

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.М. Шитов, И.М. Кондратьев

В статье изложен методический подход, позволяющий повысить надежность и уменьшить интенсивность отказов узлов станков при эксплуатации. Он основан на использовании датчиков для измерения рабочих параметров конкретного узла, причем номенклатура датчиков и места их размещения определяются путем анализа дерева отказов. В результате этого анализа устанавливают события/причины, которые могут вызвать отказ и имеют большую вероятность реализации. Применение предлагаемого подхода проиллюстрировано на примере шпиндельного узла. Как показала практика, наиболее вероятным отказом шпиндельных узлов станков является превышение допустимой температуры подшипников, что приводит к деградации смазки и разрушению подшипников. Показано, что установка датчиков для мониторинга температуры подшипников позволяет предупреждать данный отказ и не допускать аварийной ситуации. Кроме того, данные мониторинга используются для определения остаточного ресурса и прогнозирования периода безотказной эксплуатации шпиндельного узла станка.

Ключевые слова: диагностика, надежность, остаточный ресурс, метод анализа дерева отказов, датчик, станочное оборудование, шпиндельный узел.

BUILD-IN SENSORS USAGE FOR INCREASING THE MACHINE TOOLS RELIABILITY DURING MAINTENANCE

A.M. Shitov, I.M. Kondratiev

One of the current trends in machinery is to increase a number of build-in sensors. It allows to ensure multi-parametric conditions monitoring and prevent possible machine tool failures during maintenance. Failure tree analysis (FTA) is used to determine the root causes of failures. By example of machine tool spindle unit FTA usage is described for development of the procedures that increase machine tool reliability and decrease failure rates during maintenance. These goals are achieved by FTA which provides most feasible causes of failures which have the greatest possibilities of implementation. As practice shows exceed of maximum allowable rolling bearing temperature that is resulted in consistent lubricant degradation issues and bearing breakdown is the most feasible cause of machine tool spindle unit failure. Usage of sensors for bearing temperature monitoring enables to prevent these failures. More over the monitoring data allow to predict spindle unit residual operating life.

Keywords: diagnostics, reliability, residual operating life, failure tree analysis, sensor, machine tool, spindle unit.

Введение

В настоящее время в станкостроении наметилась тенденция увеличения числа датчиков, встраиваемых в конструкцию сложных станков и позволяющих обеспечить многопараметрический (механический, электрический, оптический, акустический и т.д.) контроль за техническим состоянием их узлов с целью предотвращения возможных отказов в условиях эксплуатации.

Более того, достигнутый к настоящему времени уровень компьютерных и коммуникационных технологий (степень миниатюризации изделий, быстродействие контроллеров и каналов передачи данных, возможности беспроводной связи, невысокая стоимость стандартных электронных компонентов) позволяет оснащать станки целыми системами взаимосвязанных датчиков, обеспечивающими сбор и обработку данных о техническом состоянии оборудования [1–6].

Наглядным примером проявления указанной тенденции может служить, в частности, экспериментальный станок, созданный на базе обрабатывающего центра *DMC 80 FD duoBLOCK* (продукция фирмы *DMG Mori*). Он разработан в соответствии с концепцией станков нового поколения – *Machine tools 4.0*, предложенной специалистами компаний *Schaeffler* и *Deckel Maho Pfronten*. Согласно опубликованной информации [7], в новый станок встроено более 60 датчиков, контролирующих вибрацию, силовые факторы, температуру и другие параметры различных узлов станка.

Основная задача при встраивании датчиков состоит в том, чтобы обеспечить многопараметрический контроль технического состояния узлов станка с целью предотвращения возможных отказов. Необходимость решения этой задачи, помимо повышения надежности, имеет и экономическое обоснование.

Во-первых, даже простой отказ дорогостоящего многокоординатного станка при эксплуатации приводит к серьезным экономическим потерям, связанным с потерей прибыли из-за снижения объема выработки необходимого количества изделий, а также из-за сохраняющихся при этом различного рода издержек – зарплата персонала, арендной платы за используемые площади, потерь от простоя смежного оборудования в технологической цепи рабочего процесса и других затрат.

Во-вторых, функциональный или параметрический отказ этого оборудования, не говоря уже об аварийной ситуации, кроме экономических потерь, связанных с простоем оборудования, определяет еще и экономические издержки на проведение ремонта и восстановление работоспособности отказавшего оборудования.

Указанные экономические потери могут быть существенно уменьшены, а в ряде случаев и полностью исключены при использовании специальных диагностических методов и технологий. К числу таких методов относится, в частности, метод анализа дерева отказов [8]. Это универсальный метод, применимый к любому объекту диагностирования – как к отдельному узлу или агрегату станка, так и к станку в целом [9–13].

Особенность данной работы состоит в использовании дерева отказов для диагностики и повышения надежности станков путем обоснованной установки датчиков. Это означает, что анализ дерева отказов помогает выявлять те зоны станка,

где следует устанавливать датчики, а также позволяет определять виды конкретных параметров, которые необходимо при этом регистрировать.

Целью настоящей статьи является изложение методического подхода к повышению надежности станочного оборудования путем использования датчиков для измерения рабочих параметров и анализа дерева отказов.

В статье применение предложенного подхода рассмотрено на примере шпиндельного узла (ШУ). Этот узел, во-первых, является одним из основных узлов станка, обеспечивающих качество выполняемого на станке технологического процесса. А во-вторых, для него авторами разработаны методы, в том числе вероятностные, с построением дерева отказов, и накоплен значительный опыт расчета, исследований и диагностики ШУ разных типов станков, позволяющий проводить диагностику ШУ и правильно определять наиболее важные причины отказов.

Применение метода анализа дерева отказов для выявления причин функциональных и параметрических отказов

Дерево отказов (ДО) представляет собой многоуровневый граф, в котором отражены возможные функциональные и параметрические отказы и их причинно-следственные связи. ДО разрабатывается индивидуально для каждого вида отказов объекта диагностирования (узла, агрегата, станка). При этом структура дерева отказов зависит не только от диагностируемого объекта, но и от степени его детализации. Кроме того, вид дерева отказов зависит и от диагностического опыта специалистов, разрабатывающих ДО для конкретного случая.

В вершине ДО помещается функциональный отказ, который представляет собой нарушение работоспособности диагностируемого объекта и является главным анализируемым событием. На самых нижних уровнях дерева находятся базовые (или исходные) события, которые рассматриваются как потенциальные первопричины появления главного события. В качестве базовых обычно используются те события, которые невозможно или нецелесообразно детализировать далее.

На рисунке 1 представлено дерево отказов для шпиндельного узла на подшипниках качения и с ременным приводом со следующими обозначениями: *A* – функциональный отказ ШУ (отсутствие вращения); *B* – отказ ременной

передачи привода; C – разрушение подшипников в опорах ШУ; D – отказ в системе питания приводного электродвигателя; $D1$ – короткое замыкание в цепи электродвигателя; $D2$ – отказ электроаппаратуры; E – ослабление натяжения приводного ремня; F – обрыв приводного ремня; G – коксование смазки в подшипниках вследствие недопустимого повышения температуры; H – недопустимые режимы работы и ударные нагрузки; $H1$ – неправильно выбранный оператором режим работы (ошибка оператора); $H2$ – сбой в системе управления приводом подач; K – отработан ресурс подшипников; L – дефект подшипника при изготовлении; M – изменение свойств смазки во времени; $M1$ – закончился срок годности смазки; $M2$ – неправильный выбор марки смазки; $M3$ – нарушение технологии нанесения смазки; N – окисление смазки под действием смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ); $N1$ – попадание СОЖ в зону подшипников; $N2$ – окисление и деградация СОЖ; $N3$ – неправильный выбор марки СОЖ; $N4$ – несовместимость смазки и СОЖ; U – попадание абразивной пыли в зону подшипников; $U1$ – износ деталей уплотнения шпинделя; $U2$ – отсутствие давления воздуха в каналах уплотнения; R – повышенные вибрации в зоне опор шпинделя; $R1$ – недопустимый режим обработки; $R2$ – значительные повреждения деталей подшипников; Q – коэффициент податливости не соответствует нормам Технических Условий; $Q1$ – превышено допустимое значение усилия осевого натяга; $Q2$ – разрушение деталей подшипников при монтаже ШУ.

Как видно из рис. 1, причинами возникновения отказа A могут быть двадцать одно базовое

событие (или их различные комбинации). На языке булевой алгебры взаимосвязи базовых событий с главным событием могут быть описаны следующим образом:

$$A = B \cup C \cup D = E \cup F \cup D1 \cup D2 \cup M1 \cup M2 \cup M3 \cup N1 \cup (N2 \cup N3 \cup N4) \cup U1 \cup U2 \cup R1 \cup R2 \cup Q1 \cup Q2 \cup K \cup L \cup H1 \cup H2. \quad (1)$$

Для того, чтобы не ограничиваться качественной картиной, необходимо иметь статистику возникновения базовых или производных от них событий-отказов. В частности, для количественного анализа удобно использовать ДО в сочетании с показателями надежности – вероятностью событий-отказов и интенсивностью отказов λ .

Тогда, например, при заданных вероятностях базовых событий с помощью ДО можно определить вероятность возникновения отказов любой сложности. Так, для изображенного на рис. 1 дерева отказов вероятность возникновения функционального отказа A через вероятности базовых событий может быть выражена в виде

$$P(A) = P(E) + P(F) + P(D1) + P(D2) + P(M1) + P(M2) + P(M3) + P(N1) \times (P(N2) + P(N3) + P(N4)) + P(U1) + P(U2) + P(R1) + P(R2) + P(Q1) + P(Q2) + P(K) + P(L) + P(H1) + P(H2). \quad (2)$$

Если отказ характеризовать интенсивностью, то вероятность функционального отказа ШУ (событие A), который случится за время t при интенсивности λ и экспоненциальном законе изменения надежности, можно рассчитать по формуле:

$$P = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

На примере шпиндельного узла покажем, как с помощью анализа дерева отказов удалось на практике повысить надежность его эксплуатации.

На основе справочных данных для исследуемого ШУ были рассчитаны интенсивности отказов составных частей ШУ станка [14]: для ременной передачи (событие B на рис. 1) $\lambda_B = 4,0 \times 10^{-6}$ 1/ч; для подшипников качения в легких режимах работы (C) $\lambda_C = 3,0 \times 10^{-6}$ 1/ч и для приводного электродвигателя (D) $\lambda_D = 8,6 \times 10^{-6}$ 1/ч.

Для периода наблюдения продолжительностью 3,5 года при двусменной работе ($t = 12500$ ч) вероятности событий B , C и D , определенные

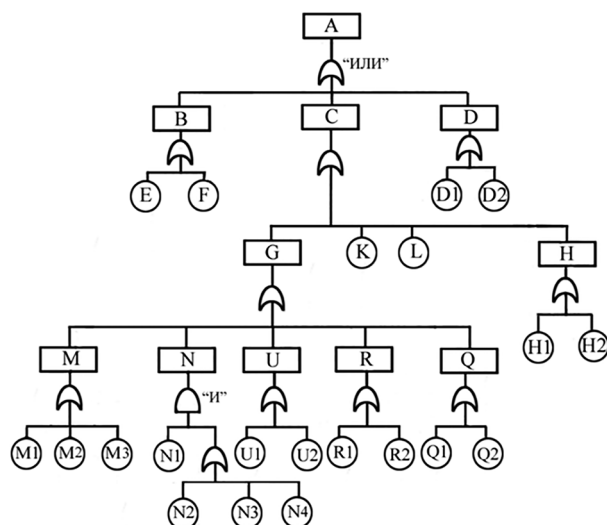


Рис. 1. Дерево отказов шпиндельного узла

по формуле (3) при заданных значениях интенсивности этих событий, составили

$$P(B) = 1 - e^{-\lambda_B t} = 0,1019;$$

$$P(C) = 1 - e^{-\lambda_C t} = 0,0368;$$

$$P(D) = 1 - e^{-\lambda_D t} = 0,0488.$$

Расчетное значение вероятности функционального отказа ШУ составило

$$\begin{aligned} P(A) &= P(B) + P(C) + P(D) = \\ &= 0,1019 + 0,0368 + 0,0488 = 0,1875. \end{aligned}$$

В то же время вероятность, определенная на основе обработки статистики фактически наблюдавшихся отказов исследуемого ШУ за тот же период ($t = 12500$ ч), достигла $P(A)_ф = 0,6321$.

Существенное расхождение фактических и расчетных значений параметров надежности указывает на наличие неблагоприятных факторов, влияние которых проявляется при эксплуатации станка. Дальнейшее диагностирование данного ШУ показало, что наиболее часто функциональный отказ ШУ (событие A) был следствием наступления события G – коксование смазки в подшипниках вследствие недопустимого повышения температуры.

Анализ ДО показывает, что если исключить наступление события G (не допускать значительного нагрева подшипников ШУ), переведя функциональный отказ в разряд параметрического, то дерево отказов и процедура диагностирования с его использованием значительно упрощаются (рис. 2).

ДО в этом случае содержит лишь восемь базовых событий вместо двадцати одного, а вероятность отказа $P(A)$ рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} P(A) &= P(B) + P(C) + P(D) = P(E) + \\ &+ P(F) + P(D1) + P(D2) + P(K) + P(L) + \\ &+ P(H1) + P(H2) \end{aligned}$$

и является существенно ниже вероятности, вычисленной по формуле (2). Таким образом, исключение многих первопричин наступления события A приводит к повышению эксплуатационной надежности ШУ.

На практике исключить наступление события G можно путем постоянного контроля температуры в зоне расположения подшипников у передней опоры ШУ и выполнения регламентных процедур по обслуживанию ШУ.

Для мониторинга используются датчики температуры и компьютерные устройства,

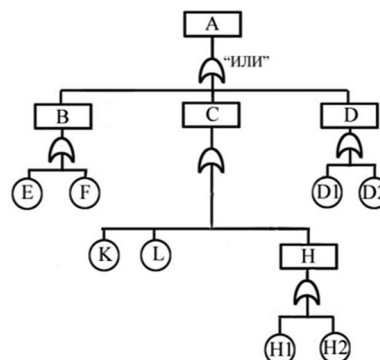


Рис. 2. Дерево отказов шпиндельного узла станка без события G

причем для определения места установки датчиков можно использовать результаты измерения температурных полей с помощью тепловизора. К сожалению, на этапе эксплуатации разместить датчики в требуемых местах часто бывает просто невозможно. Поэтому использование датчика температуры как обязательного элемента станка должно предусматриваться уже на стадии его разработки.

В случае зафиксированного датчиками недопустимого повышения температуры подшипников в передней опоре шпинделя и появления параметрического температурного отказа (G), средства мониторинга выдают сообщение об этом оператору станка и могут автоматически выполнить остановку привода станка, чтобы не допустить разрушения подшипников.

При наступлении параметрического температурного отказа (G) также может потребоваться анализ причин его возникновения. В этом случае используется анализ ДО, изображенного на рис. 3; при этом вероятность события $P(G)$ рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} P(G) &= P(M1) + P(M2) + P(M3) + \\ &+ [P(N1) \times (P(N2) + P(N3) + P(N4))] + P(U1) + \\ &+ P(U2) + P(R1) + P(R2) + P(Q1) + P(Q2). \end{aligned}$$

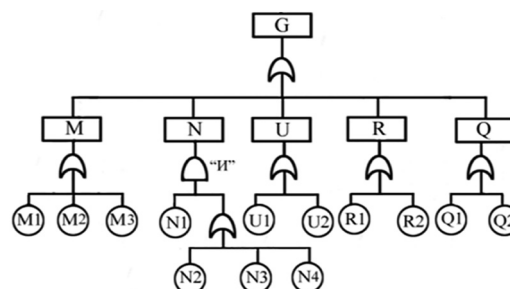


Рис. 3. Дерево отказов при параметрическом температурном отказе G

Использование мониторинга для оценки остаточного ресурса

Помимо повышения надежности наличие встроенных датчиков позволяет решать и другую важную задачу. Режим мониторинга технического состояния станка обеспечивает сбор статистических данных, которые позволяют прогнозировать период безотказной работы узлов станка, а также определять остаточный ресурс узлов станка по каждому значимому рабочему параметру.

Определение остаточного ресурса узлов станка по какому-либо рабочему параметру связано с необходимостью разработки предельных значений – норм, которые определяют порог работоспособного состояния. После достижения предельного значения выбранного параметра механизм, узел, агрегат или станок переходят в состояние параметрического отказа. Определение предельного допустимого значения какого-либо рабочего параметра при эволюционном развитии неблагоприятных факторов бывает затруднительно, поскольку границы интервала предельных значений всегда размыты, и указать точное значение поля допусков практически не представляется возможным.

На практике предельные значения диагностических параметров назначает разработчик диагностической процедуры, метода, технологии. Эти значения задаются таким образом, чтобы не допускать технологических отказов (аварий и брака деталей). При этом необходимо учитывать, что необоснованное назначение предельных значений диагностических параметров может снижать экономическую эффективность эксплуатации оборудования.

Для назначения предельных значений диагностических параметров используют результаты исследования моделей отказов, экспертные оценки, предшествующий опыт эксплуатации подобных объектов станков [15].

Например, для контроля и мониторинга состояния подшипников ШУ используются интеллектуальные датчики, регистрирующие виброскорость в зоне размещения подшипников шпиндельного узла [16]. Рассчитывается среднее квадратическое значение (СКЗ) временного ряда этого параметра V_p , которое сравнивается с предельным значением V_{max} , и это позволяет оценить техническое состояние ШУ и остаточный ресурс R_i^V .

Если задано предельное значение СКЗ виброскорости V_{max} , измерены текущее значение

V_i и уровень шума V_{min} , то остаточный ресурс узла по вибрационному параметру рассчитывается по формуле:

$$R_i^V = \left(1 - \frac{V_i - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right) \times 100 \% . \quad (4)$$

Если в наблюдаемый момент времени СКЗ виброскорости составило $V_i = 1,2$ мм/с, а уровень вибрации неработающего станка принимает значение $V_{min} = 0,1$ мм/с (66 дБ), то остаточный ресурс, рассчитанный по формуле (4) при $V_{max} = 2$ мм/с (92 дБ), составит:

$$R_i^V = \left(1 - \frac{(V_i - V_{min})}{(V_{max} - V_{min})} \right) 100 \% = 42,1 \% .$$

С течением времени величина V_i увеличивается, и, как следствие, величина R_i^V уменьшается; если $R_i^V = 0$, то объект диагностирования переходит в состояние параметрического отказа.

На основании опыта для прогнозирования развития важного показателя – СКЗ виброскорости было предложено использовать степенной многочлен вида

$$V(t) = a + bt + ct^k, \quad (5)$$

где t – время от начала эксплуатации.

Коэффициенты a , b , c и k в формуле (5) рассчитываются на основании исходных данных, которые могут быть определены на начальном этапе, а именно: текущего значения диагностического параметра V_p , его минимального V_{min} и предельного значения V_{max} , фактического времени эксплуатации t_i . Затем, по мере накопления статистических данных о величинах диагностического параметра, функция прогнозирования корректируется [17, 18].

В качестве единицы измерения времени могут быть выбраны различные величины; на практике часто используется квартал (кв.). Однако с приближением к концу планового срока эксплуатации необходимо увеличивать частоту контроля ресурсного параметра. При этом в формуле (5) фактически меняется единица измерения времени, а значит, приходится корректировать и коэффициенты степенного многочлена.

Прогноз предполагает сохранение существующих тенденций развития вибрации на последующий период прогноза. Расчет доверительно-го интервала проводился для выборки из пяти значений при заданной вероятности ($P = 0,8$) и прогнозе значений вибрации на три базовых

периода времени. Предельное значение СКЗ виброскорости $V_{\max}$ для средних станков, в соответствии с рекомендациями [19], составляет 2 мм/с. Превышение фактических значений виброскорости над ее предельно допустимыми прогнозными значениями указывает на интенсивное развитие деградационных процессов в подшипниковых опорах ШУ.

Для обследованного ШУ была получена зависимость тренда СКЗ виброскорости в зоне подшипников в виде:

$$V_i(t) = 0,55 + 0,005t + 1,0237 \times 10^{-5} t^{4,3}, \quad (6)$$

где $V_i(t)$ – значение СКЗ виброскорости (мм/с), t – время (кв.).

Формула (6) отражает тот факт, что на начальном этапе наблюдается фактически линейная зависимость, а затем нарастает нелинейная составляющая, которая соответствует ускорению деградационных процессов по мере увеличения срока службы узла.

После эксплуатации ШУ в течение 13 кварталов ($t = 13$) уровень вибрации составил $V_{13} = 1,24$ мм/с, и по прогнозу уровень вибраций в конце следующего квартала ($t = 14$) должен достигнуть $V_{14} = 1,48$ мм/с. Кроме того, из уравнения (6) может быть установлено, что предельный срок эксплуатации ШУ при существующих условиях ($V_{\max} = 2$ мм/с) составит 15,7 кв.

На практике остаточный ресурс необходимо оценивать по различным параметрам: вибрационным, временным, жесткостным, температурным, точностным. При этом за остаточный ресурс ШУ принимается минимальное значение среди всех остаточных ресурсов, определенных по каждому из перечисленных параметров. Оценка ресурса позволяет планировать проведение контрольных проверок и ремонтов. Периодическая оценка ресурса также позволяет предупредить возможность внезапных отказов и, таким образом, также способствует повышению эксплуатационной надежности.

Организация мониторинга технического состояния узлов станка позволяет: избавиться от большинства внезапных отказов и аварийных состояний оборудования; контролировать его текущее состояние; обоснованно определять сроки и содержание ремонтных работ, контролировать качество их выполнения; уменьшить затраты финансовых средств и труда на эксплуатацию оборудования.

При этом датчики целесообразно устанавливать, в первую очередь, на механизмы или узлы

станка, обладающие наибольшей вероятностью возникновения отказов. Естественно, что датчики при этом могут контролировать наступление только параметрических, но не функциональных отказов.

Реализация описанного выше подхода позволяет создать в станке развитую диагностическую систему [20], которая обеспечивает высокую надежность станка при эксплуатации. По этому пути, как уже было отмечено в начале данной статьи, идут передовые зарубежные фирмы – производители станков.

Заключение

Построение ДО, встраивание датчиков и организация мониторинга, служат основой диагностирования ШУ и позволяют повысить его эксплуатационную надежность. Аналогичный подход может применяться и для диагностирования других ответственных узлов станка (шариковинтовые механизмы, редукторы, коробки передач, инструментальные магазины и другие узлы).

Список литературы

1. Либерман Я.Л. Системы мониторинга для металлорежущих станков. Екатеринбург: Изд-во УрГТУ, 2000. – 98 с.
2. Desforges X., Archimède B. Multi-agent framework based on smart sensors/actuators for machine tools control and monitoring // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2006. Vol. 19. No. 6. P. 641–655.
3. Cho S., Binsaeid S., Asfour S. Design of multisensor fusion-based tool condition monitoring system in end milling // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2010. Vol. 46. No. 5. P. 681–694.
4. Čuš F., Župerl U. Real-Time Cutting Tool Condition Monitoring in Milling // Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering. 2011. Vol. 57. No. 2. P. 142–150.
5. Ваганов А.А., Писарев В.И. Система автоматизированного мониторинга технического состояния привода главного движения металлообрабатывающих станков с ЧПУ // Известия Самарского науч. центра РАН. 2015. Т. 17. № 2 (4). С. 725–731.
6. Downey J., Bombiński S., Nejman M., Jemielniak K. Automatic multiple sensor data acquisition system in real-time production environment // Procedia CIRP. 2015. Vol. 33. P. 215–220.
7. Schaeffler and Industry 4.0. Режим доступа: <http://www.metalworkingworldmagazine.com/>

- schaeffler-and-industry-4-0/ (дата обращения: 25.05.2017).
8. Хэнли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
9. Rao R. Venkata, Gandhi O.P. Failure cause analysis of machine tools using digraph and matrix methods. // International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2002. Vol. 42. No. 4. P. 521–528.
10. Hu W., Starr A.G., Leung A.Y.T. Operational fault diagnosis of manufacturing systems // Journal of Materials Processing Technology. 2003. Vol. 133. No. 1–2. P. 108–117.
11. Merrick J.R.W., Soyer R., Mazzuchi T.A. A Bayesian Semiparametric Analysis of the Reliability and Maintenance of Machine Tools // Technometrics. 2003. Vol. 45. No. 1. P. 58–69.
12. Bloch H.P., Geitner F.K. Machinery Failure Analysis and Troubleshooting. Elsevier, 2012. – 743 p.
13. Waghmare S.N., Raut D.N., Mahajan S.K. Failure Mode Effect Analysis and Total Productive Maintenance: A Review // International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering. 2014. Vol. 1. No. 6. P. 183–203.
14. Шитов А.М. Дерево отказов шпиндельного узла станка // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 2. С. 69–73.
15. Шитов А.М. Диагностические методы и модели шпиндельных узлов станков // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2016. № 1. С. 43–50.
16. Кондратьев И.М., Орлов А.В., Шитов А.М. Система сбора данных для оперативной вибродиагностики шпиндельных узлов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2013. № 2. С. 62–67.
17. Барков А.В. Диагностирование и прогнозирование состояния подшипников качения по сигналу вибраций // Судостроение. 1985. № 3. С. 22–24.
18. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977. – 200 с.
19. Kumaraswamy S., Rakesh J., Amol Kumar Nalavade. Standardization of Absolute Vibration Level and Damage Factors for Machinery Health Monitoring. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/241598793_Standardization_of_Absolute_Vibration_Level_and_Damage_Factors_for_Machinery_Health_Monitoring (дата обращения: 25.05.2017).
20. Шитов А.М., Кондратьев И.М., Орлов А.В. Система регистрации и обработки диагностических параметров узлов металлорежущих станков // Сборник трудов по материалам XVIII междунар. науч. конф. Тенденции науки и образования в современном мире. Самара, 2016. Ч. 2. С. 41–43.

Материал поступил в редакцию 04.04.2017

**ШИТОВ
Аркадий Михайлович**

E-mail: shitov_am@mail.ru
Тел.: (495) 623-79-10

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Управление технологическими процессами и системами» Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. Сфера научных интересов: диагностика машин технологического оборудования. Автор двух справочников (в соавторстве), 84 научных статей и 12 изобретений.

**КОНДРАТЬЕВ Игорь
Михайлович**

E-mail: kiimash@yandex.ru
Тел.: (495) 623-79-10

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Управление технологическими процессами и системами» Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН. Сфера научных интересов: диагностика и параметрическая идентификация машин и механизмов. Автор 35 научных статей.