

В.А. Залого, д-р техн. наук, В.М. Нагорный, канд. техн. наук,  
К.А. Дядюра, канд. техн. наук, А.В. Ткаченко, О.А. Залого, Сумы, Украина,

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ БУМАГОРЕЗАЛЬНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБОРУДОВАНИЯ

*У даній статті розглядаються питання діагностування паперорізального обладнання на основі контролю параметрів віброакустичного сигналу, що генерується процесом різання поліграфічних матеріалів. Проблема полягає в створенні методів і засобів діагностування технічного стану комплексу різання поліграфічних матеріалів «процес-обладнання-інструмент», орієнтованих на безперервний інформаційний супровід впродовж всього життєвого циклу, починаючи від зародження ідеї і формування технічного завдання і до утилізації. Запропонована методика дозволить перейти від календарно-планової технології обслуговування машин до технології обслуговування їх по фактичному стану ріжучого інструменту.*

*In this article the questions of diagnosing of paper-cutting equipment are examined on the basis of control of parameters of vibroacoustic signal, cutting of polydiene materials generated a process. A problem consists in creation of methods and facilities of diagnosing of the technical state of complex of cutting of polydiene materials «process-equipment-instrument», oriented to continuous informative accompaniment during all of life cycle, beginning from an origin ideas and formings of requirement specification and to utilization. The offered method will allow to pass from the calendar-planned technology of maintenance of machines to technology of service them on the actual state of toolpiece.*

**Введение.** Анализ перспектив развития полиграфического производства показывает, что возрастающие требования к точности и качеству выпускаемой продукции, в свою очередь, определяют совершенствование технологий. В настоящее время все более широкое применение находит дорогостоящее автоматизированное бумагорезальное оборудование с микропроцессорным управлением.

Расширение круга задач, решаемых полиграфическими предприятиями, повышает требования к массогабаритным показателям и показателям надежности и качества современных бумагорезальных машин.

Одним из важнейших обобщающих свойств, по которому оценивается целесообразность применения того или иного оборудования, является его надежность.

Надежность зависит от сочетания свойств: безотказности (свойство бумагорезальных машин выполнять требуемую функцию при заданных условиях в течение заданного интервала времени), долговечности (свойство бумагорезальных машин сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта), ремонтпригодности (приспособленность к быстрому, удобному проведению ремонта) и сохраняемости (свойство бумагорезальных машин непрерывно сохранять (в заданных пределах) значения установленных для них показателей качества во время и после хранения и при транспортировке). Надежность закладывается на этапе проектирования и изготовления оборудования и поддерживается на заданном уровне в процессе его эксплуатации.

Вероятность безотказной работы технологической системы принято оценивать как вероятность безотказной работы ее элементов [1]

$$P(t) = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

где  $n$  – количество структурных элементов технологической системы.

Ремонтпригодность определяется временем восстановления [2]:

$$T_B = T_H + T_Y \quad (2)$$

где  $T_B$  – время восстановления технологического оборудования;  $T_H$  – время поиска дефекта;  $T_Y$  – время устранения дефекта.

Время восстановления играет важную роль в обеспечении коэффициента готовности  $K_G$ , который регламентируется техническим заданием на оборудование

$$K_G = \frac{T_H}{T_H + T_B} \quad (3)$$

где  $T_H$  – время наработки между отказами.

Время устранения дефекта  $T_Y$  для выбранного конструктивного исполнения может быть определено заранее и приниматься за постоянную величину.

$$T_Y = const$$

Как правило  $T_B \gg T_Y$ , при этом  $K_G \approx 1$ .

**Постановка задачи.** Традиционный подход к обеспечению требуемого срока службы (т.е. предельного времени от начала потребления и эксплуатации, в течение которого он функционирует с требуемой эффективностью, включая время работы по прямому назначению) в жизненном цикле изделия базируется в основном на статистическом представлении указанного периода. Однако, современные условия, характеризующиеся высокой степенью динамичности, делают такой подход не всегда обоснованным. Известно, что индивидуальное техническое состояние изделия формируется, главным образом, в процессе его изготовления. Вместе с тем, в процессе эксплуатации это техническое состояние находится под воздействием как факторов, направленных на его изменение, так и факторов, направленных на его восстановление. Совокупность этих воздействий, а также форм и методов их реализации

представляют одно из важнейших направлений в исследовании эффективного управления состоянием технических систем.

Рассмотрим решение задачи оценки и прогнозирования технической эффективности машиностроительного изделия на примере бумагорезальной машины. Для данного типа оборудования это особенно актуально, поскольку подобных исследований для них ранее не проводилось.

Целью данной работы является поиск новых подходов, лежащих в основе принятия решений по обеспечению требуемого срока службы подобного специфического полиграфического оборудования. Одним из наиболее перспективных, в настоящее время, является подход, основанный на учете (контроле) реального технического состояния машины в любой момент времени ее работы и, соответственно, принятии адекватного этому состоянию решения – восстановления работоспособности, если это возможно, остановки машины и т.п. Это, в принципе, возможно только за счет внедрения эффективных методов диагностирования технического состояния машины. Рассматривая эффективность организации процессов жизненного цикла (ЖЦ) бумагорезального оборудования на этапах: НИР, проектирования, производства и эксплуатации можно отметить следующую последовательность определения его текущего состояния (рис. 1).

Рассматривая эффективность организации процессов ЖЦ бумагорезального оборудования можно отметить информационные «разрывы», связанные с разным информационным обеспечением конструктора, технолога, производителя и эксплуатационника.

Понимание этого обусловило интерес к созданию интегрированной информационной системы ЖЦ. Проблема заключается в создании методов и средств диагностирования технического состояния комплекса резания полиграфических материалов «процесс-оборудование-инструмент», ориентированных на непрерывное информационное сопровождение на протяжении всего ЖЦ, начиная от зарождения идеи и формирования ТЗ и до утилизации. При этом организация ЖЦ должна базироваться на следующих принципах:

- информация о состоянии технологической системы (оборудования) должна быть доступна на каждом из этапов ЖЦ;
- информационные данные на протяжении всего ЖЦ должны быть регулярными (равномерными);
- регламентирование и упорядочение работ по диагностическому обеспечению этапов ЖЦ.

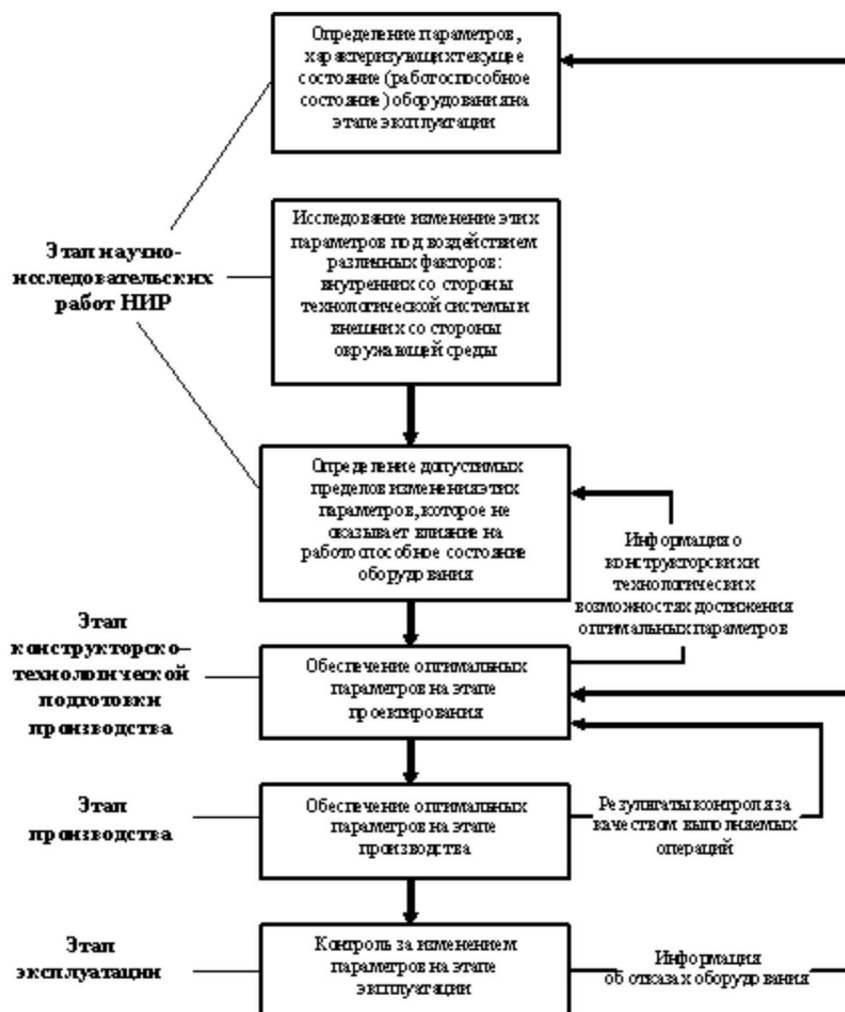


Рис. 1. Последовательность определения текущего состояния оборудования на различных этапах его ЖЦ

*Результаты исследований.* Диагностические средства и методы диагностирования являются неотъемлемой частью автоматизированных производственных систем, включающих, в том числе, и бумагорезательное оборудование. Автоматический контроль состояния бумагорезательного оборудования позволяет:

- повысить надежность процесса резки полиграфических материалов;

- определять правильность его протекания;
- автоматически восстанавливать работоспособность оборудования при отказах инструмента;
- уменьшить расход инструмента;
- улучшить качество обработки и сократить брак;
- предохранить механизмы и узлы бумагорезальной машины от потери точности и преждевременной поломки;
- повысить режимы обработки.

При этом особое внимание следует уделять режущему инструменту - ножу, так как несвоевременное обнаружение отказов инструмента может иметь самые различные последствия - от появления брака до аварии оборудования.

Этот вопрос может решаться несколькими путями:

- созданием систем, контролирующих только работоспособность инструмента перед началом выполнения процесса резания;
- фиксацией поломок инструмента в процессе обработки;
- периодической или непрерывной оценкой износа инструмента с целью коррекции условий обработки и прогнозирования его остаточного ресурса.

Рабочие поверхности бумагорезального ножа в процессе резания подвергаются действию разнообразных нагрузок, в результате чего они разрушаются. К основным видам нарушений работоспособности режущего инструмента относят степень его изнашивания и соответствующее ему ухудшение, по мере увеличения износа, технического состояния инструмента, характеризующегося, в определяющей мере, качеством его рабочих поверхностей. Методы контроля износа ножа подразделяются на *прямые* и *косвенные* (рис. 2).

Как показывают результаты исследований [3], в начальный период работы нового бумагорезального ножа идет повышенный размерный износ, затем - стабильный период нормального износа, практически пропорциональный пути резания, а в конце - катастрофический износ. При этом особенно важно учитывать тот факт, что на практике заказы в типографию поступают в случайные моменты времени, вызывая тем самым чередование периодов избыточности нагрузки и, наоборот, недозагрузки бумагорезального оборудования.

В связи с этим может повышаться процент брака при работе в начальный и конечный периоды работы ножа. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению производительности технологической системы «*процесс-оборудование-инструмент*» при обработке полиграфических материалов.

Попытки практического применения универсальных методов диагностирования для бумагорезального оборудования сталкиваются с серьезными трудностями при учете тех или иных конкретных особенностей объектов диагностирования, что, как правило, делает невозможным их широкое применение.



Рис. 2. Методы контроля износа бумагорезального ножа

В данных исследованиях в качестве источника диагностической информации использовался акустический сигнал, генерируемый процессом резания бумаги. При исследовании акустических сигналов определялся их спектральный состав с последующим анализом характера изменения величины спектральных пиков по мере износа ножа. На основе получаемого при этом прогноза фактической стойкости ножа (Тф) оценивалось его текущее состояние [3,4].

При этом исходили из следующих предпосылок. В общем случае зависимость текущего состояния  $x(t)$  от начального  $x(t_0)$  можно записать в виде [5]  $x(t) = F[x(t_0)]$ , где  $F$  - детерминированный закон (или оператор), который осуществляет строго однозначное преобразование начального состояния  $x(t_0)$  в будущее  $x(t)$  для любого  $t > t_0$ . Этот закон может представлять собой функцию, дифференциальное или интегральное уравнение, или некоторое правило, заданное таблицей, графиком и т.д. Главное, чтобы закон  $F$  однозначно трансформировал начальное состояние (причину) в будущее состояние (следствие), т.е. в нашем случае прогнозировал фактическую стойкость ножа.

При выборе модели износа ножа опирались на протекающие при этом физические процессы износа. Фактическая стойкость инструмента Тф определялась по результатам аппроксимации изменения во времени максимального уровня акустического сигнала А графиком следующей аналитической зависимости, отражающей физику износа

$$A = A_0 \left[ 1 + \beta \cdot \left( \frac{t - t_{10}}{T_{\Phi} - t_{10}} \right)^{n,n} \right], \quad (4)$$

где  $T_{\Phi}$  – искомая стойкость инструмента (мин);  $A_0$  – уровень акустического сигнала в начале резания ножом при наработке  $t_0$  (дБ);  $t$  – наработка ножа на текущее время диагностирования его состояния. (сут).

График функции (4) и экспериментальные точки приведены на рис.3, а оценка текущего состояния ножа на момент наработки  $t = 21$  сутки приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка текущего состояния режущего инструмента

Текущая наработка инструмента $t$ , сут	Состояние инструмента	Степень поврежденности $Q$	Надежность инструмента $P$	Скорость изменения технического состояния	Наработка инструмента до замены $T_{\Phi}$ , сут
21	Требуется улучшения	0.5971	0.4029	Недопустимая	0.8 ... 2.0

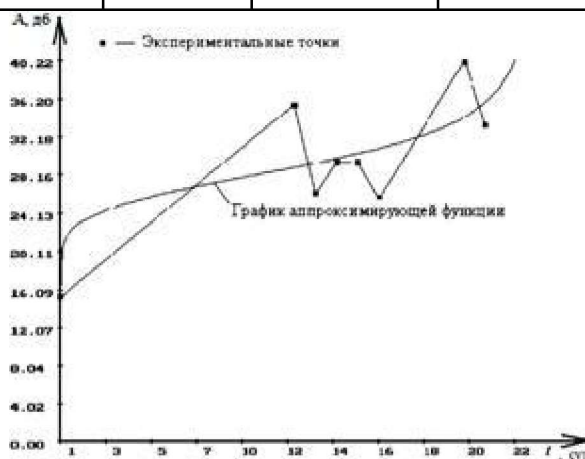


Рис. 3. Изменение уровня акустического сигнала в зависимости от износа бумагорезального ножа

#### Выводы.

Фактическое состояние оборудования на каждом из этапов жизненного цикла можно оценивать только за счет внедрения эффективных методов и средств непрерывного контроля и диагностирования его технического состояния. Для повышения эффективности организации всего ЖЦ бумагорезальных машин необходимо решать вопросы диагностического обеспечения, начиная с самых ранних этапов проектирования.

Предлагаемая методика диагностирования бумагорезального оборудования на основе контроля параметров виброакустического сигнала, генерируемого процессом резания, позволит перейти от календарно-плановой технологии обслуживания машин к технологии обслуживания их по фактическому состоянию режущего инструмента. Это повысит эффективность использования бумагорезального оборудования за счет исключения, с одной стороны, непредвиденных остановок из-за брака и, с другой стороны, ненужных остановок на ремонт по графику предупредительно-плановых ремонтов.

**Список литературы:** 1. Канарчук В.С., Полянский С.К., Дмитриев М.М. Надійність машин: Підручник. – К.: Либідь, 2003. – 424 с. 2. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с. 3. Залого В.А., Нагорный В.М., Дядюра К.А. Повышение эффективности процесса резания полиграфических материалов на основе диагностики текущего состояния ножа по акустическому сигналу // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХП». – Харків, 2008. – Вип. 2(17). – С. 142-147. 4. Дядюра К.А., Зинченко Р.Н., Нагорный В.В. Оптимизация механической обработки адаптивным управлением на основе анализа шума резания // Компрессорное и энергетическое машиностроение – Сумы, 2008 - №3(13) – С. 63-69. 5. Анищенко В.С. Динамические системы // Соревский образовательный журнал. – 2000, т.6 №6 С. 105-109.

Поступила в редколлегию 16.02.09