

Диагностика технического состояния и прогнозирование работоспособности
технологического оборудования

Д.Н. Русаков, д.т.н. С.В. Лукина, А.С. Твердохлебов, М.И. Владимиров
Университет машиностроения, г. Москва, Россия.

В статье рассмотрены вопросы, связанные с решением задач диагностики технического состояния металлообрабатывающего оборудования, и прогнозирования его работоспособности. Приведены результаты исследования взаимосвязи неисправностей станков с критериями работоспособности через диагностические параметры. Рассмотрена возможность построения экспертной системы на основе нейросетевой технологии с описанием возможностей нейронных сетей, как инструмента практического решения прикладных задач в области диагностирования и прогнозирования работоспособности технологического оборудования.

Ключевые слова: работоспособность, техническое состояние, диагностика, диагностический параметр, прогнозирование, экспертная система, нейронная сеть.

В настоящее время трудно представить выпуск высококачественной и конкурентоспособной продукции без эффективного использования технологического оборудования. При этом неременным условием для достижения данного результата является обеспечение высокой и стабильной работоспособности используемых металлообрабатывающих станков.

Современные металлообрабатывающие станки представляют собой сложные и дорогостоящие системы, эффективность использования которых обоснована рациональными условиями эксплуатации, определяющимися совокупностью режимов резания и мероприятиями поддержания работоспособности [6-8]. Выбор режимов резания в общем случае характеризует эффективность конкретного процесса металлообработки, тогда как параметры работоспособности оборудования характеризуют эффективность всего производства в целом [3-5]. Поэтому исследования по разработке мероприятий по поддержанию работоспособности станков являются актуальными.

В рамках данного исследования решалась задача выделения совокупности параметров, характеризующих работоспособное состояние металлорежущего оборудования, определяющей основу экспертной системы предсказательной диагностики станков.

Согласно [11], работоспособное состояние станка определяется установленными значениями совокупности параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции в соответствии со значениями выходных параметров, определенных требованиями нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной документации). При этом под

выходными параметрами станка следует понимать числовые показатели его технических характеристик, которые определяют состояние машины и её возможности по выполнению заданных функций.

Для эффективного использования металлообрабатывающего оборудования необходимо обладать информацией о его работоспособности не только в процессе эксплуатации, но и в некоторый момент времени в будущем, что составляет задачу прогнозирования работоспособности. При этом решение данной задачи невозможно без первоначального определения технического состояния оборудования, путём его диагностики.

К основным объектам диагностики металлообрабатывающих станков относятся: валы и шпиндели, шариковые винтовые передачи, подшипники, зубчатые передачи (рис.1).

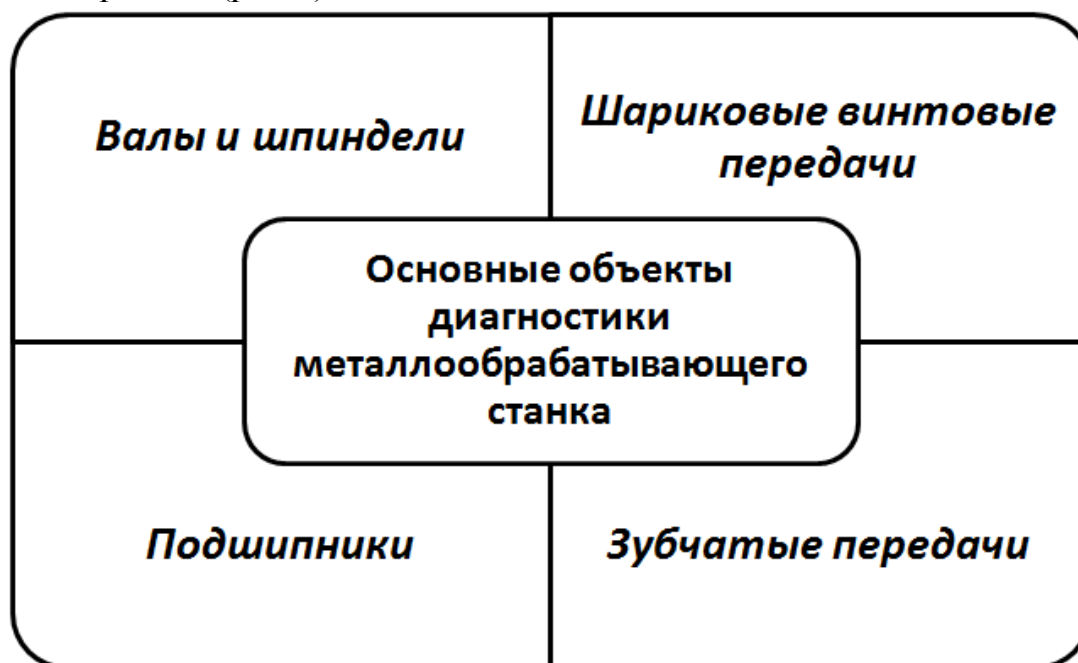


Рисунок 1 – Основные объекты диагностики металлообрабатывающих станков

Проведенный обзор и анализ литературных источников показал, что в зависимости от объекта, состояние которого необходимо оценить, применяется тот или иной метод или комплекс методов диагностики [1,9,10,12,13], а наибольшее применение для оценки технического состояния станков с ЧПУ имеют (рис.2):

- виброакустическая диагностика – для диагностики элементов привода главного движения и других механизмов, совершающих вращательное движение (в данном случае средствами получения диагностической информации являются различные виброметры и виброанализаторы);

- диагностика по параметрам точности и постоянства отработки круговой траектории с использованием систем Renishaw ballbar QC10, QC 20 – для диагностики приводов подач.

Как известно, наиболее важными критериями работоспособности металлообрабатывающих станков являются: прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость и виброустойчивость [1,13] (рис.3). В

процессе эксплуатации станочное оборудование подвергается разнообразным внешним и внутренним воздействиям. Наиболее характерными являются воздействия от сил резания, сил сопротивления (трения) и сил инерции перемещающихся узлов. В результате воздействия указанных факторов в узлах станка может возникать совокупность неисправностей, являющаяся следствием нарушения их работоспособности. Так, например, такие виды неисправностей как раковины, трещины и сколы колец подшипников являются следствием потери прочности. Недостаточная жесткость валов или шпинделя может привести к их прогибу, а также возникновению различных вмятин на поверхности деталей станка.



Рисунок 2 – Методы получения диагностических параметров

В процессе диагностики с использованием разнообразных датчиков определяются диагностические параметры, зависящие от времени – $X \{X_1(t), X_2(t) \dots X_n(t)\}$. Данные параметры выступают в качестве индикаторов, определяющих наличие, либо отсутствие определённого вида неисправности.

Как было указано выше, работоспособность оборудования связана не только с возможностью выполнять заданные функции, но также с необходимостью нахождения его выходных параметров в пределах, установленных нормативно-технической или конструкторской документацией. В связи с этим, в результате диагностирования металлообрабатывающего станка кроме определения присутствия того или иного вида неисправности требуется также определить степень влияния данной неисправности на выходные параметры.

Таким образом, существует необходимость в установлении функциональной зависимости между выбранным показателем технического состояния и совокупностью полученных диагностических параметров – $Y=F(X)$. При этом под показателем технического состояния понимается количественный параметр, характеризующий работоспособность оборудования.

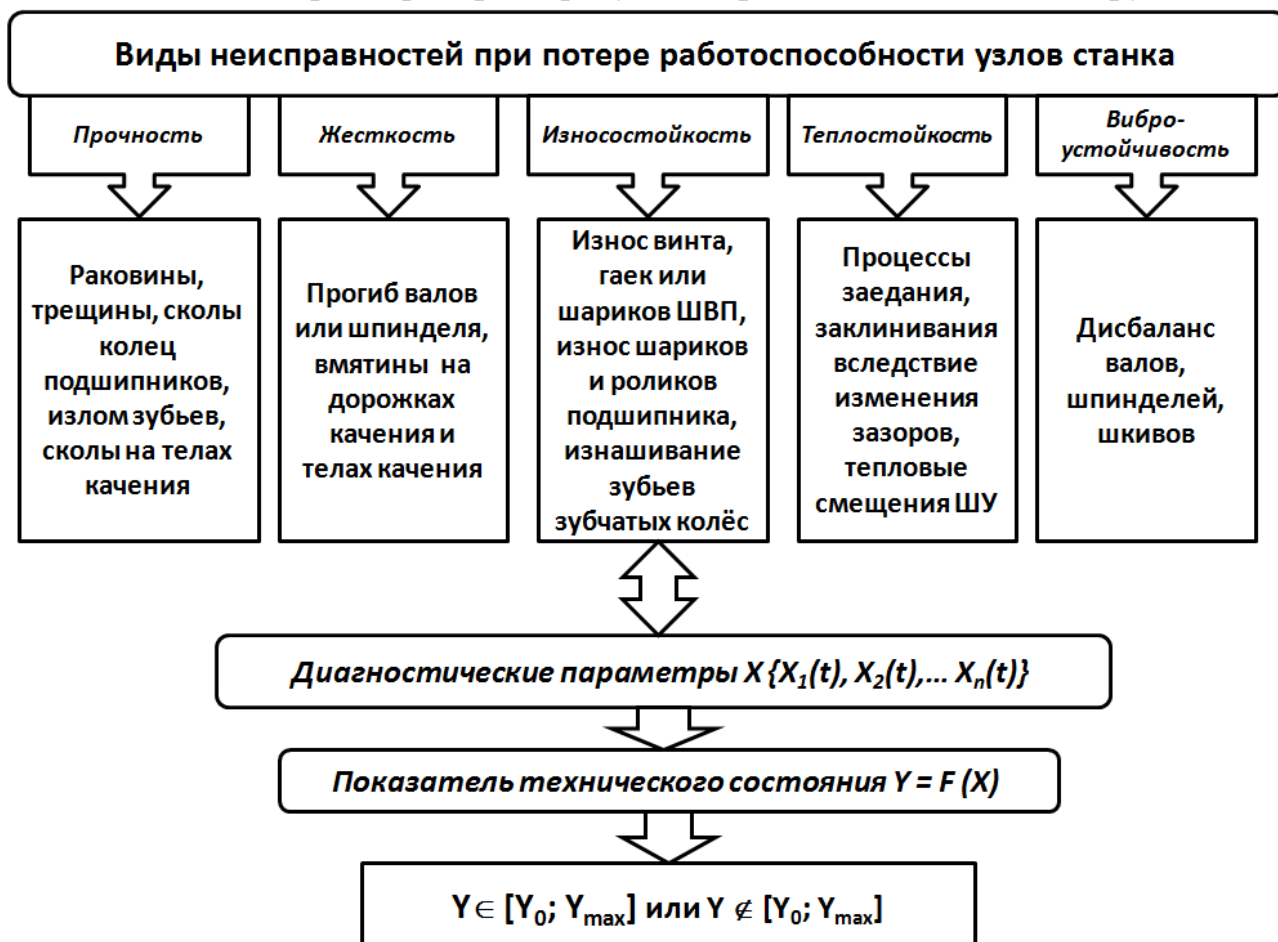


Рисунок 3 – Взаимосвязь видов неисправности металлообрабатывающих станков с критериями работоспособности через диагностические параметры

На следующем этапе необходимо сравнить выбранный показатель технического состояния с выходным параметром технологического оборудования, указанным в его технической характеристике или установить, находится ли выбранный показатель внутри регламентированного интервала ($Y \in [Y_0; Y_{max}]$) (рис.3). В качестве выходного параметра может, например, быть выбран такой показатель как точность вращения шпинделя. В этом случае, в процессе диагностики необходимо установить функциональную зависимость между измеряемыми диагностическими параметрами и точностью вращения шпинделя.

В процессе диагностирования возникает необходимость в интерпретации диагностических параметров. Данная процедура требует привлечения высококвалифицированных экспертов-диагностов. Альтернативным вариантом решения данной задачи является создание специализированной экспертной системы.

Экспертная система представляет собой программное обеспечение, выполняющее функции эксперта при решении задач из некоторой предметной области [14]. Решение задачи выполняется экспертной системой на основании использования полученной исходной информации (в виде базы данных) и содержащегося в ней внутреннего алгоритма решения задачи, реализованного в виде базы знаний (рис.4).

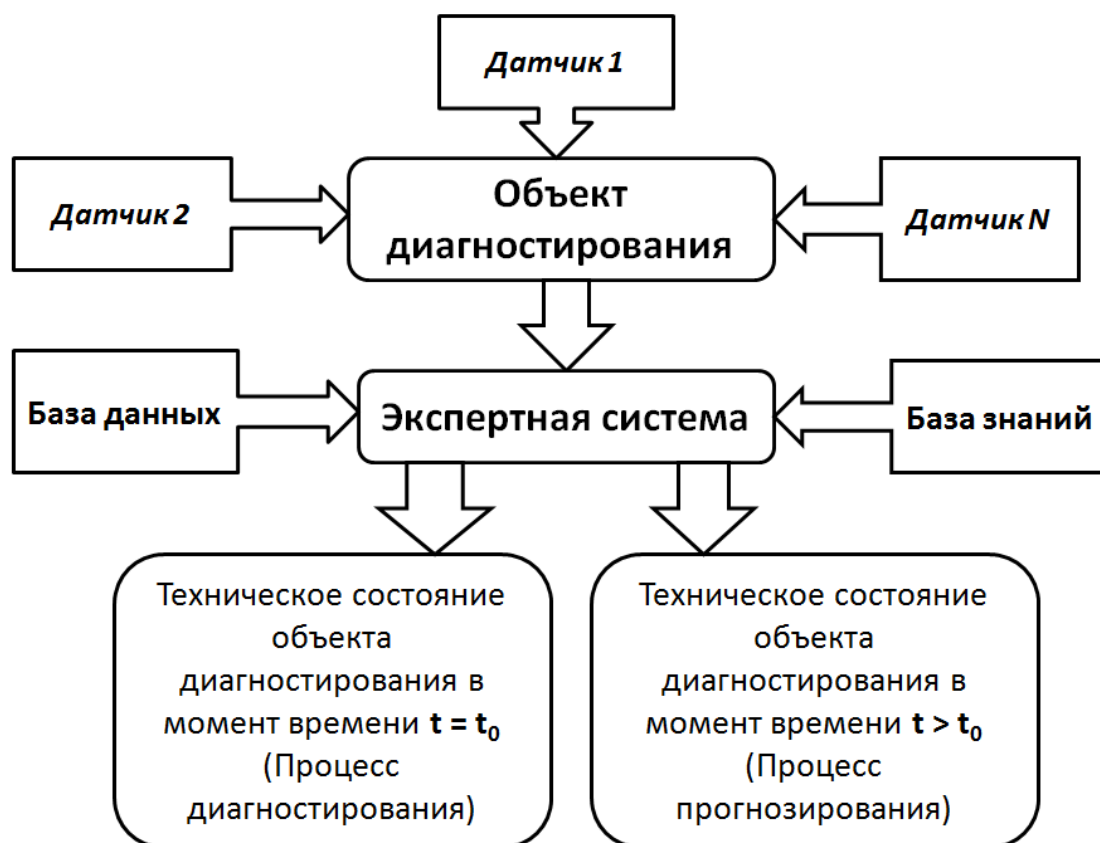


Рисунок 4 – Структура системы диагностики и прогнозирования работоспособности

Применительно к решению задач диагностики технического состояния металлообрабатывающего оборудования и прогнозирования его работоспособности может быть использована экспертная система, построенная на базе нейронной сети.

Выбор в качестве способа построения экспертной системы нейросетевой технологии обусловлен следующими причинами:

- для реализации нейросетевых алгоритмов необходима минимальная информация об объекте;
- при реализации НС возможна параллельная обработка информации, что, во-первых, значительно увеличивает скорость работы системы и, во-вторых, повышает надежность системы; кроме того, при большом количестве межнейронных связей достигается одновременно обработка значительного объема поступающей измерительной информации в реальном масштабе времени.
- нейронные сети позволяют проводить классификацию состояния технологического оборудования и отнести его состояние к одному из классов

состояний (исправное или неисправное с дефектом определенного типа), определяемых с использованием выбранного диагностического метода (рис. 2);

- искусственные нейронные сети в задачах прогнозирования и диагностирования объекта могут быть использованы в качестве подсистемы выборки и принятия решений, передающей диагностическую информацию другим подсистемам (например, автоматизированной системе управления технологическим процессом).

Однако, как показал анализ литературных источников [1,9,10,12,13], нельзя однозначно определить все отказы или предотказные состояния станка. Тогда как, при этом можно выделить и диагностировать множество состояний его составляющих узлов (рис. 1) и попытаться оценить степень влияния каждого выявленного информационного параметра на вероятность перехода объекта либо в отказ, либо в предотказное состояние, которое затем привести к совокупности коэффициентов влияния.

В задачах диагностирования и прогнозирования нейронная сеть является универсальным инструментом аппроксимации функции нескольких переменных, в том числе нелинейной [2]:

$$Y = F(X) \quad (1)$$

где $X(t) = \{X_1(t), X_2(t) \dots X_n(t)\}$ – векторы входной информации (текущие измеренные значения диагностических параметров), а Y – реализация векторной функции нескольких переменных. Тогда постановка многих задач диагностирования и прогнозирования технического состояния объекта может быть сведена именно к аппроксимационному представлению.

Одними из первичных моделей предсказательного моделирования работоспособного состояния станка могут служить статистические модели, увязывающие диагностические параметры с показателем технического состояния оборудования в виде регрессионных моделей дефектов:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \omega_{11}X_1 + \omega_{12}X_2 + \dots + \omega_{1n}X_n \\ Y_2 &= \omega_{21}X_1 + \omega_{22}X_2 + \dots + \omega_{2n}X_n \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (2)$$

где $\omega_{11}, \omega_{12} \dots \omega_{1n}, \omega_{21}, \omega_{22} \dots \omega_{2n}$ – коэффициенты влияния (весовые коэффициенты). Таблица коэффициентов влияния ω для каждого конкретного значения X_i представляет собой диагностическую матрицу состояний станка.

В целом, классификация неисправностей (распознавание вида неисправностей) с помощью диагностической матрицы подобна работе системы нейронов – персептрона.

При этом каждый нейрон в простейшем случае преобразует вычислительную сумму с помощью активационной функции в виде сигнала наличия (1) или отсутствия (0) какой-либо неисправности (качественная оценка функционального состояния металлообрабатывающего оборудования).

При использовании нейронной сети более высокого уровня может быть определена вероятность нахождения объекта в работоспособном состоянии

(количественная оценка нахождения параметра технического состояния внутри заданной области работоспособности). В этом случае активационная функция должна определяться соотношением:

$$Y(X) = \begin{cases} 1, & \text{при } X_i \omega_i \in [Y_0; Y_{max}] \\ 0, & \text{при } X_i \omega_i \in [Y_0; Y_{max}] \end{cases} \quad (3)$$

Способность нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из её способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна предсказать будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений или каких-то существующих в настоящий момент факторов. Так, если совокупность величин $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ представляет собой значения какого-либо параметра, изменяющегося во времени, то такую совокупность называют временным рядом, при этом каждое значение соответствует значению параметра в конкретное время t_1, t_2, \dots, t_n . Задача прогнозирования в этом случае заключается в определении значения измеряемой величины X в момент времени $t_{n+1}, t_{n+2}, t_{n+3}$, то есть для выполнения прогнозирования необходимо выявить закономерность этого временного ряда.

На нейронных сетях задача прогнозирования формализуется через задачу распознавания образов. Данные о прогнозируемой переменной за некоторый промежуток времени образуют образ, класс которого определяется за пределами данного промежутка, т.е. значением переменной через интервал прогнозирования. Таким образом, для решения задач диагностирования технического состояния металлообрабатывающего оборудования, и прогнозирования его работоспособности может быть использована экспертная система, построенная на базе нейронной сети.

Разработанная с использованием предложенного подхода экспертная система может быть использована для прогнозирования работоспособности узлов и модулей конструкций станков. Это позволит сократить затраты на техническую подготовку производства за счет прогнозной оценки работоспособности металлорежущего оборудования на этапе планирования технологических операций и разработки регламентов предупредительного обслуживания оборудования.

Библиографический список

1. Аврамова, Т.М. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т.1. – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с. : ил.

2. Викторова, Е.В. Применение нечётких нейронных сетей для технической диагностики дорожных машин // Вестник ХНАДУ. – 2012. – № 56. – С. 98–102.

3. Лукина, С.В. Методика оптимизации производственной деятельности промышленного предприятия на основе комплекса прогностических моделей формирования и выбора проектных инновационных решений в области высокотехнологичных производств // Вестник МГТУ «Станкин». – 2015. – № 1(32). – С. 125–129.

4.Лукина С.В. Прогностическое моделирование проектных инновационных решений по конфигурации средств оснащения высокотехнологичных производств // Инновации. – 2015. – № 8(202). – С. 68–71.

5.Лукина, С.В., Иваников С.Н., Крутякова М.В., Манаенков И.В. Технологический синтез мехартонных систем для многоосевой обработки // Известия Московского государственного технологического университета МАМИ. – 2015. – № 1(15). – С. 46–51.

6.Макаров, В.М., Лукина С.В., Лебедь П.А. Имитационное моделирование в задачах технологического инжиниринга // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2012. – № 2(70). – С. 16–20.

7.Макаров, В.М., Лукина С.В. Наукоемкий инжиниринг в задачах техперевооружения //РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. . – 2013. – № 8(86). – С. 16–20.

8.Макаров, В.М., Лукина С.В. Программы развития – экспертный подход // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2014. – № 9(97). – С. 19–23.

9.Макаров, В.М., Савинов Ю.И. Обоснованный выбор средств контроля качества в технологических процессах // Главный механик. – 2015. – № 4. – С. 16–29.

10.Макаров В.М., Савинов Ю.И. Технологический контроллинг – ключевой фактор модернизации производства // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. 2013. – № 4. – С. 30–34.

11.Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002 – 89; введ. 01.07.90.

12.Писарев, В.И., Ваганов А.А., Денисенко А.Ф., Тютюрев И.О. Техническое обслуживание и ремонт металлообрабатывающих станков с ЧПУ на основе безразборной диагностики технического состояния // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 16. – 2014. – № 1(2). – С. 508–514.

13.Савинов, Ю.И. Современное обслуживание станков // Диагностика и ремонт. – 2008. – № 3(54). – С. 82–87.

14.Яковлев, С.А. Экспертные системы: учеб. пособие / С.А. Яковлев. – СПб.: ГУАП, 2010. – 124 с. : ил.