

УДК 62-50

UDC 62-50

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ  
МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
СТАНКА**

*Р. Н. Волошин, С. В. Ющенко,  
А. В. Ядченко*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[r.voloshin2909@gmail.com](mailto:r.voloshin2909@gmail.com)

[xgridx@yandex.ru](mailto:xgridx@yandex.ru)

[Alexandr478@gmail.com](mailto:Alexandr478@gmail.com)

Рассматривается система автоматизации мониторинга и диагностики состояния многооперационных станков и концепция e-Mind Machine; приводится анализ существующих систем мониторинга, сервисного обслуживания и обоснование необходимости преобразования данных диагностики в систему знаний при работе перспективных систем мониторинга состояния многооперационных станков; показаны, новые возможности для автоматизации мониторинга.

**Ключевые слова:** автоматизированная система мониторинга, диагностика, e-Mind Machine.

**Введение.** Повышенные требования к качеству многооперационных станков в современных условиях компьютеризированного производства обусловлено рядом объективных причин. К ним относятся: высокие экономические затраты на производство, повышенные требования к точности и сложности обработки деталей, надежность оборудования. Создание автоматизированной системы мониторинга в составе УЧПУ станка или в числе поддерживающих сервисов является важным этапом на пути формирования единой среды эксплуатации, программирования и технического обслуживания станков, в том числе многооперационных, и другого мехатронного технологического оборудования на различных предприятиях. Автоматизированная система позволит своевременно реагировать при появлении неисправностей оборудования, снижая риск серьезных поломок.

Существенный вклад в решение проблем повышения качества станков с ЧПУ внесен выполнением ряда мировых проектов [1]. С конца 90-х годов прошлого века экономически развитые государства, такие как США, Япония, Канада, Германия, Швейцария и др. принимают участие в реализации проекта SIMON (Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining), который является одной из составных частей программы создания технологии XXI века.

**AUTOMATED MONITORING AND  
DIAGNOSTICS OF THE MACHINE  
TECHNICAL STATE**

*R. N. Voloshin, S. V. Yushenko,  
A. V. Yadchenko*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[r.voloshin2909@gmail.com](mailto:r.voloshin2909@gmail.com)

[xgridx@yandex.ru](mailto:xgridx@yandex.ru)

[Alexandr478@gmail.com](mailto:Alexandr478@gmail.com)

The paper considers the problem of automation of monitoring and diagnostics of the multi-operation machines condition and the concept of e-Mind Machine. It provides the analysis of the existing monitoring systems and services and also the justification of the need to convert diagnostic data to knowledge system working with the advanced systems of multifunction machine tools for status monitoring. The article demonstrates new opportunities for automation monitoring.

**Keywords:** Automated monitoring system, diagnostics, e-Mind Machine

Программы исследований и разработок нацелены на повышение уровня автоматизации обслуживания машин различного назначения. Среди них стоит выделить системы IMS, PROMISE. Цель выполнения проекта IMS (Intelligent Maintenance System) состояла в разработке нового поколения систем сбора, обработки и управления потоком информации о техническом состоянии машины и обеспечении непрерывного электронного преобразования информации в знания и принятия решений [2, 3].

Проводимое исследование заключается в создании системы мониторинга, способной в автоматическом режиме наблюдать за процессами, протекающими в станках. Предлагаемая система мониторинга позволит анализировать данные диагностики, делать выводы по состоянию станков и сохранению работоспособности оборудования.

К задачам исследования относятся:

- определение способа диагностики и разработка методологии проведения испытаний;
- описание системы датчиков, отражающих основные технологические параметры по состоянию станка;
- создание базы данных, содержащей статистические значения с датчиков, характеризующие различные состояния оборудования;
- использование базы знаний, оперирующей базой данных для оценки технологического состояния станка и принятию решений.

**Системы непрерывного мониторинга и диагностики.** Непрерывный мониторинг процессов, происходящих в работающих машинах, является одним из самых эффективных способов контроля за состоянием промышленного оборудования. При решении большинства диагностических задач обеспечивается не только обнаружение любого из потенциально опасных дефектов в начальной стадии развития, но и определение величины и вида дефекта. Долгосрочный прогноз состояния или остаточный ресурс машины может быть получен при известных скоростях развития каждого дефекта. Система проведения ремонтов, основанная на подобных методах, называется ремонтом по техническому состоянию (РТС). Одним из примеров реализации систем непрерывного мониторинга являются «WatchDog Agent», «DYNAMITE», «Mtelligence», «Аврора», «Паллада+», «Атлант-8», «TRIM-PMS» и др. [4-8].

Каждая система обладает рядом отличительных черт, и выполняет функции, необходимые для существования интеллектуальной системы управления мониторингом и диагностикой технического состояния оборудования.

Представленные системы обладают рядом недостатков, как например:

1. Система «DYNAMITE» не осуществляет самостоятельный анализ технологического состояния станка.
2. Система «Mtelligence» охватывает вопросы, связанные с приобретением данных, мониторинга состояния, диагностики, прогноза и управления обслуживания заказов на выполнение работ. Размер базы данных, который необходим для выполнения функций в полном объеме, не достаточен, что ограничивает ее практическое применение.
3. Системы «Аврора», «Паллада+» и «Атлант-8» представляют собой программные продукты, в основе которых лежат экспертные базы знаний, основывающиеся свой метод диагностики на вибрационном анализе. Для их функционирования дополнительно требуется виброанализатор.
4. Система WatchDog Agent оборудована широким спектром датчиков, имеет огромную базу знаний экспертов и дает достаточно полную картину о возникшей неисправности. Недостат-

ком системы является отсутствие возможности оценить состояние технологического оборудования в режиме реального времени.

Полученная информация позволяет определить, что создание подобной системы мониторинга для «безлюдного» производства имеет ряд специфических задач:

Во-первых, система должна быть оборудована достаточным количеством датчиков, которые позволят получать достоверные данные о станке. Количество датчиков не должно сказываться на сложности станка и оказывать сильное влияние на их стоимость.

Во-вторых, при распознавании полученных данных необходимо выделять только информативные параметры, описывающие состояние оборудования, исключив шумы.

В-третьих, системы прогнозирования должны быть гибкими, корректирующими значения в реальном времени, в зависимости от полученной из блока распознавания информации.

В-четвертых, принятое решение о техническом состоянии должно учитывать не только возможность уменьшения риска поломки оборудования или снижения износа его узлов, но и соответствовать выбранной программе обработки, с возможностью минимального отклонения от технологического процесса.

Для комплексного анализа необходимо учитывать полный перечень факторов, влияющих на состояние исследуемого объекта. Для функционирования подобной конструкции разрабатывается модульная система «e- Mind Machine».

Основу интеллектуальной платформы модуля e-Mind Machine (e-MM) составляет система знаний (СЗ) [9-10], включающая совокупность блоков (рис. 1):

1. Процесс обработки.
2. Состояние станка.
3. Инструмент.
4. Заготовка — деталь.
5. Информационный обмен.

Сформированный подход создает возможность управления многооперационным станком (МОС) путем непосредственного внесения коррекций в УЧПУ за счет информационной и интеллектуальной поддержки на базе собственной СЗ о состоянии элементов станочной системы.

Особое внимание следует уделить блоку «Мониторинг состояния станка». Основная функция этого блока заключается в мониторинге состояния устройств (подсистем) МОС и предупреждения нарушений работоспособности. В приложении к концепции проекта e-Mind Machine в мониторинг включены следующие процедуры:

- наблюдение за состоянием МОС по критериям работоспособности,
- наблюдение за изменением и развитием процессов,
- происходящих в устройствах станка, их оценивание,
- прогнозирование и принятие оперативных и тактических решений для выполнения действий по поддержанию надежности.

Из определения категории «работоспособность машин» следует, что это состояние машины, при котором она способна выполнять заданные функции, сохраняя значения параметров в пределах, установленных нормативной технической документацией, а работоспособность станка — это способность бесперебойно выпускать качественную продукцию в заданном количестве в течение определенного срока.

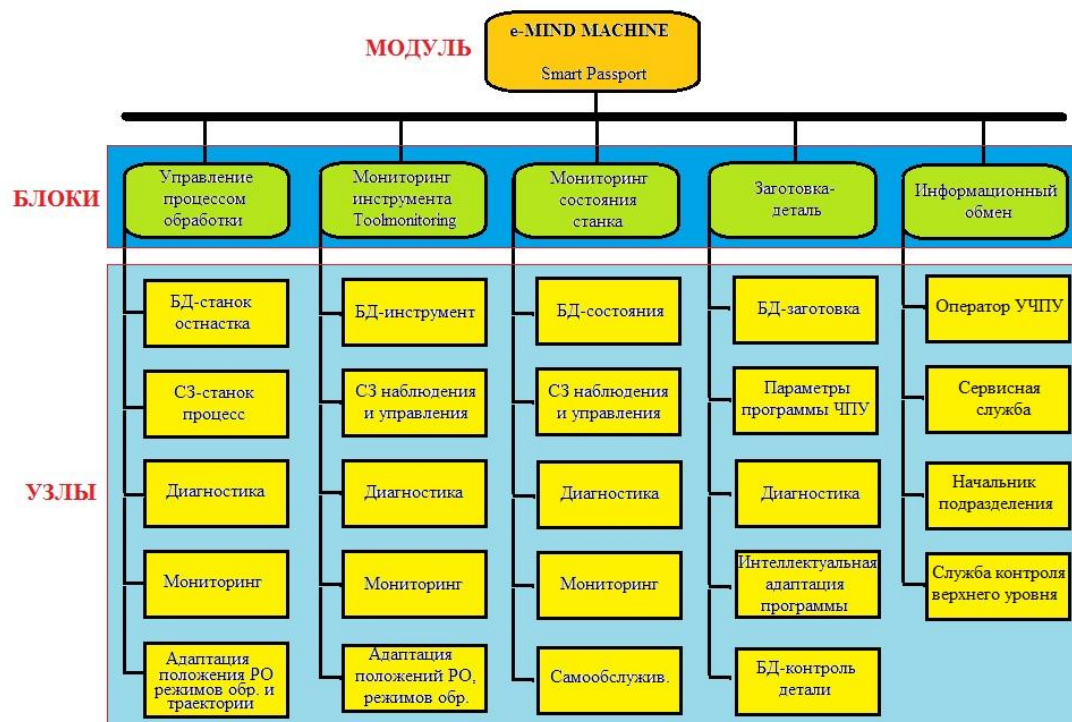


Рис. 1. Структура модуля e-Mind Machine

В основе предложенной методологии решения задач контроля и диагностики технического состояния МОС используется метод «Распознавания и устранения», основанный на сравнении результатов измерений технических параметров реального МОС с расчетными параметрами, вычисленными по его математической модели.

В качестве характеристик индивидуального МОС на этапе настройки (обучения) нейронной сети (НС) могут использоваться:

- а) математическая модель МОС с заранее известным состоянием изношенных узлов;
- б) реальные данные по изношенным узлам МОС, полученные на этапе испытаний.

Параметры нечеткой границы используются в соответствии с теорией нечетких множеств Л. Заде (рис. 2).

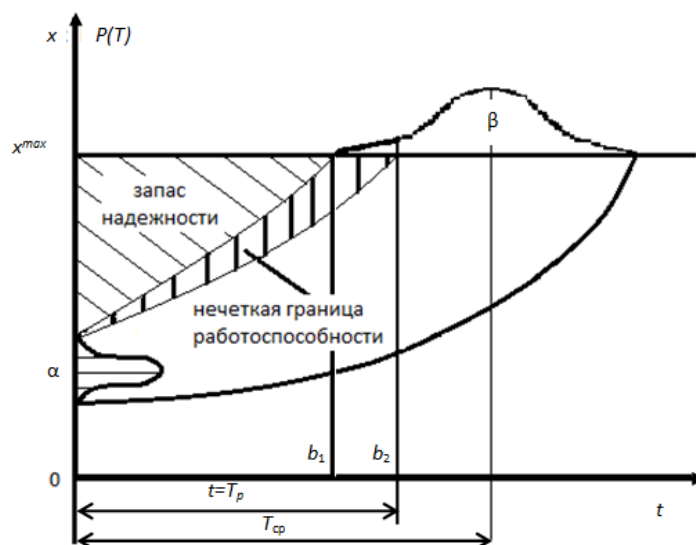


Рис. 2. Схема для определения нечеткой границы работоспособности

Суммируя данные по результатам работы нейросети по методу определения нечеткой границы работоспособности оборудования, можно получить наглядный пример работоспособности интеллектуальной системы оценки технического состояния станка (рис. 3).

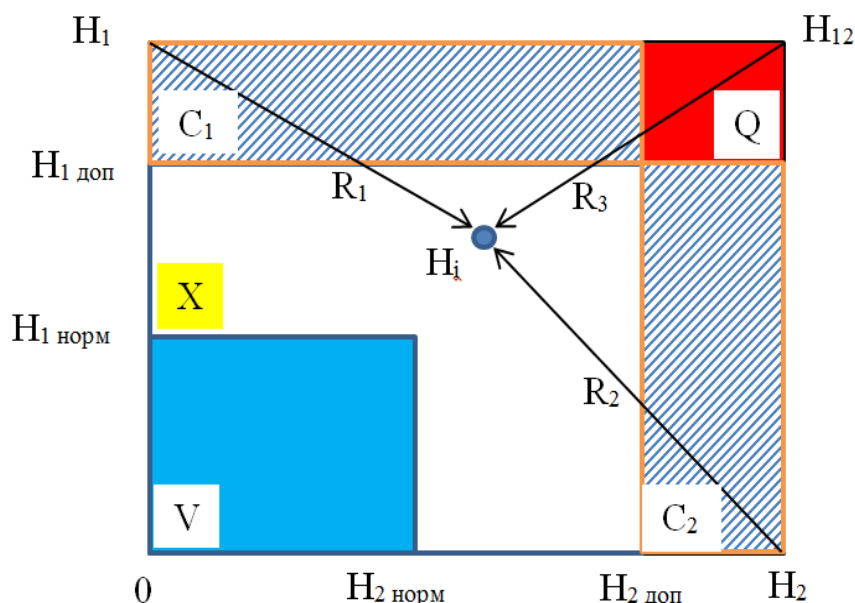


Рис. 3. Нейро-нечеткий вывод состояния станка

Метод позволяет проанализировать состояние узла по многим параметрам одновременно (на рисунке изображен метод оценки по двум параметрам). Подобное распределение значений позволяет в режиме реального времени определять состояние технологической системы. Полученную информацию необходимо структурировать и хранить в базе данных (рис. 4) для дальнейшего использования.

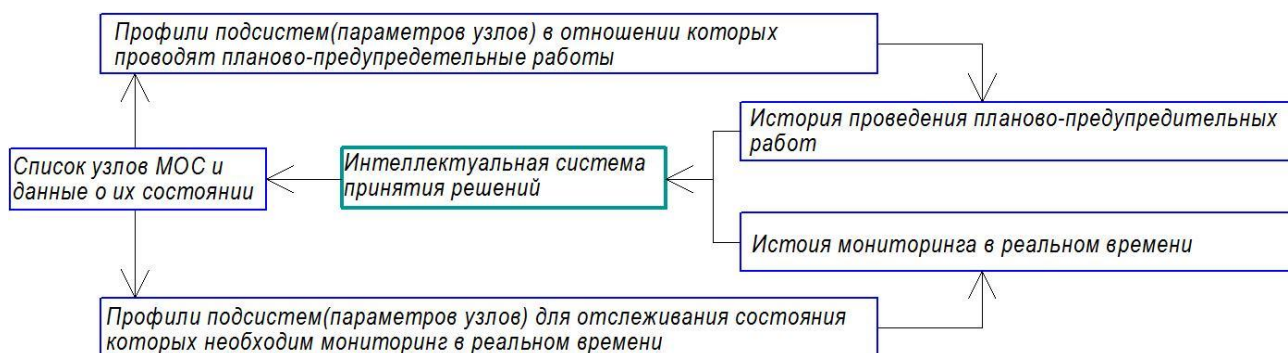


Рис. 4. Структурная схема базы данных

Основываясь на обработанные нейросетью данные датчиков, система выводит информацию о текущем состоянии узла или станка в целом. Полученная информация позволяет оператору принять решение о корректирующих действиях.

**Практическое применение полученной информации.** Для доказательства правильности предоставленных утверждений проводился ряд экспериментов с использованием следующего оборудования:

1. Станок — HAAS Super Mini Mill;

2. Акселерометр — MPU 6050;
3. Плата — Arduino Nano;
4. Ноутбук с ПО (ARDUINO 1.5.1 и MatLab 2015);
5. Динамометр токаря.

Назначения устройства — получение и обработка информации о станке.

При проведении комплекса работ используется дополнительное оборудование на станке для получения подробной информации по состоянию (рис. 4). Для этого спроектировано испытательное устройство и методология проверки станков.

Процедура проверки имеет следующий механизм реализации:

1. На выключенном станке производится замер жесткости шпинделя, согласно ГОСТ 6820-75.
2. Датчики устанавливаются на корпус шпинделя, максимально близко к зоне резания, чтобы во время проверки получить максимально информативные значения вибрации;
3. На станке выставляется частота вращения шпинделя, на которой будет проводиться исследование;
4. По шине данных USB происходит передача информации с датчика на порт наблюдения в компьютере;
5. Полученные данные составляют массив значений;
6. Повторение пунктов 3–5 с целью получения необходимого числа повторений и определения значений при разной частоте вращения шпинделя.

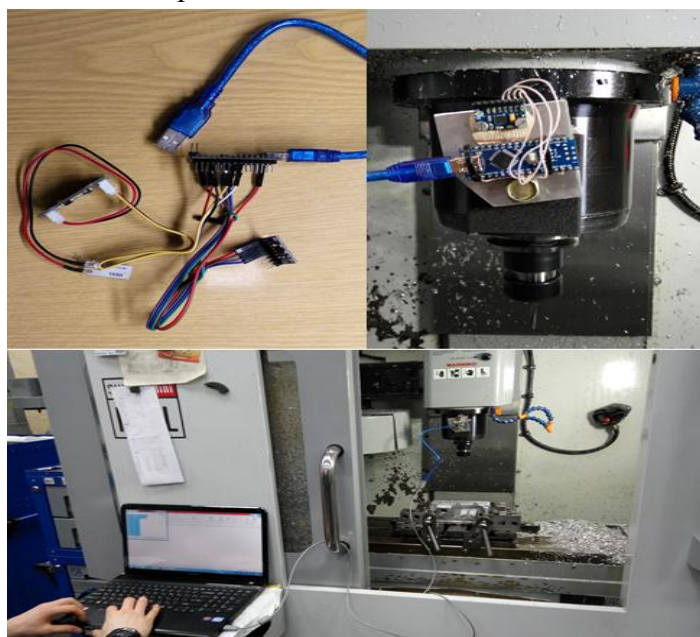


Рис. 4. Испытательное устройство и исследуемое оборудование

Испытания проводились на трех станках, имеющих разные уровни технического состояния. Значения максимальных амплитуд и средних значений показаний, полученных с акселерометра, сравнивались и использовались как входные данные для определения нечетких границ работоспособности с помощью программы MatLab-FuzzyLogic (рис. 5).

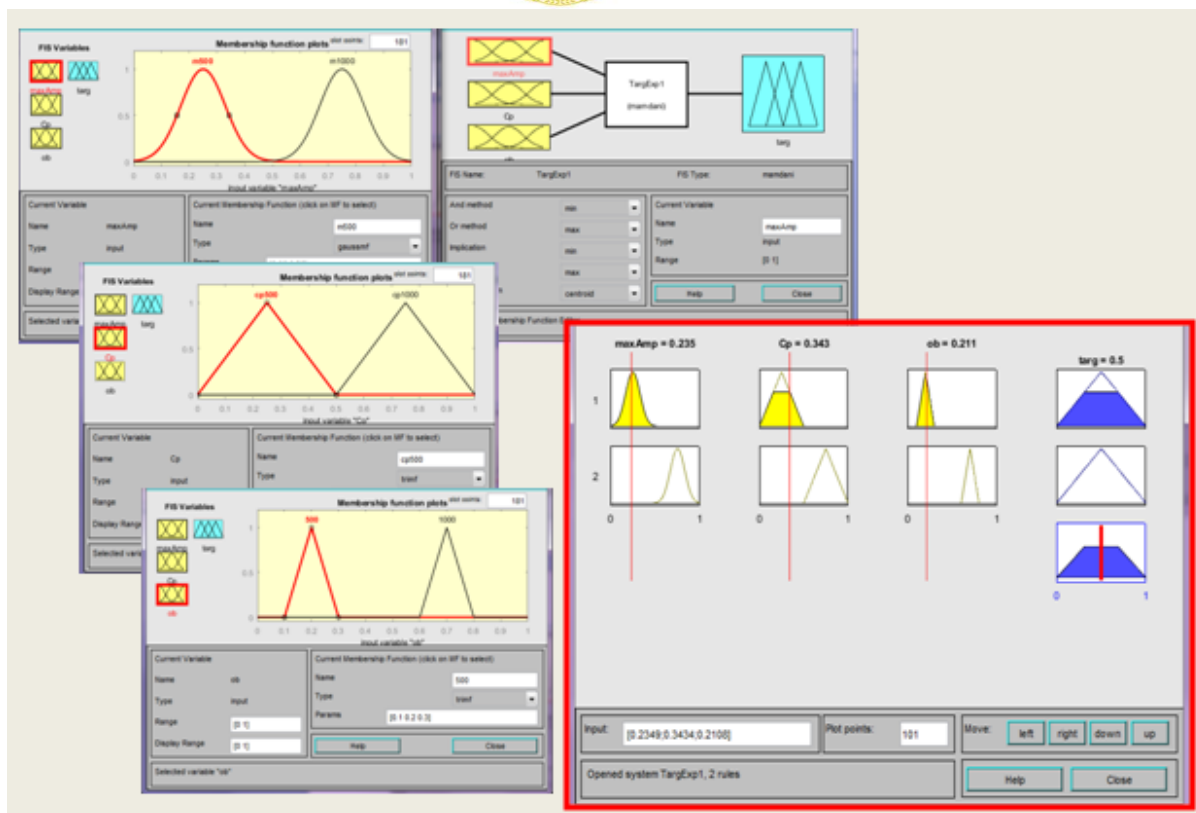


Рис. 6. Обработанные данные в MatLab.

На выходе получается вектор значений, в котором «1» — полное соответствие параметров, «0» — несоответствие хотя бы одного параметра заданным условиям. Подобный метод оценки работоспособности оборудования позволяет определить широту диапазона реагирования по принятию решения о состоянии объекта.

**Заключение.** Интеллектуальные системы управления мониторингом состояния многооперационных станков сокращают время простоя и обслуживания оборудования, осуществляют идентификацию неисправностей. Использование методов нечеткой логики позволяет упростить ИСУ, обеспечить оперативность определения результатов оценки состояний.

### Библиографический список

1. Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining (SIMON) project from Intelligent Manufacturing Systems (IMS). 2.4.32.2-Final-Report-SIMON. — Режим доступа : <http://www.ims.org/2012/11/simon-sensor-fused-intelligent-monitoring-system-for-machining/> (дата обращения: 03.12.2014)
2. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management / J. Lee, F. Kimura, van Houten F.J.A.M., E. Westkamper, M. Shpitalni, D. Ceglarek, S. Takata // *CIRP annals*. 2004, vol. 53, n<sup>o</sup>2. P. 643–655.
3. Соколов, Б. В. Анализ возможных путей внедрения концепции CL<sub>2</sub>M при разработке программных систем / Б. В. Соколов, М. Ю. Охтилев, А. И. Птушкин. // 10-я международная конференция «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM—2010)», Россия, Москва,

19–21 октября 2010 г. Труды конференции. — Москва : Институт проблем управления РАН. — с. 314–317.

4. Jay Lee, Jun Ni, Dragan Djurdjanovic, Hai Qiu, Haitao Liao. Intelligent prognostics tools and e-maintenance, *Computers in Industry* 57 (2006) — pp. 476–489.

5. D Djurdjanovic, J Lee, J Ni. Watchdog Agent—an infotronics-based prognostics approach for product performance degradation assessment and prediction/*Advanced Engineering Informatics* — 17 (3). — pp. 109–125.

6. DynaWeb is an e-maintenance solution to future sustainable industrial and societal challenges. — Режим доступа : <http://dynamite.vtt.fi>. (дата обращения 08.10.2015 г.)

7. Condition based monitoring 3.0. — Режим доступа : [www.wonderware.ru](http://www.wonderware.ru) (дата обращения 12.12.2015 г.).

8. Диагностирование и прогнозирование технического состояния мехатронных модулей движения технологического оборудования: монография/ Т. Н. Круглова, Н. А. Глебов. — Новочеркасск, 2011. — 119 с.

9. Самодуров, Г. В. Принципы построения интеллектуальной электронной документации станка / Г. В. Самодуров, А. К. Тугенгольд, Н. П. Юденков, Е. А. Лукьянов // *СТИН*. — 2012. — №7. — с.15–20.

10. Тугенгольд, А. К. К вопросу формирования системы знаний при интеллектуальном электронном документировании мехатронных объектов. / А. К. Тугенгольд, А. С. Тишин, А. Ф. Лысенко // *Вестник Дон. гос. техн. ун-та*. — 2012. — Т. 12 — №3(64)— с. 30–36.