

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-4-320-328>

УДК 681.62:62-192

Исследование надежности основных узлов и устройств высекальных прессов для производства упаковки

Магистр техн. наук, асп. Н. С. Кохненко¹⁾,
доктора техн. наук, профессора И. И. Карпунин²⁾, В. В. Кузьмич²⁾

¹⁾Белорусский государственный технологический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2020
Belarusian National Technical University, 2020

Реферат. Условия эксплуатации машин сказываются на темпах износа даже однотипных их узлов. Сроки работы однотипных узлов и машин не одинаковы, и поэтому числовые выражения эксплуатационной надежности будут вероятностными величинами. Неполное восстановление первоначальных свойств узла, небрежный ремонт, неудовлетворительное обслуживание обычно приводят к тому, что любая деталь, независимо одна от другой, может определять надежность машины (узла). Это особенно важно учитывать при производстве упаковки во избежание брака. Эксплуатационная надежность современных машин, состоящих из сотен, а иногда и тысяч деталей, процессы изнашивания которых находятся в сложной взаимосвязи, зависит от ряда факторов. Исследование надежности основных узлов и устройств оборудования – актуальная задача. Успешная эксплуатация полиграфических машин возможна только при условии четкой организации профилактических работ, обеспечивающих подготовку их к печатанию и послепечатной обработке. Высокопроизводительная техника, такая как высекальные прессы, должна регулярно обследоваться, настраиваться и поддерживаться в таком состоянии, чтобы на выходе получать стандартные результаты. В статье исследована надежность основных узлов и устройств высекальных прессов на основе расчета вероятности отказов. Вычисления проводились по аналогии с расчетом вероятности событий по дереву отказов. Построены диаграммы отказов устройств и узлов высекальных прессов. На основе анализа вероятности отказов основных узлов и устройств построены графики остаточного ресурса функционирования оборудования на его жизненном цикле.

Ключевые слова: отказ, вероятность отказа, узел, устройство, дерево отказа, остаточный ресурс, диаграмма, жизненный цикл

Для цитирования: Кохненко, Н. С. Исследование надежности основных узлов и устройств высекальных прессов для производства упаковки / Н. С. Кохненко, И. И. Карпунин, В. В. Кузьмич // *Наука и техника*. 2020. Т. 19, № 4. С. 320–328. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-4-320-328>

Study of Reliability for Main Components and Devices of Die-Cutting Presses for Packaging

N. S. Kohnenko¹⁾, I. I. Karpunin²⁾, V. V. Kuz'mich²⁾

¹⁾Belarusian State Technological University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. A large variety of machine operating conditions leads to a difference in the wear rate even for their units being of the same type. Operational time terms of single-type units and machines are not the same, and therefore, numerical expressions of operational reliability will be probabilistic values. Incomplete restoration of original properties of a unit, a negligent repair, a poor maintenance usually lead to the fact that any of several parts independently one from another can determine reliability of a machine (a unit). This is especially important to consider when manufacturing packaging in order to avoid

Адрес для переписки
Карпунин Иван Иванович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 14,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-96-48
oup@bntu.by

Address for correspondence
Karpunin Ivan I.
Belarusian National Technical University
14, Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-96-48
oup@bntu.by

rejects. The operational reliability of modern machines consisting of hundreds, and sometimes thousands of parts, wear processes of which are in a complex relationship, depends on a number of factors. A study on reliability of main components and equipment devices is an urgent task. Successful operation of printing equipment is possible only if there is a clear organization of preventive work, ensuring preparation of printing machines for printing and post-printing processing. High-performance equipment, such as die-cutting presses, should be regularly inspected, adjusted and maintained in such a way as to obtain standard results at the output. The paper has studied reliability of main components and devices of die-cutting presses based on calculation of failure probability. Calculations have been carried out by analogy with the calculation of the probability of events in the fault tree. Failure diagrams of devices and units of die-cutting presses have been built in the paper. Based on the analysis of the failure probability for main components and devices, graphs of residual life for equipment operation on its life cycle have been constructed in the paper.

Keywords: failure, failure probability, unit, device, failure tree, residual resource, diagram, life cycle

For citation: Kohnenko N. S., Karpunin I. I., Kuz'mich V. V. (2020) Study of Reliability for Main Components and Devices of Die-Cutting Presses for Packaging. *Science and Technique*. 19 (4), 320–328. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-4-320-328> (in Russian)

Введение

По сравнению с другим оборудованием длительного использования, таким как автотранспортная техника, сельскохозяйственные машины, металлообрабатывающие станки, полиграфические машины имеют свои специфические особенности, влияющие на организацию в типографии технического обслуживания (ТО) и проведение ремонта [1]. Это связано с тем, что полиграфическое оборудование в соответствии с особенностями технологического процесса при производстве упаковки может отличаться [2]:

- конструктивными особенностями;
- большой номенклатурой типов и моделей в каждом технологическом процессе;
- малым объемом выпуска отдельных видов и моделей;
- сложным составом;
- высокой точностью изготовления основных узлов и механизмов машин;
- нетранспортабельностью, вызывающей необходимость организации ТО и ремонта непосредственно на месте эксплуатации.

Исследование надежности основных узлов и устройств полиграфического оборудования – актуальная задача. Авторы статьи изучили на-

дежность основных узлов и устройств высекального оборудования на основе расчета вероятности отказов.

Автоматические высекальные машины (штанцагрегаты) – наиболее часто используемое оборудование для высокопроизводительной высеки картонного и гофрокартонного края при изготовлении упаковки (коробок, ящиков и др.) [3, 4]. Машины работают по принципу «плоской» высеки и позволяют в одном цикле из предварительно запечатанной прямоугольной заготовки получить на выходе высеченную по контуру и отбигованную картонную развертку, которую затем нужно только скрепить скобой, склеить либо защелкнуть на клапан (коробка с самоскладным дном), чтобы получить готовую продукцию – картонные коробки, используемые для упаковки.

Конфигурация высекального пресса (рис. 1.) зависит от конкретного назначения, но в общем случае в его состав входят [5]:

секция подачи. Существуют две разновидности: вакуумно-роликовая и вакуумная для работы с гофро- и микрогофрокартоном (верхние вакуумные захваты).

Выбор типа подачи происходит при заказе оборудования исходя из свойств используемых материалов и формата машины.

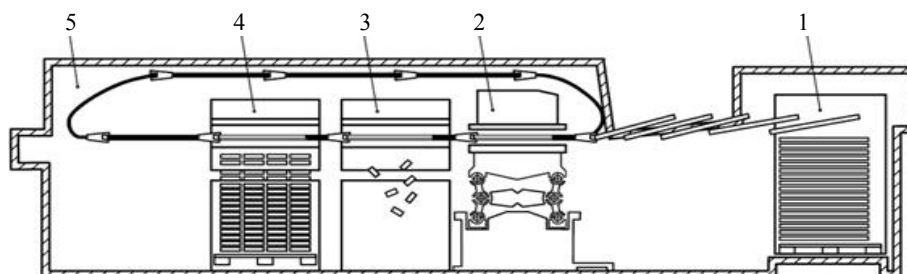


Рис. 1. Схема высекального автомата: 1 – самонаклад; 2 – секция высеки (штанцевальная); 3 – секция отделения облоя; 4 – секция разделения заготовок, приемное устройство; 5 – секция обрезки и удаления кромки захватов

Fig. 1. Die cutting machine scheme: 1 – feeder; 2 – die cutting (punching) section; 3 – waste-stripping section; 4 – blanks separation section, receiving device; 5 – section for trimming and edge removal of grippers

Данная секция управляет каждым отдельным листом и выравнивает его относительно штанцевальных инструментов с помощью механической или динамической приводки [6, 7];

секция высечки, основной узел, отвечающий за качество высечки и ресурс работы машины. Плосковысекальный пресс может дополнительно укомплектовываться устройством позиционирования и быстрой смены штанцеформ для экономии времени;

секция удаления облоя. Внутренние обрезки и иногда боковая и задняя кромки удаляются с использованием верхнего и центрального инструментов и в ряде случаев – нижними выталкивателями.

приемная секция;

периферийные устройства, такие как разделители и паллетизаторы.

Общая схема высекального пресса может выглядеть как упрощенное дерево отказов (рис. 2) [8].

В состав типовой системы могут входить устройство загрузки, самонаклад, несколько секций флексопечати с сушкой и контролем качества, секция плоской высечки, устройство для отделения отходов и разделитель/паллетизатор. Эту конфигурацию можно создать путем добавления нескольких секций флексопечати и периферийных устройств к центральному плосковысекальному прессу или посредством объединения автономной печатной машины с плосковысекальным прессом и добавления периферийных устройств. Во многих моделях высечка сочетается с горячим тиснением.

Основная часть

Для анализа надежности узлов и устройств высекальных прессов была собрана и отсортирована информация, зафиксированная в журналах регистрации отказов оборудования на полиграфических предприятиях. Эти данные на первом этапе обработки вводились в электронные таблицы Excel и отсортировывались по годам наблюдения и маркам высекальных машин. По каждому виду оборудования была установлена наработка на отказ, т. е. технический параметр, характеризующий надежность оборудования и отражающий продолжительность работы устройства между отказами. Для расчетов принимался экспоненциальный закон распределения, так как ранее исследования такого оборудования показали, что жизненный цикл высекальных прессов подчиняется данному распределению.

Расчеты устройств и узлов проводили по аналогии с расчетом вероятности событий по дереву отказов [8]. События в дереве отказов связаны со статистической вероятностью, иными словами, вероятность каждого события оценивается на практике. Нижними звеньями событий будем считать узлы высекальных прессов (рис. 2). По формулам для экспоненциального распределения рассчитаем средние значения вероятности каждого узла прессов, а затем по ним построим диаграмму вероятности отказов узлов, на которой наглядно отображается вклад каждого узла в простои машины. Данная диаграмма представлена на рис. 3, а вероятности отказов узлов – в табл. 1.



Рис. 2. Схема высекального пресса

Fig. 2. Die cutting press scheme

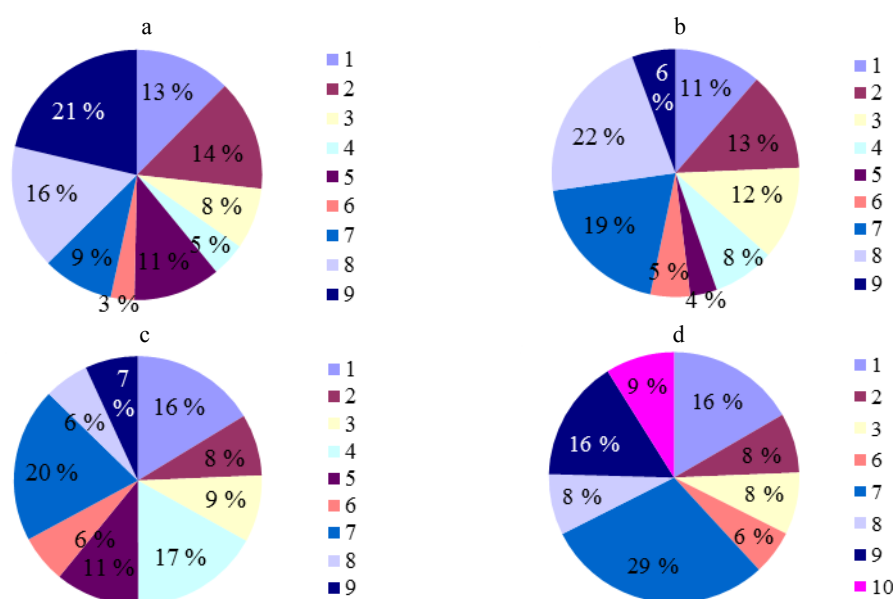


Рис. 3. Диаграмма отказов узлов высекальных прессов: а – BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER; б – BOBST SP 102-E II; в – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TYM 1050 S; 1 – самонаклад; 2 – стол равнения; 3 – секция высечки; 4 – секция удаления облоя; 5 – секция разделения заготовок; 6 – выклад (приемка); 7 – цепь с тоскалками; 8 – электрооборудование; 9 – компьютерное управление; 10 – блок нанесения фольги

Fig. 3. Failure diagram of die-cutting press units: а – BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER; б – BOBST SP 102-E II; в – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TYM 1050 S; 1 – feeder; 2 – splice table; 3 – die cutting section; 4 – flash removal section; 5 – blanks separation section; 6 – display (acceptance); 7 – longing chain; 8 – electrical equipment; 9 – computer control; 10 – foil coating unit

Таблица 1

Вероятность отказов для основных узлов высекальных прессов

Failure probability for main die-cutting press units

Год наблюдения	Самонаклад	Стол равнения	Секция высечки	Секция удаления облоя	Секция разделения заготовок	Выклад (приемка)	Цепь с тоскалками	Электрооборудование	Компьютерное управление	Блок нанесения фольги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER										
2013	$1,236 \cdot 10^{-2}$	$1,476 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1,411 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1,714 \cdot 10^{-2}$	$2,333 \cdot 10^{-2}$	–
2014	$5,280 \cdot 10^{-3}$	$5,460 \cdot 10^{-3}$	$3,550 \cdot 10^{-3}$	$1,645 \cdot 10^{-3}$	$3,600 \cdot 10^{-3}$	$2,549 \cdot 10^{-3}$	–	–	$1,619 \cdot 10^{-2}$	–
2015	$3,270 \cdot 10^{-3}$	$8,500 \cdot 10^{-3}$	–	–	$2,760 \cdot 10^{-3}$	–	–	$5,051 \cdot 10^{-3}$	$5,515 \cdot 10^{-3}$	–
2016	$5,480 \cdot 10^{-3}$	$6,590 \cdot 10^{-3}$	$2,750 \cdot 10^{-3}$	–	$3,760 \cdot 10^{-3}$	$1,157 \cdot 10^{-3}$	$3,891 \cdot 10^{-3}$	$8,811 \cdot 10^{-3}$	$1,359 \cdot 10^{-2}$	–
2017	$1,100 \cdot 10^{-2}$	$8,020 \cdot 10^{-3}$	$8,050 \cdot 10^{-3}$	$3,656 \cdot 10^{-3}$	$9,690 \cdot 10^{-3}$	–	$7,233 \cdot 10^{-3}$	$8,000 \cdot 10^{-3}$	$5,964 \cdot 10^{-3}$	–
BOBST SP 102-E II										
2010	$2,139 \cdot 10^{-2}$	$7,801 \cdot 10^{-2}$	$3,077 \cdot 10^{-2}$	$1,676 \cdot 10^{-2}$	–	–	$5,714 \cdot 10^{-2}$	$5,517 \cdot 10^{-2}$	–	–
2011	$2,028 \cdot 10^{-2}$	$4,076 \cdot 10^{-2}$	$4,645 \cdot 10^{-2}$	$8,316 \cdot 10^{-3}$	–	$1,082 \cdot 10^{-2}$	$6,473 \cdot 10^{-2}$	$2,015 \cdot 10^{-2}$	$1,302 \cdot 10^{-2}$	–
2012	$2,151 \cdot 10^{-2}$	$2,145 \cdot 10^{-2}$	$2,835 \cdot 10^{-2}$	$1,238 \cdot 10^{-2}$	$1,093 \cdot 10^{-2}$	$1,587 \cdot 10^{-2}$	$4,432 \cdot 10^{-2}$	$7,065 \cdot 10^{-2}$	$1,741 \cdot 10^{-2}$	–
2013	$2,486 \cdot 10^{-2}$	$1,571 \cdot 10^{-2}$	$4,587 \cdot 10^{-3}$	$9,281 \cdot 10^{-3}$	$6,928 \cdot 10^{-3}$	$1,879 \cdot 10^{-2}$	$2,426 \cdot 10^{-2}$	$4,021 \cdot 10^{-2}$	$9,368 \cdot 10^{-3}$	–
2014	$2,190 \cdot 10^{-2}$	$7,229 \cdot 10^{-3}$	$4,280 \cdot 10^{-3}$	$1,542 \cdot 10^{-2}$	$1,020 \cdot 10^{-2}$	$1,214 \cdot 10^{-2}$	$2,584 \cdot 10^{-2}$	$2,825 \cdot 10^{-2}$	$7,712 \cdot 10^{-3}$	–
2015	$1,405 \cdot 10^{-2}$	$5,703 \cdot 10^{-3}$	$6,849 \cdot 10^{-3}$	$1,681 \cdot 10^{-2}$	$3,623 \cdot 10^{-3}$	$3,226 \cdot 10^{-3}$	$1,383 \cdot 10^{-2}$	$3,518 \cdot 10^{-2}$	–	–
2016	$2,890 \cdot 10^{-2}$	$1,146 \cdot 10^{-2}$	$1,143 \cdot 10^{-2}$	$2,488 \cdot 10^{-2}$	–	$4,076 \cdot 10^{-3}$	$1,575 \cdot 10^{-2}$	$2,273 \cdot 10^{-2}$	$4,071 \cdot 10^{-3}$	–
2017	$1,902 \cdot 10^{-2}$	$1,471 \cdot 10^{-2}$	$9,980 \cdot 10^{-3}$	$1,781 \cdot 10^{-2}$	$1,541 \cdot 10^{-3}$	$3,322 \cdot 10^{-3}$	$6,785 \cdot 10^{-2}$	$5,351 \cdot 10^{-2}$	$1,276 \cdot 10^{-2}$	–
YAWA MW 1050 YC										
2010	$9,836 \cdot 10^{-2}$	$1,754 \cdot 10^{-2}$	$10,092 \cdot 10^{-2}$	$9,516 \cdot 10^{-2}$	$3,810 \cdot 10^{-2}$	–	$5,435 \cdot 10^{-2}$	–	$4,286 \cdot 10^{-2}$	–
2011	$1,639 \cdot 10^{-2}$	$2,439 \cdot 10^{-2}$	$1,791 \cdot 10^{-2}$	$2,486 \cdot 10^{-2}$	$7,418 \cdot 10^{-2}$	$2,273 \cdot 10^{-2}$	$2,579 \cdot 10^{-2}$	$2,376 \cdot 10^{-2}$	$2,427 \cdot 10^{-2}$	–
2012	$7,960 \cdot 10^{-2}$	$8,753 \cdot 10^{-2}$	$2,421 \cdot 10^{-2}$	$9,064 \cdot 10^{-2}$	$10,204 \cdot 10^{-2}$	$3,226 \cdot 10^{-2}$	$7,495 \cdot 10^{-2}$	$5,231 \cdot 10^{-2}$	$5,114 \cdot 10^{-2}$	–
2013	$4,412 \cdot 10^{-2}$	$1,130 \cdot 10^{-2}$	$3,101 \cdot 10^{-2}$	$6,061 \cdot 10^{-3}$	$1,702 \cdot 10^{-2}$	$6,397 \cdot 10^{-3}$	$7,435 \cdot 10^{-2}$	$7,905 \cdot 10^{-3}$	$1,061 \cdot 10^{-2}$	–
2014	$3,628 \cdot 10^{-2}$	$1,327 \cdot 10^{-2}$	$6,593 \cdot 10^{-3}$	–	$1,186 \cdot 10^{-3}$	$9,174 \cdot 10^{-3}$	$2,539 \cdot 10^{-2}$	$4,992 \cdot 10^{-3}$	–	–
2015	$3,838 \cdot 10^{-2}$	$1,386 \cdot 10^{-2}$	$1,047 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1,770 \cdot 10^{-2}$	$3,486 \cdot 10^{-2}$	–	$4,060 \cdot 10^{-3}$	–
2016	$4,986 \cdot 10^{-2}$	$8,715 \cdot 10^{-3}$	–	–	$2,242 \cdot 10^{-3}$	$2,116 \cdot 10^{-2}$	$3,234 \cdot 10^{-2}$	$5,038 \cdot 10^{-3}$	$1,126 \cdot 10^{-2}$	–
2017	$6,539 \cdot 10^{-2}$	$3,374 \cdot 10^{-2}$	$4,171 \cdot 10^{-3}$	–	$1,695 \cdot 10^{-2}$	$3,404 \cdot 10^{-2}$	$18,588 \cdot 10^{-2}$	$2,110 \cdot 10^{-2}$	$1,389 \cdot 10^{-2}$	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
YAWA TUM 1050 S										
2010	–	$1,307 \cdot 10^{-2}$	–	–	–	–	–	–	$4,082 \cdot 10^{-2}$	–
2011	$1,182 \cdot 10^{-2}$	$9,434 \cdot 10^{-3}$	$2,597 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1,818 \cdot 10^{-2}$	$6,266 \cdot 10^{-2}$	$2,486 \cdot 10^{-2}$	$5,570 \cdot 10^{-2}$	$1,724 \cdot 10^{-2}$
2012	$8,460 \cdot 10^{-3}$	$2,732 \cdot 10^{-3}$	$1,795 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1,969 \cdot 10^{-3}$	$12,105 \cdot 10^{-2}$	$1,630 \cdot 10^{-2}$	$2,155 \cdot 10^{-2}$	$2,179 \cdot 10^{-2}$
2013	$3,968 \cdot 10^{-2}$	$9,828 \cdot 10^{-3}$	$1,026 \cdot 10^{-2}$	–	–	$2,235 \cdot 10^{-2}$	$7,062 \cdot 10^{-2}$	$1,114 \cdot 10^{-2}$	$1,437 \cdot 10^{-2}$	$1,859 \cdot 10^{-2}$
2014	$2,604 \cdot 10^{-2}$	–	–	–	–	$5,319 \cdot 10^{-3}$	$7,817 \cdot 10^{-2}$	$1,818 \cdot 10^{-2}$	$1,966 \cdot 10^{-2}$	$1,099 \cdot 10^{-2}$
2015	$3,974 \cdot 10^{-2}$	$9,485 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	$3,945 \cdot 10^{-3}$	$4,523 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1,132 \cdot 10^{-2}$
2016	$2,455 \cdot 10^{-2}$	$2,985 \cdot 10^{-2}$	$1,021 \cdot 10^{-3}$	–	–	$5,479 \cdot 10^{-3}$	$4,432 \cdot 10^{-2}$	$1,783 \cdot 10^{-3}$	$1,205 \cdot 10^{-2}$	$1,583 \cdot 10^{-2}$
2017	$4,262 \cdot 10^{-2}$	$1,509 \cdot 10^{-2}$	$1,117 \cdot 10^{-2}$	–	–	–	$3,987 \cdot 10^{-2}$	$5,900 \cdot 10^{-3}$	$1,754 \cdot 10^{-2}$	$7,407 \cdot 10^{-3}$

Как видно из рис. 3, максимальное количество отказов наблюдается у цепи с тоскалками, на самонакладе и столе равнения. Это говорит о том, что минимальной надежностью у высекальных прессов обладает устройство ввода.

Секция выкладки (приемки) обладает максимальной надежностью по сравнению со всеми узлами высекальных машин, отказы данной категории не превышают 6 %.

Как и в печатных машинах, большую роль в управлении играют компьютерные (датчики) и электрические устройства [9]. Кроме того, датчики играют огромную роль в секции высеки, так как отвечают за давление, температуру, точность штанцевального процесса. Вероятность данных причин отказов представлена на рис. 4.

Как видно из рис. 4, самое большое количество отказов управления наблюдается у самонаклада и приемного устройства. Часто срабатывают датчики равнения листа, довода листа до боковых упоров, заполнения приемного лотка и т. д. В прессе YAWA TUM 1050 S максимальная вероятность отказов наблюдается в блоке тиснения фольгой, т. е. штанцевальном модуле. Минимальное количество отказов у цепи с тоскалками, штанцевальной секции и секции удаления облоя.

Таким образом, по аналогии с печатными машинами, проанализировав все основные узлы устройств высекальной машины, можно найти вероятность отказов основных устройств печатных прессов и построить диаграмму надежности.

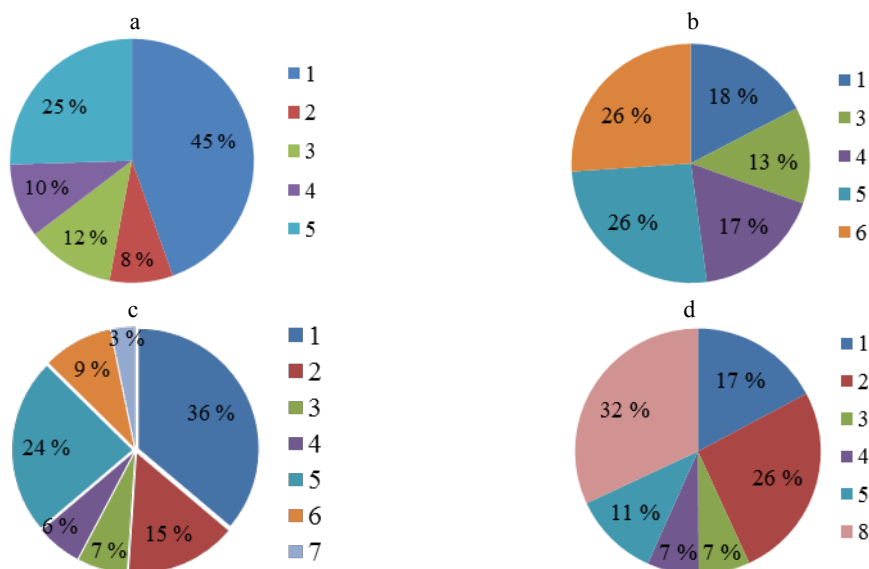


Рис. 4. Диаграмма отказов компьютерного управления высекальных прессов:

а – BOBST EXPERTCUT 106 аграрпр LER; б – BOBST SP 102-E II; в – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TUM 1050 S; 1 – самонаклад; 2 – стол равнения; 3 – цепь с тоскалками; 4 – штанцевальная секция; 5 – приемное устройство (выклад); 6 – секция разделения заготовок; 7 – секция удаления облоя; 8 – блок нанесения фольги

Fig. 4. Computer control failures diagram of die-cutting presses:

а – BOBST EXPERTCUT 106 аграрпр LER; б – BOBST SP 102-E II; в – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TUM 1050 S; 1 – feeder; 2 – splice table; 3 – longing chain; 4 – punching section; 5 – receiving device (display); 6 – blanks separation section; 7 – flash removal section; 8 – foil coating unit

Расчетные формулы для основных устройств выглядят следующим образом (связь «ИЛИ» [8]):

1) устройство ввода материала

$$P_{C1} = 1 - (1 - P_{C11})(1 - P_{C12})(1 - P_{C13}), \quad (1)$$

где P_{C11} , P_{C12} , P_{C13} – вероятность отказа само-наклада, стола равнения и цепи с тоскалками соответственно;

2) устройство высечки

$$P_{C2} = 1 - (1 - P_{C21})(1 - P_{C22})(1 - P_{C23}), \quad (2)$$

где P_{C21} , P_{C22} , P_{C23} – вероятность отказа штанцевания, тиснения фольгой и дополнительных устройств соответственно;

3) приемное устройство

$$P_{C3} = 1 - (1 - P_{C31})(1 - P_{C32})(1 - P_{C33})(1 - P_{C34}), \quad (3)$$

где P_{C31} , P_{C32} , P_{C33} , P_{C34} – вероятность отказа выкладки, разделения заготовок, приемно-выводного устройства и дополнительных устройств соответственно;

4) устройство ввода материала

$$P_{C4} = 1 - (1 - P_{C41})(1 - P_{C42}), \quad (4)$$

где P_{C41} , P_{C42} – вероятность отказа компьютерных сбоев и электрооборудования соответственно.

Вероятность отказов узла и устройства удаления облоя равноценна, так как в данном случае узел является устройством.

В табл. 2 представлена вероятность отказов основных устройств высекальных машин, а на рис. 5 – процентная вероятность отказов.

Согласно рис. 5, самая большая вероятность отказов наблюдается у устройства ввода материалов на высеку – почти 50 %. У высекальных машин BOBST второе место по отказам занимает причина управления прессами, в то время как у автоматов YAWA нет явного устройства, занимающего второе место. Все остальные устройства отказывают приблизительно с одинаково равной вероятностью, которая колеблется в пределах 5–23 %.

Таблица 2

Вероятность отказов для основных устройств печатных машин
Failure probability for main devices of printing machines

Год наблюдения	Устройство ввода материала	Устройство высечки	Устройство удаления облоя	Приемное устройство	Управление высекальной машиной
BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER					
2013	$2,694 \cdot 10^{-2}$	–	–	$1,411 \cdot 10^{-2}$	$0,040 \cdot 10^{-2}$
2014	$1,071 \cdot 10^{-2}$	$3,550 \cdot 10^{-3}$	$1,646 \cdot 10^{-3}$	$6,140 \cdot 10^{-3}$	$1,606 \cdot 10^{-2}$
2015	$1,174 \cdot 10^{-2}$	–	–	$2,756 \cdot 10^{-3}$	$1,051 \cdot 10^{-2}$
2016	$1,587 \cdot 10^{-2}$	$2,751 \cdot 10^{-3}$	–	$4,912 \cdot 10^{-3}$	$2,215 \cdot 10^{-2}$
2017	$2,560 \cdot 10^{-2}$	$8,048 \cdot 10^{-3}$	$3,656 \cdot 10^{-3}$	$9,693 \cdot 10^{-3}$	$1,387 \cdot 10^{-2}$
BOBST SP 102-E II					
2010	$14,490 \cdot 10^{-2}$	$0,030 \cdot 10^{-2}$	$0,017 \cdot 10^{-2}$	–	$0,054 \cdot 10^{-2}$
2011	$11,818 \cdot 10^{-2}$	$4,539 \cdot 10^{-2}$	$8,282 \cdot 10^{-3}$	$1,076 \cdot 10^{-2}$	$3,263 \cdot 10^{-2}$
2012	$8,358 \cdot 10^{-2}$	$2,795 \cdot 10^{-2}$	$1,230 \cdot 10^{-2}$	$2,644 \cdot 10^{-2}$	$8,430 \cdot 10^{-2}$
2013	$6,277 \cdot 10^{-2}$	$4,576 \cdot 10^{-3}$	$9,238 \cdot 10^{-3}$	$2,539 \cdot 10^{-2}$	$4,837 \cdot 10^{-2}$
2014	$5,349 \cdot 10^{-2}$	$4,271 \cdot 10^{-3}$	$1,530 \cdot 10^{-2}$	$2,209 \cdot 10^{-2}$	$3,532 \cdot 10^{-2}$
2015	$3,303 \cdot 10^{-2}$	$6,826 \cdot 10^{-3}$	$1,667 \cdot 10^{-2}$	$6,826 \cdot 10^{-3}$	$3,457 \cdot 10^{-2}$
2016	$5,457 \cdot 10^{-2}$	$1,137 \cdot 10^{-2}$	$2,457 \cdot 10^{-2}$	$4,068 \cdot 10^{-3}$	$2,645 \cdot 10^{-2}$
2017	$9,659 \cdot 10^{-2}$	$9,930 \cdot 10^{-3}$	$1,765 \cdot 10^{-2}$	$4,851 \cdot 10^{-3}$	$6,412 \cdot 10^{-2}$
YAWA MW 1050 YC					
2010	$15,655 \cdot 10^{-2}$	$10,092 \cdot 10^{-2}$	$9,516 \cdot 10^{-2}$	$3,738 \cdot 10^{-2}$	$4,195 \cdot 10^{-2}$
2011	$6,440 \cdot 10^{-2}$	$1,775 \cdot 10^{-2}$	$2,455 \cdot 10^{-2}$	$9,236 \cdot 10^{-2}$	$4,690 \cdot 10^{-2}$
2012	$21,501 \cdot 10^{-2}$	$2,392 \cdot 10^{-2}$	$8,665 \cdot 10^{-2}$	$12,567 \cdot 10^{-2}$	$9,828 \cdot 10^{-2}$
2013	$12,170 \cdot 10^{-2}$	$3,053 \cdot 10^{-2}$	$6,043 \cdot 10^{-3}$	$2,315 \cdot 10^{-2}$	$1,835 \cdot 10^{-2}$
2014	$7,220 \cdot 10^{-2}$	$6,571 \cdot 10^{-3}$	–	$1,031 \cdot 10^{-2}$	$4,980 \cdot 10^{-3}$
2015	$8,342 \cdot 10^{-2}$	$1,042 \cdot 10^{-2}$	–	$1,754 \cdot 10^{-2}$	$4,052 \cdot 10^{-3}$
2016	$8,691 \cdot 10^{-2}$	–	–	$2,313 \cdot 10^{-2}$	$1,617 \cdot 10^{-2}$
2017	$26,288 \cdot 10^{-2}$	4,162	–	$4,971 \cdot 10^{-2}$	$3,439 \cdot 10^{-2}$
YAWA TYM 1050 S					
2010	$1,299 \cdot 10^{-2}$	–	–	–	$4,000 \cdot 10^{-2}$
2011	$8,049 \cdot 10^{-2}$	$4,229 \cdot 10^{-2}$	–	$1,802 \cdot 10^{-2}$	$7,740 \cdot 10^{-2}$
2012	$13,084 \cdot 10^{-2}$	$3,896 \cdot 10^{-2}$	–	$1,967 \cdot 10^{-3}$	$3,714 \cdot 10^{-2}$
2013	$11,319 \cdot 10^{-2}$	$2,843 \cdot 10^{-2}$	–	$2,210 \cdot 10^{-2}$	$2,519 \cdot 10^{-2}$
2014	$9,896 \cdot 10^{-2}$	$1,093 \cdot 10^{-2}$	–	$5,305 \cdot 10^{-3}$	$3,713 \cdot 10^{-2}$
2015	$9,013 \cdot 10^{-2}$	$1,126 \cdot 10^{-2}$	–	$3,937 \cdot 10^{-3}$	–
2016	$9,400 \cdot 10^{-2}$	$1,671 \cdot 10^{-2}$	–	$5,464 \cdot 10^{-3}$	$1,374 \cdot 10^{-2}$
2017	$9,297 \cdot 10^{-2}$	$1,841 \cdot 10^{-2}$	–	–	$2,317 \cdot 10^{-2}$

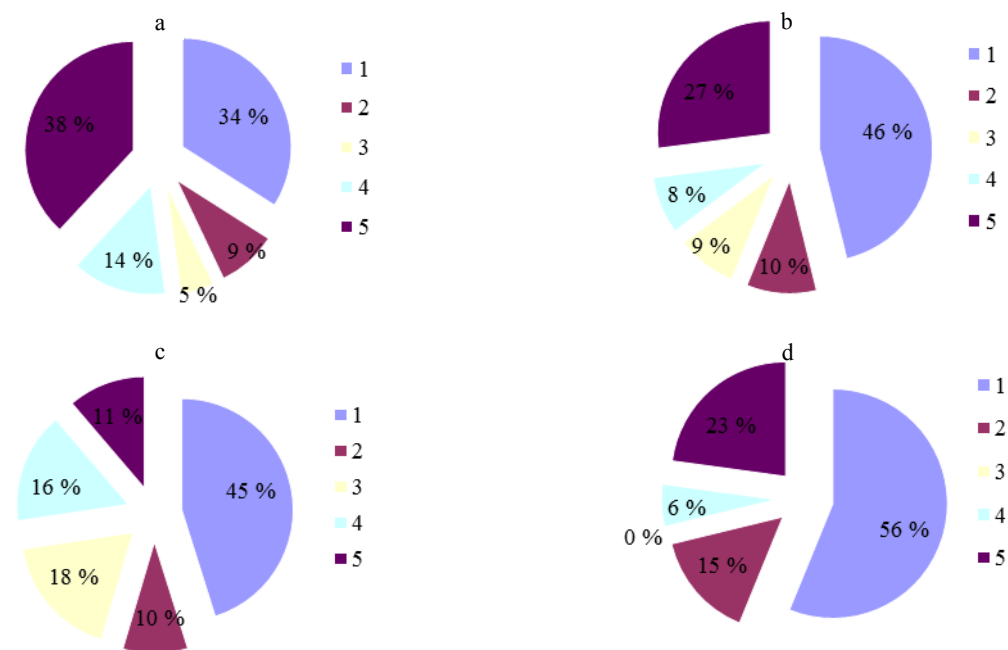


Рис. 5. Диаграмма отказов основных устройств высекальных прессов: а – BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER; б – BOBST SP 102-E II; с – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TYM 1050 S; 1 – устройство ввода материала; 2 – устройство высечки; 3 – устройство удаления облоя; 4 – приемное устройство; 5 – управление высекальной машиной

Fig. 5. Failure diagram of main devices for die-cutting presses: а – BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER; б – BOBST SP 102-E II; с – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TYM 1050 S; 1 – material input device; 2 – die-cutting device; 3 – flash removal device; 4 – receiving device; 5 – die-cutting machine control

Также на рис. 5 можно заметить, что модели YAWA MW 1050 YC и YAWA TYM 1050 S отличаются по конструкции, у последней есть блок нанесения фольги, но при этом отсутствует устройство удаления облоя.

Сравним найденные головные значения вероятности со значениями вероятности отказов, найденными по законам распределения [10, 11]. Вероятности отказов высекальных прессов сведены в табл. 3. Расчет осуществляли по следующей формуле:

$$P_{C0} = 1 - (1 - P_{C1})(1 - P_{C2})(1 - P_{C3})(1 - P_{C4})(1 - P_{C5}), \quad (5)$$

где $P_{C1}, P_{C2}, P_{C3}, P_{C4}, P_{C5}$ – вероятность отказа секций ввода материала и высечки, приемного устройства, управления и секции отделения облоя соответственно.

Если сравнить вероятности в табл. 3, то самая заметная разница в вычислении показателей наблюдается у высекального пресса BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER (70 %), причем самое большое различие вероятностей в 2017 г. У остального высекального оборудования разница составляет 12–30 %.

При сравнении физического и нормативного сроков эксплуатации выявлено, что физический срок эксплуатации машин BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER и BOBST SP 102-E II составляет 25 лет, YAWA MW 1050 YC – 20 лет, а YAWA TYM 1050 S – 21 год.

Таблица 3

Вероятности отказов высекальных прессов
Failure probability of die-cutting presses

Год наблюдения	Вероятность по дереву/ Вероятность по законам распределения							
	BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER		BOBST SP 102-E II		YAWA MW 1050 YC		YAWA TYM 1050 S	
2010	–	–	0,228	0,296	0,367	0,344	0,053	0,121
2011	–	–	0,201	0,251	0,225	0,285	0,202	0,223
2012	–	–	0,216	0,288	0,448	0,513	0,197	0,239
2013	0,079	0,136	0,143	0,213	0,188	0,196	0,179	0,230
2014	0,039	0,050	0,125	0,174	0,092	0,162	0,147	0,166
2015	0,025	0,049	0,095	0,146	0,113	0,161	0,104	0,138
2016	0,045	0,111	0,116	0,165	0,122	0,141	0,126	0,172
2017	0,060	0,198	0,182	0,301	0,326	0,371	0,130	0,189

Основные устройства высекальных машин имеют другие сроки физической эксплуатации (рис. 6) [12].

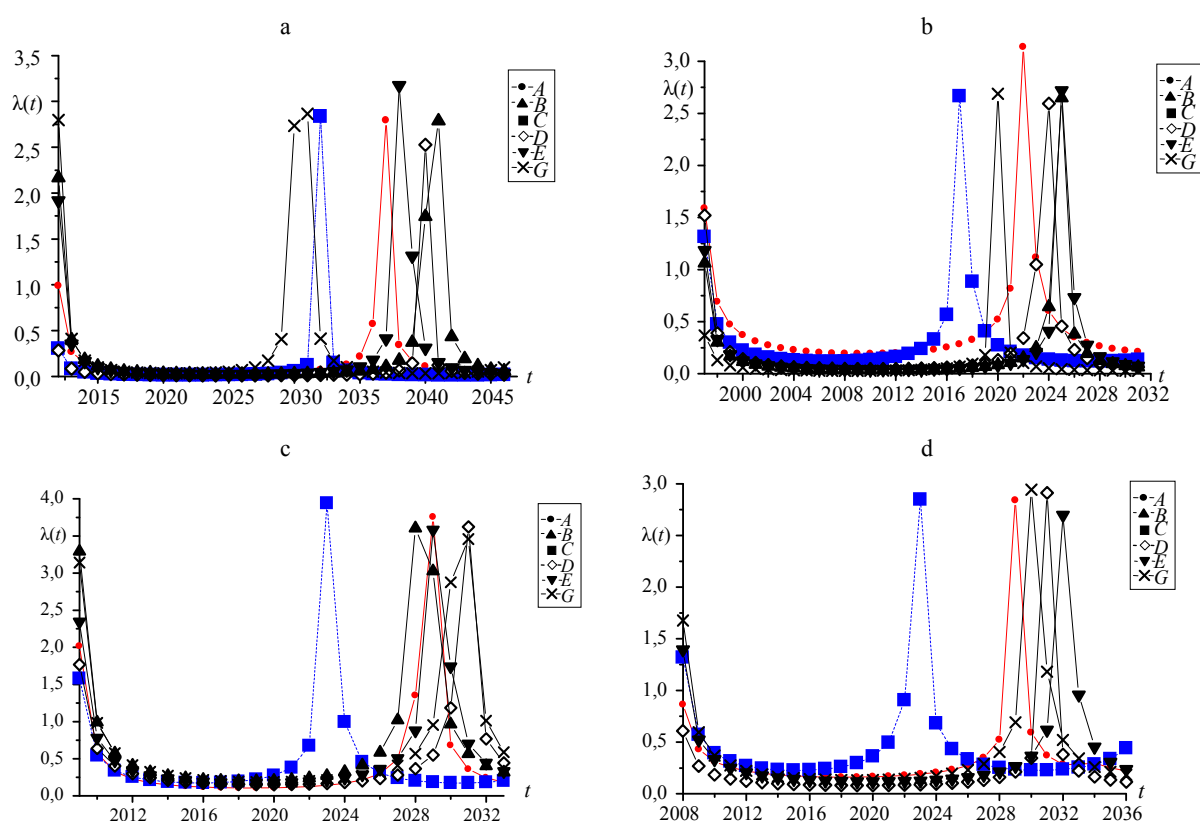


Рис. 6. Функции интенсивности отказов: а – BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER; б – BOBST SP 102-E II; в – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TYM 1050 S; А – машины; В – устройство удаления облоя; С – устройство ввода материала; D – устройство высечки; E – приемное устройство; G – управление высекальной машиной

Fig. 6. Failure rate functions: а – BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER; б – BOBST SP 102-E II; в – YAWA MW 1050 YC; д – YAWA TYM 1050 S; А – cars; В – flash remover; С – material input device; D – die-cutting device; E – receiving device; G – die-cutting machine control

Из рис. 6 видно, что самый малый физический срок эксплуатации наблюдается у устройства ввода, и только у высекального прессы BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER данный срок еще меньше для управления высекальной машиной. В свою очередь, устройства штанцевания, удаления облоя, вывода материалов имеют более продолжительный срок эксплуатации, чем сами высекальные машины.

Устройство ввода BOBST EXPERTCUT 106 apraprapr LER имеет меньший физический срок эксплуатации, чем у всей машины, на 5 лет, а управление машиной – меньше на 6 лет. Устройство ввода у BOBST SP 102-E II выйдет из эксплуатации раньше на 5 лет, у YAWA MW 1050 YC – на 7 лет, у YAWA TYM 1050 S – на 6 лет. Остальные же устройства высекальных прессы имеют надежность выше на 1–4 года, чем надежность всей машины. Таким образом, минимальной надежностью обладает устройство ввода высекальных прессы.

ВЫВОДЫ

1. Из анализа исследований надежности основных узлов высекальных прессы (BOBST и YAWA) следует, что самая большая вероятность отказов наблюдается у устройства ввода материалов на высечку ($\approx 50\%$). У высекальных машин BOBST второе место по отказам занимает причина управления прессами, в то время как у автоматов YAWA нет явного устройства, занимающего второе место. Все остальные устройства отказывают приблизительно с одинаковой вероятностью, которая колеблется в пределах 5–23%. Если снизить отказы ввода материала в высекальный пресс, то машины могут продлить свой срок службы на 5–7 лет.

2. По итогам наблюдения за основными устройствами и узлами полиграфического оборудования можно отметить, что надежность машины сильно зависит от надежности одной детали или одного сопряжения деталей с наименьшим сроком работы. Неточный ремонт одного из

основных устройств снижает надежность машины, и наоборот, точная и четкая работа узлов увеличивает надежность и работоспособность агрегата.

3. Наличие огромного парка полиграфического оборудования требует высококвалифицированного сервисного обслуживания для установки, технического обслуживания, ремонта и контроля над техническим состоянием машин и устройств. Своевременная диагностика, качественный ремонт, правильные условия эксплуатации машины приведут к более продолжительному сроку службы полиграфического оборудования и улучшат качественные показатели получаемой упаковки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Организация полиграфического производства / Г. В. Миронова [и др.]. М.: МГУП имени Ивана Федорова, 2011. 344 с.
2. Техническое обслуживание [Электронный ресурс] // Моя библиотека. Режим доступа: <https://mybiblioteka.su/3-12600.html>. Дата доступа: 14.04.2018.
3. Вирченко, А. И. Брошюровочно-переплетное оборудование / А. И. Вирченко, А. А. Сивогорлый. Минск: БГТУ, 2003. 216 с.
4. Бобров, В. И. Технология и оборудование отделочных процессов / В. И. Бобров, Л. Ю. Сенаторов. М.: МГУП имени Ивана Федорова, 2008. 434 с.
5. Машины для вырубki и тиснения [Электронный ресурс] // Полиграфическая библиотека Марселя Шарифуллина. Режим доступа: <http://www.marsel.ru/articles/yawa.html>. Дата доступа: 07.04.2018.
6. Автоматические высекальные машины. Типовое построение [Электронный ресурс] // POST-PRESS.NET. Режим доступа: <http://post-press.net/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%81%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D1%8B>. Дата доступа: 07.04.2018.
7. Печать и отделка в линию [Электронный ресурс] // BOBST. Режим доступа: <https://www.bobst.com/amru/#.W8Muzrg3i98>. Дата доступа: 10.04.2018.
8. Голуб, Н. С. Построение деревьев отказов печатной технологии / Н. С. Голуб, В. В. Кузьмич // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2018. № 1. С. 61–66.
9. Голуб, Н. С. Надежность основных узлов печатных машин Roland / Н. С. Голуб // Научные стремления. 2018. № 23. С. 64–68.
10. Теоретическая оценка надежности печатного оборудования на стадиях его жизненного цикла / М. И. Кулак [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 4. Принт- и медиатехнологии. 2013. № 9. С. 27–32.

11. Голуб, Н. С. Надежность кондитерского упаковочного оборудования / Н. С. Голуб, М. И. Кулак // Труды БГТУ. Сер. 4. Принт- и медиатехнологии. 2014. № 9. С. 36–40.
12. Голуб, Н. С. Model of Failure of Printing and Packaging Equipment at the Stage of Decommissioning / Н. С. Голуб // Технология і техніка друкарства. 2018. Т. 59, № 1. С. 61–66.

Поступила 21.11.2018

Подписана в печать 12.02.2019

Опубликована онлайн 30.07.2020

REFERENCES

1. Mironova G. V., Ershov A. K., Osipova G. I., Speranskaya N. M. (2011) *Organization of Printing Production*. Moscow, Moscow State University of Printing Arts of Ivan Fedorov. 344 (in Russian).
2. Maintenance. *My Library*. Available at: <https://mybiblioteka.su/3-12600.html>. (Accessed 14 April 2018) (in Russian).
3. Virchenko A. I., Sivogorly A. A. (2003) *Bookbinding Equipment*. Minsk, Belarusian State Technological University. 216 (in Russian).
4. Bobrov V. I., Senatorov L. Yu. (2008) *Technology and Equipment of Finishing Processes*. Moscow, Moscow State University of Printing Arts of Ivan Fedorov. 434 (in Russian).
5. Machines for Cutting and Stamping. *Printing Library of Marcel Sharifullin*. Available at: <http://www.marsel.ru/articles/yawa.html>. (Accessed 7 April 2018) (in Russian).
6. Automatic Cutting Machines. Typical Construction. *POST-PRESS.NET*. Available at: [https://post-press.net/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%81%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D1%8B](http://post-press.net/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%81%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D1%8B). (Accessed 7 April 2018) (in Russian).
7. Printing and Finishing in Line. *BOBST*. Available at: <https://www.bobst.com/amru/#.W8Muzrg3i98>. (Accessed 10 April 2018) (in Russian).
8. Golub N. S., Kuzmich V. V. (2018) Building Failure Trees of Printed Technology. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta Tekhnologii i Dizaina. Seriya 1: Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki* [Bulletin of Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Series 1. Natural and Technical Sciences], (1), 61–66 (in Russian).
9. Golub N. S. (2018) Reliability of Main Components of “Roland” Printing Machines. *Nauchnye Stremleniya = Scientific Aspirations*, (23), 64–68 (in Russian).
10. Kulak M. I., Trusevich N. E., Sakulevich T. A., Kharitonchik I. V. (2013) Theoretical Assessment of Reliability of Printing Equipment at Stages of its Life Cycle. *Trudy BGTU. Ser. 4. Print- i Mediatekhnologii = Proceedings of BSTU. Series 4. Print- and Media Technologies*, (9), 27–32 (in Russian).
11. Golub N. S., Kulak M. I. (2014) Reliability of Pastry Packaging Equipment. *Trudy BGTU. Ser. 4. Print- i Mediatekhnologii = Proceedings of BSTU. Series 4. Print- and Media Technologies*, (9), 36–40 (in Russian).
12. Golub N. S. (2018) Model of Failure of Printing and Packaging Equipment at the Stage of Decommissioning. *Tekhnologii i Tekhnika Drukarstva = Technology and Technique of Typography*, 59 (1), 61–66 (in Russian).

Received: 21.11.2018

Accepted: 12.02.2019

Published online: 30.07.2020