

# ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 658.3

**Н. Э. Трусевич**, кандидат экономических наук, доцент (БГТУ);  
**М. И. Кулак**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ);  
**Т. А. Сакулевич**, студентка (БГТУ); **И. В. Харитончик**, студентка (БГТУ)

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКАЗОВ ПЕЧАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СТАДИИ ВЫВЕДЕНИЯ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Статья посвящена методике статистического моделирования надежности печатного оборудования. Построена обобщенная аналитическая функция интенсивности отказов, которая описывает надежность оборудования на протяжении всего жизненного цикла его эксплуатации. Описана стадия выведения оборудования из эксплуатации. Рассмотрено соотношение нормативного и физического сроков эксплуатации оборудования. Приведены результаты расчетов изменения интенсивности отказов на протяжении жизненного цикла для реальных печатных машин.

Article is dedicated to methods of statistical modeling to reliability of the print equipment. It is built generalised analytical function to intensities refusal, which describes reliability of the equipment on length of the whole life cycle to his usages. The stage of removal of the equipment from operation is described. The ratio of standard and physical terms of operation of the equipment is considered. The brought results calculation change to intensities refusal on length of the life cycle for real printed machines.

**Введение.** Эксплуатация оборудования сопровождается его отказами, возникающими по многим причинам. Исследование динамики и причин возникновения отказов при выполнении технологических операций описано в работе [1]. Для систематизации причин отказов предложен вариант отраслевой классификации отказов печатного оборудования. Также проведено статистическое исследование отказов на основе эксплуатационной информации.

Полное время эксплуатации оборудования, как правило, разбивается на 3 периода: 1) приработки и опытной эксплуатации; 2) нормальной эксплуатации в соответствии с требованиями нормативной документации; 3) физического старения, период, характеризующийся ростом интенсивности отказов, проявлением накопления различных дефектов вследствие старения элементов оборудования.

В некоторых случаях вводится и четвертый период – выведения оборудования из эксплуатации. Поскольку на протяжении этого периода оборудование используется все меньше, то интенсивность отказов может снижаться. Принципиальный вид зависимости функции надежности от времени эксплуатации оборудования с 4 периодами схематически показан на рис. 1.

Количественный анализ информации об отказах дает возможность выявлять закономерности формирования отказов и на этой основе разрабатывать меры по устранению их причин. Для решения задачи оценки характеристик надежности, в первую очередь может быть

использована информация, получаемая на этапе реальной эксплуатации оборудования. Негативной стороной эксплуатационных наблюдений является малый объем статистических данных. Недостаток такой информации для 4 периода, делает актуальным теоретическое исследование отказов на стадии выведения из эксплуатации.

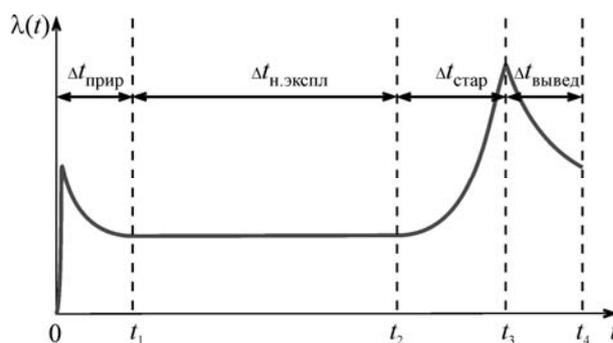


Рис. 1. Принципиальный вид зависимости функции надежности от времени эксплуатации оборудования

Таким образом, целью данной работы является теоретическое исследование отказов печатного оборудования на стадии выведения из эксплуатации, а также построение аналитической функции надежности, охватывающей все стадии жизненного цикла оборудования.

**Аналитическая функция интенсивности отказов оборудования.** Проведенный анализ основных и наиболее часто используемых

в теории надежности моделей безотказной работы оборудования показывает, что ни одна из них не описывает все периоды его эксплуатации. Поэтому актуальной является задача построения модели безотказности, описывающей полное эксплуатационное время работы оборудования. Для целей построения данной функции в статье [1] предложено использовать функцию жизненного цикла эксплуатации оборудования (ЖЦЭО).

Поскольку при отказах оборудование простаивает и не эксплуатируется, то для построения аналитической функции интенсивности отказов предполагалось, что эта функция обратно пропорциональна производной от функции ЖЦЭО  $y(t)$ :

$$\lambda(t) = \frac{C}{\left| \frac{dy(t)}{dt} \right|}, \quad (1)$$

где  $C$  – коэффициент пропорциональности.

В настоящее время построено достаточно много разнообразных функций жизненного цикла (ЖЦ). Часть этих функций и методика их расчета приведены в докладе [2].

Наиболее простой и часто используемой является S-образная логистическая функция ЖЦ. Уравнение для этой функции имеет вид

$$y(t) = \frac{A}{1 + 10^{a-bt}}, \quad (2)$$

где  $A$  – асимптота функции;  $a$  и  $b$  – параметры функции. Методика расчета этих параметров применительно к ЖЦЭО изложена в статье [3]. Функция (2) может быть нормирована на асимптоту по формуле

$$I(t) = y(t) / A. \quad (3)$$

Ресурс оборудования может быть определен по формуле

$$R(t) = 1 - I(t). \quad (4)$$

В общем случае изменение логистической функции ЖЦ во времени и связанное с этим расходование ресурса оборудования происходят так, как приведено на рис. 2.

Учитывая (2) и (3), производную в (1) для случая логистической функции ЖЦ можно получить в явном аналитическом виде. Для удобства дальнейших вычислений введем для этой производной специальное обозначение:

$$F(t) = \frac{1}{\frac{dI(t)}{dt}} = \frac{(1 + 10^{a-bt})^2}{b10^{a-bt} \ln 10}. \quad (5)$$

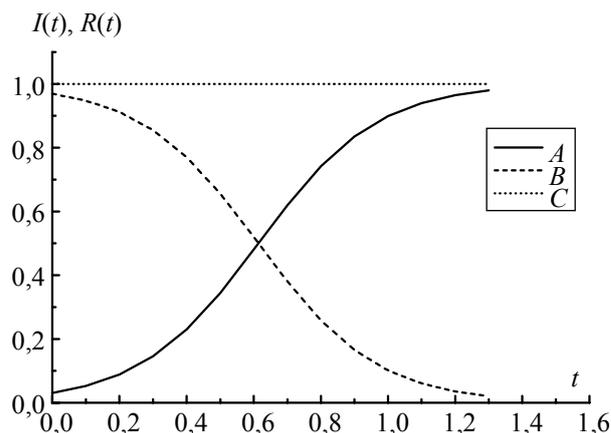


Рис. 2. Характеристики оборудования:

$A$  – функция жизненного цикла  $I(t)$ ;

$B$  – ресурс оборудования  $R(t)$ ;  $C$  – асимптота

Коэффициент пропорциональности  $C$  и параметры функции  $a$  и  $b$  определяются по экспериментальным статистическим данным об интенсивности отказов с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Полученная таким образом зависимость функции интенсивности отказов от времени (1) описывает полное эксплуатационное время работы оборудования.

**Описание стадии выведения оборудования из эксплуатации.** Оборудование печатных цехов это, как правило, дорогостоящее оборудование, составляющее существенную часть основных средств. Для его обновления необходимы значительные затраты. Поэтому предприятия стремятся сохранить основные фонды и всеми доступными средствами продлить срок эксплуатации такого оборудования. В качестве примера можно привести тот факт, что в экономически развитых странах Европы в настоящее время все еще эксплуатируются печатные машины-агрегаты высокой печати в газетном производстве. В то время, как выпуск такого оборудования прекратился уже много лет тому назад. Все это подчеркивает актуальность исследования стадии выведения оборудования из эксплуатации, в том числе с использованием теоретических методов.

Для описания стадии выведения оборудования из эксплуатации необходимо использовать более сложную функцию ЖЦЭО. В частности, для этих целей можно применить функцию ЖЦ, которая после стадии насыщения переходит в стадию спада [2]. Вид данной функции и рассчитанный с ее помощью ресурс оборудования показаны на рис. 3.

Построенные с помощью приведенных на рис. 3 зависимостей  $I(t)$  и  $R(t)$  функции интенсивности отказов  $\lambda(t)$  представлены на рис. 4 и 5.

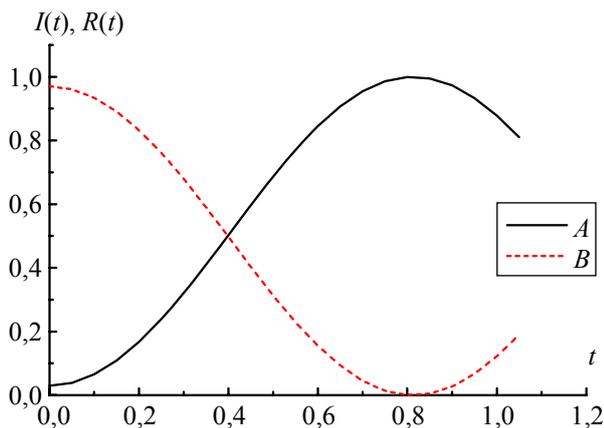


Рис. 3. Характеристики оборудования:  
 A — функция жизненного цикла; B — ресурс оборудования жизненного цикла;  
 B — ресурс оборудования

**Обобщенная функция интенсивности отказов.** На протяжении времени эксплуатации оборудования может быть введена обобщенная степенная функция интенсивности отказов

$$\lambda(t) = \frac{C}{\left| \frac{dI(t)}{dt} \right|^n}, \quad (8)$$

где  $n$  — показатель степени.

Достоинством построенной обобщенной аналитической функции интенсивности отказов является то, что она описывает нюансы изменения интенсивности отказов реального печатного оборудования.

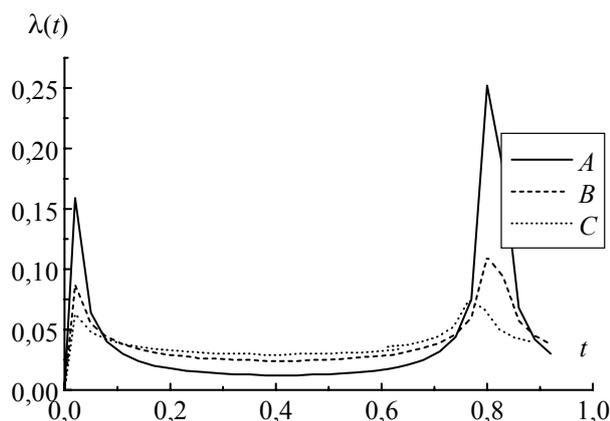


Рис. 4. Обобщенная функция интенсивности отказов:  
 A —  $n = 1,0$ ; B —  $n = 0,5$ ; C —  $n = 0,3$

Как видно на рис. 4, показатель  $n$  отражает соотношение интенсивности отказов на стадиях нормальной эксплуатации и старения.

**Соотношение нормативного и физического сроков эксплуатации оборудования.** Нормативный срок эксплуатации полиграфического оборудования устанавливается в соответствии с нормативной продолжительностью амортизации оборудования. Для печатного оборудования она составляет: листовые машины — 12 лет; рулонные машины — 25 лет.

Вместе с тем анализ практики работы реальных печатных цехов полиграфических предприятий показывает, что физический срок эксплуатации перекрывает нормативный в 2–3 раза. Интенсивность отказов оборудования при соотношении нормативного и физического сроков эксплуатации оборудования 1 : 2 приведена на рис. 5.

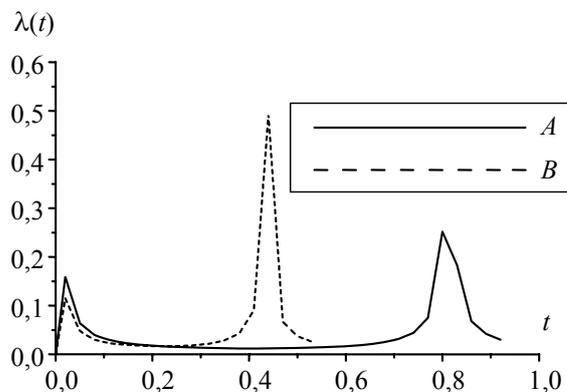


Рис. 5. Соотношение нормативного и физического сроков эксплуатации оборудования:  
 A — физический срок эксплуатации;  
 B — нормативный срок

Таким образом, если исходить только из срока амортизации оборудования, то картина изменения отказов может получиться искаженной. Ожидаемое в конце срока амортизации увеличение интенсивности отказов в реальности может не прослеживаться. Тем более, что на интенсивность отказов влияет система планово-предупредительных ремонтов и другие мероприятия. На первом этапе исследований необходимо определить продолжительность физического срока эксплуатации оборудования. В данной ситуации многократно возрастает значимость модели интенсивности отказов.

**Практическое исследование отказов на стадии выведения оборудования из эксплуатации.**

Разработанная функция интенсивности отказов позволила промоделировать изменение интенсивности отказов на стадии выведения из эксплуатации для двух печатных машин «Планета Р-44», введенных в эксплуатацию в один год.

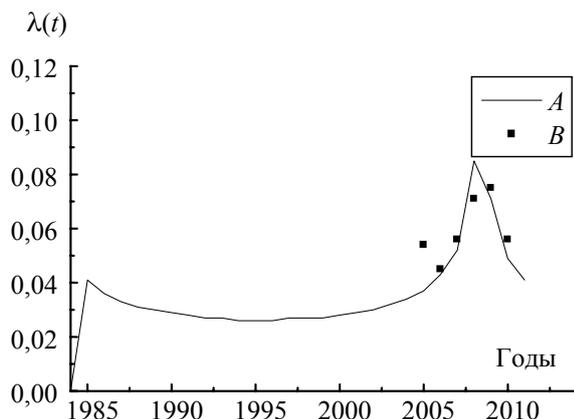


Рис. 6. Функция интенсивности отказов печатной машины «Планета Р-44(2)»: *A* – теоретическая зависимость; *B* – статистические данные

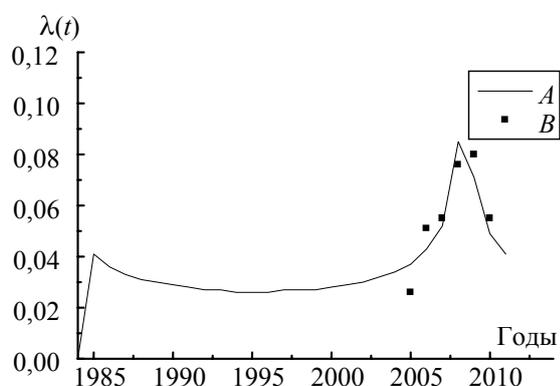


Рис. 7. Функция интенсивности отказов печатной машины «Планета Р-44(1)»: *A* – теоретическая зависимость; *B* – статистические данные

Проведенный анализ эксплуатационной информации и функции интенсивности отказов показывает, что при выведении из эксплуатации интенсивность отказов у печатной машины «Планета Р-44(1)» с односменным режимом работы и у печатной машины «Планета Р-44(2)» с двухсменным режимом работы снижается практически одинаково. Такое изменение интенсивности отказов, несмотря на разные режимы работы, связано с различным техническим состоянием оборудования.

Таким образом, предложенная функция интенсивности отказов позволяет учитывать факторы морального и физического старения оборудования.

**Заключение.** Предложенная в статье методика и результаты моделирования надежности печатного оборудования позволяют:

- проводить анализ, оценку и прогнозирование надежности, уточнение критериев отказов, нормирование показателей надежности;
- определять влияние на надежность факторов, обусловленных конструкцией, технологией изготовления печатной продукции;
- анализировать статистику и причины отказов, а также разрабатывать мероприятия по их устранению;
- оценивать эффективности мероприятий по обеспечению надежности;
- создавать информационную базу по надежности оборудования;
- на новой методической базе решать задачи синтеза полиграфических машин и систем;
- более детально прорабатывать управленческие решения на этапах планирования и организации полиграфического производства.

#### Литература

1. Кулак, М. И. Теоретическая оценка надежности печатного оборудования на стадиях его жизненного цикла / М. И. Кулак, Н. Э. Трусевич, Т. А. Сакулевич, И. В. Харитончик // Труды БГТУ. – 2012. – № 9: Издат. дело и полиграфия. – С. 27–32.
2. Кулак, М. И. Фазовые траектории жизненных циклов в экономике / М. И. Кулак, С. А. Ничипорович, Н. Э. Трусевич // Доклады НАН Беларуси. – 2011. – Т. 55, № 2. – С. 117–124.
3. Ничипорович, С. А. Анализ жизненного цикла комплекта основного технологического оборудования полиграфических предприятий / С. А. Ничипорович, Е. С. Мирончик, О. В. Барушко // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. – 2007. – Вып. XV. – С. 61–64.

Поступила 28.03.2013