленок неокислородного происхождения; механохимическая форма абразивного износа (особо выделяется окислительное изнашивание как устойчивый нормальный механохимический процесс). Ко вторым – схватывание первого и второго рода; фреттинг-процесс (схватывание, динамическое окисление); механическая форма абразивной повреждаемости (резание, царапание, пропахивание); усталость при качении; другие виды повреждаемости (коррозия, эрозия, смятие).

При установившемся износе скорость разрушения при трении поверхностей не должна превышать скорости процесса, определяющего вид изнашивания. Износостойкость при окислительном изнашивании определяется интенсивностью образования и свойствами вторичных структур, возникающих в процессе трения и являющихся сложной функцией исходных свойств материалов и условий работы. В процессе трения желателен переход исходной структуры материала в новую фазу максимального упрочнения с ориентацией относительно направления перемещения (структурная приспособляемость). Технические показатели вторичных структур можно характеризовать их геометрическими параметрами – занимаемой площадью и глубиной, прочностью – физическими параметрами и химическим составом.

На основании структурно-энергетической теории можно более точно сформулировать цель управления процессом износа – обеспече-

ние устойчивости вторичных структур, расширение диапазонов нормальных механохимических и термохимических процессов, снижение их степени воздействия. Основой управления становится регулирование процессов путем изменения конструкторских, технологических и эксплуатационных средств.

Исходя из изложенного, можно сформулировать этапы изучения износа защитных элементов печатной продукции. С одной стороны, необходимы исследования свойств исходных материалов, а с другой – определение характеристик поверхностных слоев защитных элементов в течение всего рабочего времени как функции от времени пользования. Это тем более необходимо потому, что одним из важнейших факторов износа является продолжительность работы трибосистемы.

Согласно структурно-энергетической теории существуют три стадии износа деталей и материалов в течение времени работоспособности:

- 1) начальный износ (приработка) – переход от исходного состояния к установившемуся рабочему;
- 2) установившийся износ – протекающий с постоянной скоростью, характерной для данных условий;
- 3) усиленный (катастрофический) износ – потеря деталей рабочих свойств.

Моделирование износа защитных элементов печатной продукции. Различия в материалах, структуре и технологии изготовления защитных элементов печатной продукции обуславливают отличия в скорости и сочетаниях механических, физических, химических процессов, приводящих к их износу. Соответственно математическая модель должна быть в достаточной степени универсальной, чтобы описывать все эти процессы с требуемой точностью. Если для характеристики поверхности структуры защитных элементов использовать показатель оптической плотности, то можно предположить что она будет каким-либо образом изменяться в процессе пользования защищенной печатной продукцией. В данной работе для построения такого описания предлагается использовать функцию жизненного цикла (ФЖЦ) [4].

Определяющим дифференциальным уравнением для ФЖЦ является уравнение Ферхюльста – Перла:

$$\frac{dy}{dt} = by(A - y), \quad (1)$$

где y – значение анализируемого показателя в некоторый момент времени t ; b – параметр задачи; A – асимптота ФЖЦ.

Уравнение (1) интегрируется аналитически, его решение и есть искомая ФЖЦ:

$$y(t) = \frac{Ay_0}{y_0 + (A - y_0)e^{-Abt}}, \quad (2)$$

где y_0 – начальное значение функции y .

Неизвестные коэффициенты A и b , а также начальное значение y_0 в выражении (2) находятся с помощью регрессионного анализа по методу наименьших квадратов (МНК). При этом исходными данными являются статистические, полученные в результате промышленных или лабораторных исследований.

Анализ экспериментальных данных по исследованию износа тиражестойкости печатных форм, а также штампов для тиснения [5–13] показывает, что в большинстве случаев динамика износа описывается не классической S -образной ФЖЦ (2), а обратной по отношению к ней функцией.

Обозначим, так как это принято в специальной литературе по трению и износу [14–16], износ символом W . В этом случае уравнение, обратное по отношению к (1), будет иметь вид

$$\frac{dt}{dW} = bt(A - t). \quad (3)$$

Решение (3) соответственно имеет вид

$$t(W) = \frac{At_0}{t_0 + (A - t_0)e^{-AbW}}. \quad (4)$$

Функцию (4) можно обратить, выразив износ W как функцию времени пользования продукцией t . Она будет иметь следующий вид:

$$W(t) = \frac{1}{Ab} \ln \left[\frac{(A - t_0)t}{t_0(A - t)} \right]. \quad (5)$$

Построенные модели позволяют учесть и спрогнозировать износ материалов [17, 18]. Первый член в правой части дифференциальных уравнений (1) и (3) описывает рост скорости процесса, второй – замедление процесса. Замедление происходит в условиях, когда наряду с основным процессом начинает проявляться конкурирующий, который его уравновешивает или компенсирует.

Асимптота A является характеристикой предельного значения износа защитных элементов и материалов. Превышение ее значения указывает на то, что износ и разрушение защитных элементов и материалов будет происходить на мезо- и макроструктурном уровне.

Параметр b характеризует интенсивность (кинетику) процессов износа на стадии установившегося роста. Этот параметр удобен для

сравнительных исследований процесса износа защитных элементов и продукции из различных материалов, в различных условиях их изготовления и эксплуатации.

Параметр t_0 характеризует начальное время пользования защищенной продукцией, при котором износ становится заметным. Этот параметр важен как характеристика начала процесса износа.

Адекватность моделей проверялась по критерию Фишера. Табличное значение данного критерия F_T при количестве степеней свободы $v = n - 1$ (n – количество экспериментальных точек) и уровне значимости $\alpha = 0,05$ больше для всех значений F_p , полученных при обработке экспериментальных данных.

Исследование износостойкости защитных элементов печатной продукции в условиях реального обращения проводилось на защищенной документной продукции группы А. Было отобрано 7 образцов со сроком обращения от 0,14 до 6,36 лет.

В процессе исследований образцов с помощью денситометра определялось изменение оптической плотности защитных элементов в зависимости от срока обращения. Измерялась оптическая плотность следующих защитных элементов:

- 1) заламинированная бумага; защитный элемент в виде зеленого орнамента, нанесенного с помощью люминесцентной краски на пленку для ламинирования; защитный элемент в виде розеточного орнамента на бумаге;
- 2) защитный элемент в виде орнамента с антисканерным эффектом на бумаге;
- 3) заламинированный пленкой защитный элемент в виде белорусского орнамента на бумаге;
- 4) элемент в виде звезды; печать в виде фоновой сетки на бумаге;
- 5) элемент, который выполнен тиснением фольгой.

После проведения измерений с помощью разработанных на кафедре полиграфических производств лабораторных методик определялись характеристики износа защитных элементов и рассчитывалась теоретическая кривая износа, которая позволяет спрогнозировать износостойкость защитных элементов в процессе реального обращения.

Зависимости характеристик износа от времени обращения приведены на рис. 1–8.

Результаты обработки экспериментальных данных и найденные с помощью МНК значения параметров ФЖЦ (5) износа защитных элементов в процессе реального обращения приведены ниже.

Зависимость изменения оптической плотности заламинированной бумаги от времени обращения (рис. 1) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,926 \cdot 0,355} \ln \left[\frac{(1,926 - 0,2 \cdot 10^{-4}) t}{0,2 \cdot 10^{-4} \cdot (1,926 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{6,903 \cdot 0,014} \ln \left[\frac{(6,903 - 0,14) t}{0,14 \cdot (6,903 - t)} \right].$$

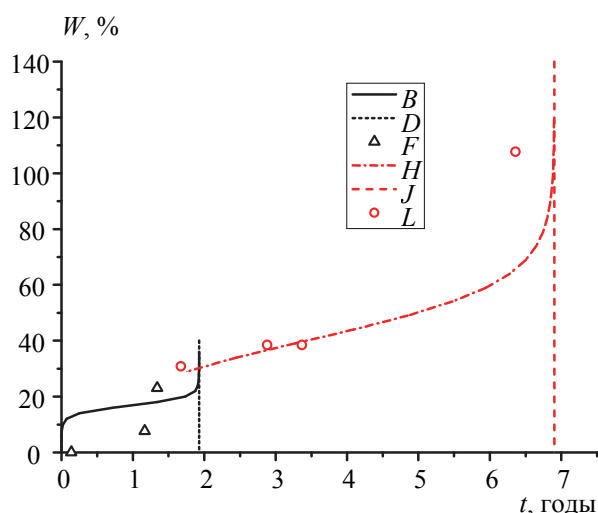


Рис. 1. Зависимость изменения оптической плотности заламинированной бумаги от времени обращения.

Первая фаза износа: B – теоретическая зависимость; D – асимптота; F – экспериментальные значения.

Вторая фаза: H – теоретическая зависимость; J – асимптота; L – экспериментальные значения

Анализ рис. 1 показывает, что наиболее простой вид имеют зависимости износа при исследовании изменения оптической плотности незапечатанной заламинированной бумаги. Процесс износа распадается на две четко выраженные фазы. В течение первых двух лет обращения оптическая плотность незначительно уменьшается, что можно объяснить абразивным истиранием при трении страниц документа друг о друга, так как документ имеет конструкцию брошюры. По истечении двух лет пользования начинается более заметный процесс старения, выражающийся в более существенном росте оптической плотности.

За 6 лет пользования документом оптическая плотность для разных элементов защиты возрастает в 1,5–2,0 раза. Механизм старения носит комплексный характер и включает загрязнение в результате разложения компонентов печатной краски и перехода их со страницы на страницу при абразивном контакте. На защитные элементы могут также попадать внеш-

ние частицы, в основном органической природы, при контакте с руками человека, а также другие частицы, пары, аэрозоли различных веществ, которые могут находиться в местах хранения и пользования документами.

Зависимость износа защитного элемента на пленке для ламинирования от времени обращения (рис. 2) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,437 \cdot 0,272} \ln \left[\frac{(1,437 - 0,025) t}{0,025 \cdot (1,437 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{7,647 \cdot 0,008} \ln \left[\frac{(7,647 - 0,5) t}{0,5 \cdot (7,647 - t)} \right].$$

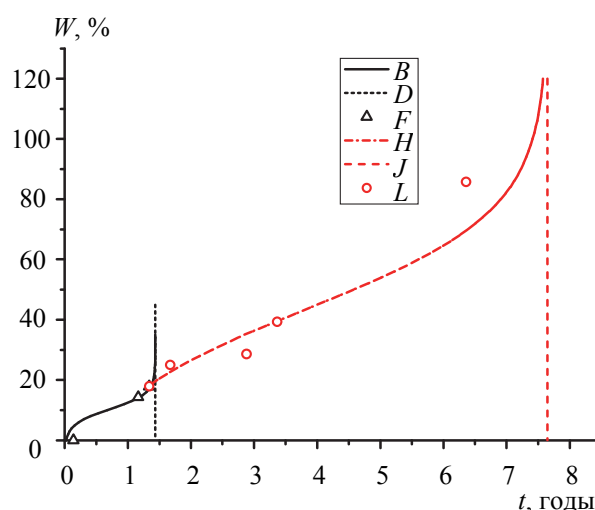


Рис. 2. Зависимость износа защитного элемента на пленке для ламинирования от времени пользования. Первая фаза износа: B – теоретическая зависимость; D – асимптота; F – экспериментальные значения.

Вторая фаза: H – теоретическая зависимость; J – асимптота; L – экспериментальные значения

Зависимость на рис. 2 свидетельствует, что стойкость защитного элемента в виде зеленого орнамента, нанесенного с помощью люминесцентной краски на пленку для ламинирования, составляет около 7 лет.

Как видно на рис. 3–4, ламинирование защитного элемента в виде орнамента с антисканерным эффектом увеличивает стойкость в 2 раза.

Зависимость износа заламинированного защитного элемента в виде орнамента с антисканерным эффектом от времени обращения (рис. 3) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,483 \cdot 0,248} \ln \left[\frac{(1,483 - 0,025) t}{0,025 \cdot (1,483 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{17,393 \cdot 0,004} \ln \left[\frac{(17,393 - 0,42)t}{0,42 \cdot (17,393 - t)} \right].$$

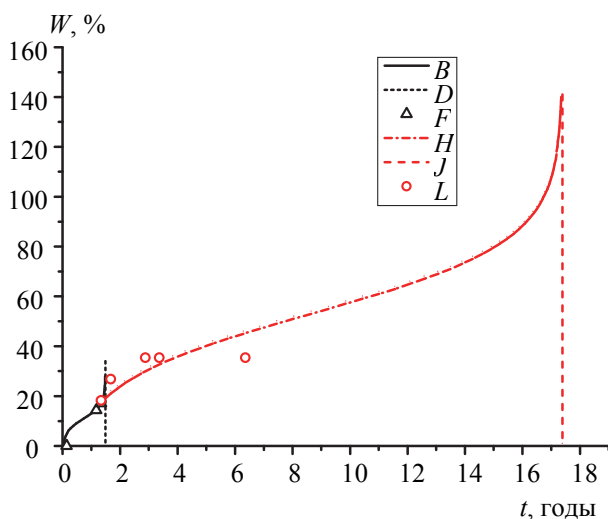


Рис. 3. Зависимость износа заламинированного защитного элемента в виде орнамента с антисканерным эффектом от времени обращения. Первая фаза износа: B – теоретическая зависимость; D – асимптота; F – экспериментальные значения. Вторая фаза: H – теоретическая зависимость; J – асимптота; L – экспериментальные значения

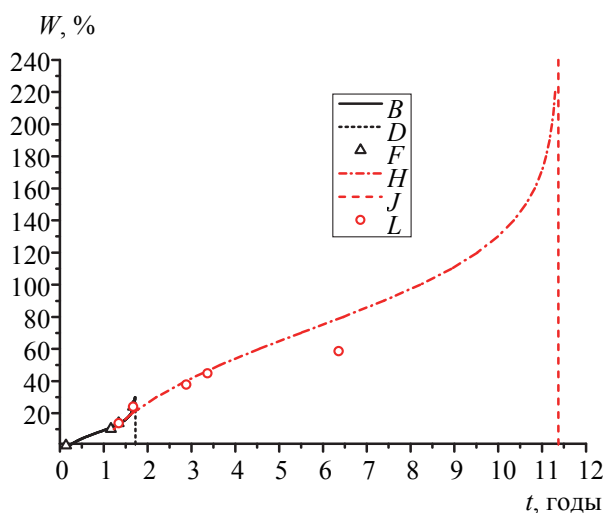


Рис. 4. Зависимость износа защитного элемента в виде орнамента с антисканерным эффектом от времени обращения. Первая фаза износа: B – теоретическая зависимость; D – асимптота; F – экспериментальные значения. Вторая фаза: H – теоретическая зависимость; J – асимптота; L – экспериментальные значения

Зависимость износа защитного элемента в виде орнамента с антисканерным эффектом от времени обращения (рис. 4) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,721 \cdot 0,136} \ln \left[\frac{(1,721 - 0,230)t}{0,230 \cdot (1,721 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{11,370 \cdot 0,003} \ln \left[\frac{(11,370 - 0,90)t}{0,90 \cdot (11,370 - t)} \right].$$

Кинетику износа защитных элементов в виде звезды и фоновой сетки отражают рис. 5–6. Как видно на рис. 5, износ печатного элемента существенно замедлен по сравнению с фоновой сеткой. Данные на рис. 6 показывают, что стойкость фоновой сетки почти в 2 раза выше, чем защитного орнамента на внутренних страницах документа (рис. 4).

Зависимость износа печатного элемента в виде звезды от времени обращения (рис. 5) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,396 \cdot 1,912} \ln \left[\frac{(1,396 - 0,02)t}{0,02 \cdot (1,396 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{16,015 \cdot 0,003} \ln \left[\frac{(16,015 - 1,05)t}{1,05 \cdot (16,015 - t)} \right].$$

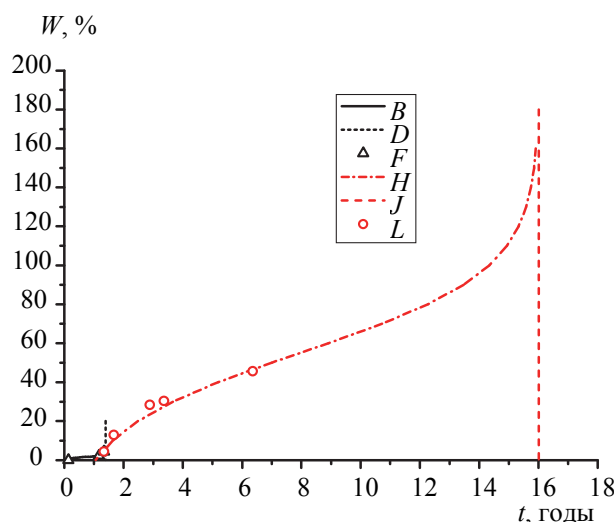


Рис. 5. Зависимость износа печатного элемента в виде звезды от времени обращения. Первая фаза износа: B – теоретическая зависимость; D – асимптота; F – экспериментальные значения. Вторая фаза: H – теоретическая зависимость; J – асимптота; L – экспериментальные значения

Зависимость износа печати в виде фоновой сетки от времени обращения (рис. 6) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,496 \cdot 0,493} \ln \left[\frac{(1,496 - 0,027)t}{0,027 \cdot (1,496 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{9,868 \cdot 0,009} \ln \left[\frac{(9,868 - 0,56)t}{0,56 \cdot (9,868 - t)} \right].$$

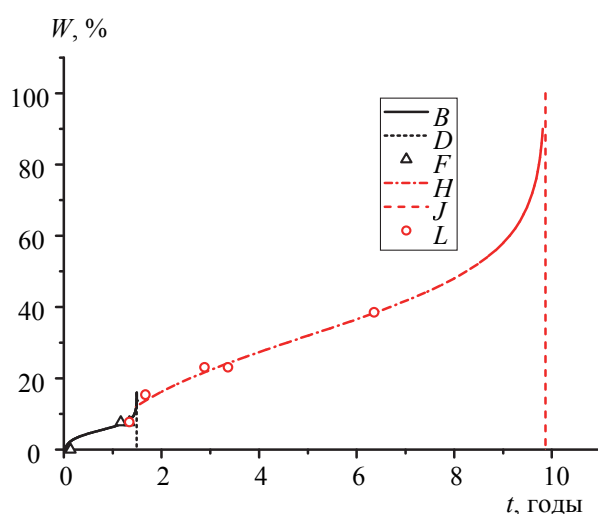


Рис. 6. Зависимость износа печати в виде фоновой сетки от времени обращения.

Первая фаза износа:

B – теоретическая зависимость;
 D – асимптота; F – экспериментальные значения.

Вторая фаза:

H – теоретическая зависимость;

J – асимптота;

L – экспериментальные значения

Рис. 7 и 8 отражают кинетику износа покровного материала обложки и тиснения фольгой на ней. Видно, что обложка обладает существенно большей стойкостью – более 20 лет. Имеется в виду стойкость к воздействиям, аналогичным и для внутренних элементов.

Зависимость износа покровного материала обложки от времени обращения (рис. 7) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,859 \cdot 0,824} \ln \left[\frac{(1,859 - 0,160)t}{0,160 \cdot (1,859 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{21,16 \cdot 0,053} \ln \left[\frac{(21,16 - 0,064)t}{0,064 \cdot (21,16 - t)} \right].$$

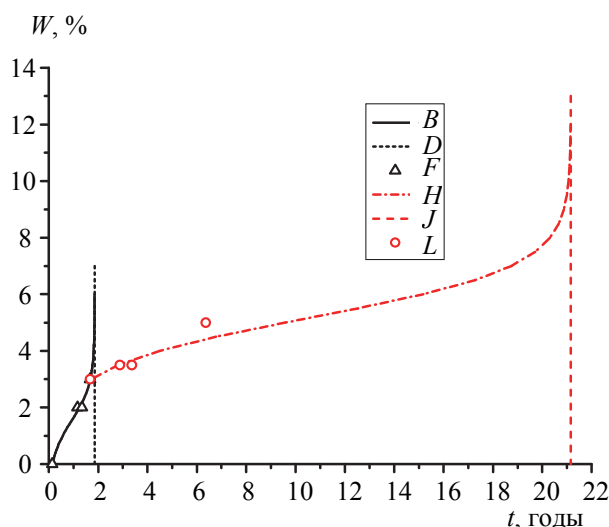


Рис. 7. Зависимость износа покровного материала обложки от времени обращения.

Первая фаза износа: B – теоретическая зависимость;
 D – асимптота; F – экспериментальные значения.

Вторая фаза: H – теоретическая зависимость;

J – асимптота; L – экспериментальные значения

Зависимость износа тиснения фольгой на обложке от времени обращения (рис. 8) описывается функциями:

– первая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{1,354 \cdot 0,488} \ln \left[\frac{(1,354 - 0,021)t}{0,021 \cdot (1,354 - t)} \right];$$

– вторая фаза:

$$W(t) = \frac{1}{22,803 \cdot 0,003} \ln \left[\frac{(22,803 - 0,45)t}{0,45 \cdot (22,803 - t)} \right].$$

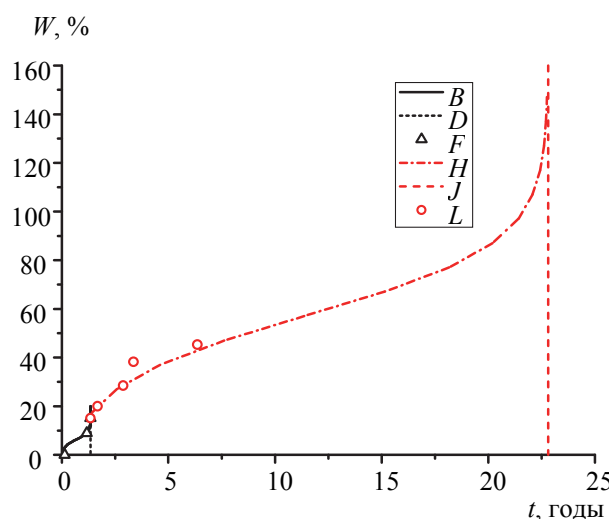


Рис. 8. Зависимость износа тиснения фольгой на обложке от времени обращения.

Первая фаза износа: B – теоретическая зависимость;
 D – асимптота; F – экспериментальные значения.

Вторая фаза: H – теоретическая зависимость;

J – асимптота; L – экспериментальные значения

Вывод. Сравнение функций износа исследованных защитных элементов документа позволяет сделать вывод, что наиболее устойчивым к износу в условиях реального обращения является тиснение фольгой на обложке. Покровный материал обложки и заламинированный защитный элемент в виде орнамента с антисканерным эффектом также показывают хорошую устойчивость к износу. Наименьшую устойчивость демонстрирует заламинированная бумага. Незначительно выше устойчивость у

защитного элемента на пленке для ламинирования и фоновой сетки. Ламинационная защитная пленка, обладая в целом средним уровнем надежности, демонстрирует самый низкий уровень устойчивости к износу в реальных условиях обращения.

Моделирование износа позволяет планировать защитный комплекс печатной продукции с учетом изменения характеристик поверхностных слоев защитных элементов от времени обращения.

Литература

1. Корочкин Л. С. Способы защиты и идентификации ценных бумаг. Минск: Криптотех, 2003. 114 с.
2. Об утверждении Положения об основных требованиях, предъявляемых к уровню защищенности бланков строгой отчетности, а также специальным материалам для защиты их от подделки: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь, 1 марта 2002 г., № 29 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2002. № 8/7851.
3. Розум О. Ф. Управление тиражестойкостью печатных форм. Киев: Тэхніка, 1990. 128 с.
4. Кулак М. И., Семеняко Н. М. Анализ устойчивости статистической модели жизненного цикла печатной продукции к изменению набора данных // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2007. Вып. XV. С. 69–72.
5. Лазаренко Э. Т. Фотохимическое формование печатных форм. Львов: Вища шк., 1984. 151 с.
6. Печатные формы из фотополимеризующихся материалов / О. Ф. Розум [и др.]. Киев: Техніка, 1987. 207 с.
7. Величко Е. М., Осипова Т. Г., Розум О. Ф. Тиражестойкость печатных форм. Киев: Реклама, 1987. 22 с.
8. Розум О. Ф. Физико-химические основы тиражестойкости печатных форм. Киев: УМКВО, 1989. 81 с.
9. Лабинский В. С. Печатающие и пробельные элементы форм офсетной плоской печати. Киев: Реклама, 1989. 26 с.
10. Розум О. Ф. Исследование физико-механических и физико-химических свойств фотополимерных печатных форм: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.15. М.: МПИ, 1972. 29 с.
11. Иванчишин Г. М. Зносостійкість сталевих друкарських форм // Технологія і техніка друкарства. 2006. № 3. С. 35–37.
12. Иванчишин Г. М., Лазаренко Е. Т., Майк В. З. Тиражестійкість фото полімерних штампів // Технологія і техніка друкарства. 2008. № 1. С. 29–33.
13. Иванчишин Г. М., Майк В. З. Зносостійкість штампів для тиснення // Технологія і техніка друкарства. 2007. № 1–2. С. 60–64.
14. Бартенев Г. М., Лаврентьев В. В. Трение и износ полимеров. Ленинград: Химия, 1972. 240 с.
15. Трение и износ материалов на основе полимеров / В. А. Белый [и др.]. Минск: Наука и техника, 1976. 431 с.
16. Тененбаум М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 271 с.
17. Кулак М. И., Сидельник О. В. Прогнозирование тиражестойкости печатных форм // Труды БГТУ. 2012. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 18–22.
18. Барковский Е. В., Медяк Д. М., Кулак М. И. Моделирование износа офсетного полотна // Труды БГТУ. 2013. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 7–11.

References

1. Korochkin L. S. *Sposoby zashchity i identifikatsii tsennykh bumag* [Methods of protection and identification of securities]. Minsk, Kriptotekh Publ., 2003. 114 p.
2. On the approval of the Regulation on the basic requirements for the level of security of strict reporting forms, as well as special materials to protect them from forgery: Resolution of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus, March 1, 2002, no. 29. *Natsional'nyy reestr pravovyykh aktov Respubliki Belarus* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus]. 2008, no. 8/7851.
3. Rozum O. F. *Upravlenie tirazhestoykost'yu pechatnykh form* [Controlling the printability of printed forms]. Kiev, Tekhnika Publ., 1990. 128 p.

4. Kulak M. I., Semenyako N. M. Analysis of the stability of the statistical model of the life cycle of printed products to a change in the data set. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series IX, Publishing and Printing, 2007, issue XV, pp. 69–72 (In Russian).
5. Lazarenko E. T. *Fotokhimicheskoe formovanie pechatnykh form* [Photochemical forming of printing plates]. Lviv, Vishcha shkola Publ., 1984. 151 p.
6. Rozum O. F., Zolotukhin A. V., Ivat' D. M., Lazarenko E. T. *Pechatnye formy iz fotopolimerizuyushchikhsya materialov* [Printing forms of photopolymerizable materials]. Kiev, Tekhnika Publ., 1987. 207 p.
7. Velichko E. M., Osipova T. G., Rozum O. F. *Tirazhestoykost' pechatnykh form* [Resistance to wear of printing forms]. Kiev, Reklama Publ., 1987. 22 p.
8. Rozum O. F. *Fiziko-khimicheskie osnovy tirazhestoykosti pechatnykh form* [Physicochemical basis of resistance to wear of printing forms]. Kiev, UMKVO Publ., 1989. 81 p.
9. Labinskiy V. S. *Pechatayushchie i probel'nye elementy form ofsetnoy ploskoy pechati* [Printing and blank elements of forms of offset flat printing]. Kiev, Reklama Publ., 1989. 26 p.
10. Rozum O. F. *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i fiziko-khimicheskikh svoystv fotopolimernykh pechatnykh form. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Investigation of physicochemical and physico-chemical properties of photopolymer printing forms. Abstract of thesis cand. of eng. sci.]. Moscow, 1972. 29 p.
11. Ivanchishin G. M. Resistance to wear of steel printing forms. *Tekhnologiya i tekhnika drukarstva* [Printing Technology and Engineering], 2006, no. 3, pp. 35–37 (In Ukrainian).
12. Ivanchishin G. M., Lazarenko E. T., Maik V. Z. Resistance to wear of photopolymeric dies. *Tekhnologiya i tekhnika drukarstva* [Printing Technology and Engineering], 2008, no. 1, pp. 29–33 (In Ukrainian).
13. Ivanchishin G. M., Maik V. Z. Durability of stamps for stamping. *Tekhnologiya i tekhnika drukarstva* [Printing Technology and Engineering], 2006, no. 1–2, pp. 60–64 (In Ukrainian).
14. Bartenev G. M., Lavrent'ev V. V. *Trenie i iznos polimerov* [Friction and wear of polymers]. Leningrad, Khimiya Publ., 1972. 240 p.
15. Belyy V. A., Sviridenok A. I., Petrokovets M. I., Savkin V. G. *Trenie i iznos materialov na osnove polimerov* [Friction and wear of materials based on polymers]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 431 p.
16. Tenenbaum M. M. *Soprotivlenie abrazivnomu iznashivaniyu* [Resistance to abrasive wear]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 271 p.
17. Kulak M. I., Sidelnik O. V. Forecasting wear resistance of printing plates. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 9: Publishing and Printing, pp. 18–22 (In Russian).
18. Barkovskiy E. V., Medyak D. M., Kulak M. I. Modeling of the wear of the blanket. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 9: Publishing and Printing, pp. 7–11 (In Russian).

Информация об авторах

Медяк Диана Михайловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: medyak@belstu.by

Трусевич Надежда Эдуардовна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: trusevich@belstu.by

Information about the authors

Medyak Diana Mikhaylovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: medyak@belstu.by

Trusevich Nadezhda Eduardovna – PhD (Economics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: trusevich@belstu.by

Поступила 15.01.2018