

**ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
И РЕМОНТА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ
ЦЕНТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ**

В. А. Немтинов¹, В. А. Парсков¹, А. Б. Борисенко¹, Ю. В. Немтинова²

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» (1),
nemtinov@mail.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия;
кафедра «Менеджмент, маркетинг и реклама» (2), jnemtinova@hotmail.com;
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина»,
Тамбов, Россия*

Ключевые слова: вертикально-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ Challenger MCV-2418; информационно-логическая модель; принятие решений; техническое обслуживание и ремонт.

Аннотация: Рассмотрен подход к управлению техническим обслуживанием и ремонтом станков с числовым программным управлением (ЧПУ), базирующийся на использовании теории построения экспертных систем. Поставлена и решена задача оптимального выбора мероприятий при проведении технического обслуживания и ремонта сложного оборудования с ЧПУ. Рассмотрены вопросы построения информационно-логической модели поддержки принятия решений при его проведении, позволяющей в зависимости от текущего состояния узлов станка и технических условий изготовления деталей найти оптимальный вариант проведения технического обслуживания и наладки вертикально-фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ. Разработан программный комплекс, реализующий решение поставленной задачи, который апробирован при проведении технического обслуживания и ремонта вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ Challenger MCV-2418.

Введение

С развитием науки и техники технология производства продукции на оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ) стала одной из незаменимых важных технологий в обрабатывающей промышленности. Станки с ЧПУ являются актуальным производственным оборудованием, и их надежность напрямую влияет на качество продукции. Техническое обслуживание данного типа оборудования играет стратегическую роль в функционировании машиностроительного предприятия и может составлять значительную часть стоимости жизненного цикла продукта. Внедрение эффективной системы управления техническим обслуживанием позволяет понимать его значение в глобальном масштабе благодаря интеграции знаний и информации, полученных различными участни-

ками (например, операторами, командой технического обслуживания, производителем станков с ЧПУ) и источниками (автоматическими аварийными сигналами, отчетами группы технического обслуживания, руководства).

Авторами многих работ рассмотрены различные подходы к созданию автоматизированных систем технического обслуживания сложного оборудования. Так в работе [1] предложен подход для поддержки принятия решений по автоматизированному планированию технического обслуживания оборудования с ЧПУ исследовательского центра. Основная структура системы управления техническим обслуживанием основана на классификации работ по техническому обслуживанию; распределении этих работ между различными сервисными подразделениями в соответствии с требуемыми знаниями и безопасностью; планировании профилактических вмешательств; определении вариантов контрольного списка и настраиваемых ответов для консолидации выполнения работ по техническому обслуживанию и обучении команды технического обслуживания. Основными результатами являются отслеживание мероприятий по техническому обслуживанию для обеспечения задач по его выполнению в соответствии с требованиями производителей станков с ЧПУ, а также вовлечение операторов станков в техническое обслуживание своего оборудования для повышения производительности производства и надежности активов. Фактически, данный подход обеспечивает методологию для тех компаний, которые впервые рассматривают возможность улучшения планирования технического обслуживания, позволяя конечному пользователю получить базовое техническое обслуживание оборудования вместе с гарантией начала накопления данных о техническом обслуживании.

Как отмечают авторы работ [2, 3], неразумная стратегия технического обслуживания увеличивает затраты на его проведение и может значительно снизить эффективность станков с ЧПУ. Следовательно, для получения научной и разумной стратегии технического обслуживания на системном уровне следует учитывать не только состояние износа узлов, но и их взаимное влияние с другими узлами станков с ЧПУ. Износ оборудования влияет на качество производимой продукции, поскольку с увеличением износа увеличивается количество дефектов [3]. Авторами предлагается стратегия группового обслуживания станков с ЧПУ, учитывающая экономическую зависимость, структурную и стохастическую зависимости между критическими узлами, и оптимизирует стратегию группового обслуживания. Модель группового технического обслуживания станков с ЧПУ состоит из четырех подмоделей: подмодели износа узлов, подмодели решения о групповом техническом обслуживании, подмодели процесса технического обслуживания, подмодели затрат на техническое обслуживание. Используя модель группового технического обслуживания станков с ЧПУ, время и цели его проведения могут быть определены в зависимости от степени износа узлов. И затем можно рассчитать стоимость каждого технического обслуживания. В модели группового обслуживания экономическая зависимость и структурная зависимость между компонентами количественно определяются стоимостью, в то время как стохастическая зависимость количественно определяется интенсивностью отказов. В данном случае используется метод Монте-Карло для моделирования процесса работы станка и рассчитываются долгосрочные затраты на техническое обслуживание станков с ЧПУ, соответствующие определенному порогу интенсивности отказов. Наконец, генетический алгоритм используется для оптимизации пороговых значений интенсивности отказов при профилактическом обслуживании и групповом обслуживании.

В связи с отсутствием данных мониторинга и неясным пониманием механизма износа элементов станков с ЧПУ в работе [4] предложен метод оценки рабочего состояния и принятия решений по техническому обслуживанию станков с ЧПУ с несколькими состояниями, основанный на частично наблюдаемом про-

цессе принятия решений цепей Маркова. С одной стороны, учитывая несовершенную оперативную информацию о станках с ЧПУ и влияние различных мероприятий по техническому обслуживанию на процесс износа станков, построена динамическая модель оценки их рабочего состояния. С другой, разработана модель принятия решений по техническому обслуживанию станков с ЧПУ с целью минимизации общей стоимости потерь (включая затраты на техническое обслуживание и потенциальные затраты на отказы).

Принятие решений по техническому обслуживанию в крупных производственных системах является сложным процессом, поскольку требует интеграции различной информации [5 – 7]. Политика ограниченного контроля популярна на практике. Техническое обслуживание выполняется тогда, когда состояние износа станка с ЧПУ достигает порогового значения. Авторы, разрабатывая структуру, основанную на моделях цепей Маркова с дискретным временем, оценивали производительность системы в рамках политики ограничения контроля в производственных системах, состоящих из станков с ЧПУ с несколькими состояниями.

В передовых производственных системах станки с ЧПУ являются важным оборудованием для изготовления компонентов изделий высокой точности, в то время как с точки зрения обслуживания оборудования они рассматриваются как «продукты», предоставляемые производителями станков. В работе [8] представлена новая система планирования технического обслуживания, основанная на знаниях, для облегчения обмена информацией и знаниями между всеми заинтересованными сторонами, включая производителей станков, пользователей (производственные системы), поставщиков услуг по техническому обслуживанию и поставщиков деталей (для станков), в рамках формирующейся бизнес-модели «Продукт-услуга». Для повышения эффективности планирования технического обслуживания внедрены принципы обоснования, основанные на конкретных примерах.

С точки зрения жизненного цикла изделия, дорогостоящие и сложные станки с ЧПУ являются одновременно оборудованием и продукцией, надежность которых влияет не только на качество изготавливаемых деталей, но и на прибыль поставщиков оборудования. Эффективное техническое обслуживание и сервисное обслуживание играют важную роль в повышении надежности оборудования и повышении эффективности производства. Повторное использование исторических знаний – эффективный способ решения новых проблем и повышения эффективности технического обслуживания. Авторами работы [9], исходя из рассуждений, основанных на конкретных примерах, принята двухуровневая онтология для представления экспертных знаний с использованием поиска, ориентированного на адаптацию. На основе семантического сходства и корреляции выбран наиболее адаптивный исторический случай для решения текущей новой проблемы.

Анализ литературы показал, что в настоящее время используется несколько подходов автоматизации процессов принятия решений при проведении технического обслуживания и ремонта сложного оборудования с ЧПУ в зависимости от конкретных условий реализации производства машиностроительной продукции. В связи с этим предложен подход к управлению техническим обслуживанием станков с ЧПУ, базирующийся на использовании теории построения экспертных систем [10 – 12], который проиллюстрирован на примере вертикально-фрезерных обрабатывающих центров. На оборудовании данного типа осуществляются различные процессы обработок:

- обработка поверхностей фрезой в радиальном направлении;
- фрезерование пазов, окон, уступов, нарезание резьбы и т.д.;
- сверление сквозных и глухих отверстий;
- развертывание;
- обработка расточными резцами в заданный размер.

Следует отметить, что какое бы совершенное станочное оборудование не выпускалось, операции по его регулировке, настройке и контролю над технологическими параметрами будут присутствовать всегда. Это связано и с износом рабочих органов, и различием технологий изготовления деталей. Поэтому специалистам по техническому обслуживанию нужны глубокие знания не только по конструкции, теории производственных процессов в токарных станках, но и умение выполнять регулировку и настройку в зависимости от свойств и состояния обрабатываемого материала, технического состояния, износа деталей, узлов и механизмов [13 – 15].

Системы технического обслуживания вертикально-фрезерных обрабатывающих центров

Техническое обслуживание станков с ЧПУ включает в себя совокупность организационных и технических мероприятий, обеспечивающих поддержание их выходных параметров на заданном уровне в течение всего периода эксплуатации; осмотр и контроль технического состояния станка и системы управления: чистку, замену смазочно-охлаждающей жидкости, промывку и смазывание механизмов станка и элементов системы управления; замену износившихся деталей, узлов механизмов и вышедших из строя элементов и блоков управления станком; проверку гидро- и электроприводов. Для каждого станочного оборудования характерно ухудшение технических параметров в процессе эксплуатации, что выражается в естественном изменении геометрии, то есть детали станка, подвергаясь механическим и эрозионным воздействиям, в течение времени меняются в размерах. В результате чего параллельность конструкции нарушается, что, безусловно, сказывается на жесткости станка в целом и приводит к поломке станка.

Причины аварий и поломок вертикально-фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ:

1. Конструктивные недостатки:

– конструкции узлов и их крепления, а также системы смазки; недостаточная жесткость и виброустойчивость; отсутствие предохранительных устройств и т.д.;

– конструкции деталей (неправильное назначение допусков, режимов термообработки, размеров и геометрической формы и т.д.);

2. Дефекты изготовления металла (дефекты качества материала, литья и заготовок) и сборки станка (некачественные пригонка сопрягаемых деталей и разводка пневмо- и гидросистем станка; утечка смазочных масел; наличие посторонних предметов и стружки);

3. Некачественный уход за станком:

– содержание оборудования в грязном состоянии (попадание влаги, пыли и стружки между трущимися деталями станка);

– отсутствие или некачественная смазка (отсутствие масла в емкостях станка; неисправность насоса или его привода; засоренность маслопровода; применение загрязненного масла или масла несоответствующей вязкости);

4. Неправильная наладка:

– некачественная наладка и регулировка (применение подач, глубины резания и скоростей свыше расчетных; применение незаточенного, режущего инструмента).

Для реализации на станках с ЧПУ всех фрезерных работ необходима их тщательная подготовка и наладка, качественное проведение которых в оптимальные сроки положительно отразится на готовой детали.

Задача оптимального выбора мероприятий при проведении технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ

В формализованном виде постановку задачи оптимального выбора мероприятий при проведении технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ в зависимости от их текущего состояния представим так: нужно найти такой перечень мероприятий, чтобы при выполнении условий

$$Tx_i^{\min} \leq Tx_i \leq Tx_i^{\max}, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

оператора, представляющего математическую модель поддержки принятия решения при проведении технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ, включающую в себя информацию об их деталях и узлах, текущем состоянии, способах устранения неисправностей, характеристиках процессов технического обслуживания и ремонта, справедливо следующее положение:

$$k_{opt} = \arg \min Q(k), \quad k \in K. \quad (2)$$

Критерий оптимальности Q представлен в виде суммы относительных потерь критериев, взятых с определенными значениями их важности: ориентировочных затрат на реализацию процессов технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ, технологичности и безопасности процессов их проведения:

$$Q(k) = \sum_{j=1}^3 (\rho_j \varpi_j(k)), \quad (3)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – весовые коэффициенты, заданные экспертами.

$$\rho = \left\{ \rho_j : \rho_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3; \quad \sum_{j=1}^3 \rho_j = 1 \right\}, \quad (4)$$

где $Tx_i, Tx_i^{\min}, Tx_i^{\max}$ – соответственно текущее и предельные значения i -ой характеристики станка с ЧПУ; N – количество характеристик; $\rho_j \varpi_j(k)$ – взвешенные потери по каждому j -му критерию; $\rho_j \varpi_j(k) = \varpi_j(F_j(k)), j = 1, \dots, 3, k \in K$ – функциональные зависимости, преобразующие соответствующие функции $F_j(k)$ к безразмерному виду; $F_1(k)$ – ориентировочные затраты на реализацию процессов технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ; $F_2(k), F_3(k)$ – соответственно значения технологичности и безопасности процессов их проведения. Для функции $F_1(k)$ будем искать минимум, а для функций $F_2(k), F_3(k)$ – максимум.

Функциональные зависимости, преобразующие функции $F_j(k)$ к безразмерному виду следующим образом:

$$\varpi_1(k) = \frac{F_1(k) - F_1^0}{F_1^{\max} - F_1^0}; \quad \varpi_l(k) = \frac{F_l^0(k) - F_l(k)}{F_l^0 - F_l^{\min}}; \quad l = 2, 3, \quad (5)$$

где F_1^{\max} – максимальное значение функции $F_1(k)$, для которой выполняется поиск минимума; F_2^{\min}, F_3^{\min} – минимальное значение функций $F_2(k), F_3(k)$, для которых выполняется поиск максимума; F_1^0, F_2^0, F_3^0 – оптимальные значения соответствующих $F_j(k), j = 1, \dots, 3$.

При решении задачи (1) – (5) задаются значения коэффициентов $\rho_j, j = 1, \dots, 3$, удовлетворяющие соотношению (4) и отражающие относительную значимость критериев $F_j(k)$.

Для каждого k -го формируемого перечня мероприятий ориентировочная стоимость $F_1(k)$ представляет собой сумму стоимостей отдельных мероприятий, а $F_2(k)$ и $F_3(k)$ вычисляются соответственно как произведения значений технологичности и безопасности проведения процессов отдельных мероприятий, входящих в k -й вариант формируемого перечня.

Для поиска оптимального варианта перечня мероприятий при проведении технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ, удовлетворяющих нормативным требованиям, разработана информационно-логическая модель поддержки принятия решений, включающая в себя множество производственных правил [16 – 19].

В качестве примера приведем ряд правил, с помощью которых можно сформировать перечень мероприятий при техническом обслуживании и ремонте станков с ЧПУ. Производственные правила, входящие в состав модели, построены по типу: *если ... (условия выполняются), то ... (реализация следствия)*.

В настоящее время база содержит более 250 правил, конкретный вид которых рассмотрен применительно к вертикально-фрезерным обрабатывающим центрам с ЧПУ, в частности станку Challenger MCV-2418 (рис. 1). Правила собраны экспертами и авторами в процессе контактов с операторами-наладчиками вертикально-фрезерных обрабатывающих центров:

а) Правила выбора мероприятий при устранении брака при работе на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ Challenger MCV-2418:

1) *если «брак при растачивании отверстий» = «расточенное отверстие получилось овальной формы», то «биение оправки» = «замена оправки»;*

2) *если «брак при растачивании отверстий» = «расточенное отверстие получилось овальной формы», то «некорректные режимы резания» = «корректировка режимов резания»;*

3) *если «брак при растачивании отверстий» = «расточенное отверстие получилось овальной формы», то «биение шпинделя» = «замена подшипников и шеек»;*

4) *если «брак при растачивании отверстий» = «обработанная поверхность получилась нечистой», то «скололся резец» = «проверить резец, при необходимости переточить, заменить на новый»;*



Рис. 1. Общий вид вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ Challenger MCV-2418

5) *если* «брак при растачивании отверстий» = «обработанная поверхность получилась нечистой», *то* «большая подача резца» = «проверить правильность выбора подачи, провести чистовую обработку»;

6) *если* «брак при подрезании торцов и уступов» = «неперпендикулярное расположение торца или уступа к оси детали», *то* «неправильная установка резца» = «проверка правильности установки резца»;

7) *если* «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет наплыв металла», *то* «затупилась фреза» = «заточить фрезу»;

8) *если* «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет наплыв металла», *то* «затупилась фреза» = «поставить новую фрезу»;

9) *если* «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», *то* «неверная привязка нулей в системе координат» = «проверить привязку, при необходимости перепривязаться»;

10) *если* «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», *то* «неверная привязка инструмента» = «проверить привязку, при необходимости перепривязаться»;

11) *если* «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», *то* «неверная привязка инструмента» = «проверить привязку инструмента»;

12) *если* «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», *то* «неверное значение корректора инструмента» = «проверить корректор инструмента»;

13) *если* «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», *то* «проверить «базу» на наличие стружки» = «продуть «базу» от стружки»;

...

б) Правила выбора мероприятий при неисправностях на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ Challenger MCV-2418:

– при неисправностях шпинделя (рис. 2):

24) *если* «неисправность шпинделя» = «повышенное радиальное биение», *то* «изогнутость рабочего вала» = «правка вала шпинделя»;

25) *если* «неисправность шпинделя» = «повышенное радиальное биение», *то* «недостаточная затяжка подшипников, зазоры» = «регулировка подшипников, подтяжка гайки затяжки подшипников»;

26) *если* «неисправность шпинделя» = «шум в верхнем подшипнике», *то* «диагностика подшипника» = «промывка подшипника от грязи с заменой смазки или замена подшипника»;

– при неисправностях шарико-винтовой пары (ШВП) (рис. 3):

27) *если* «неисправность винта ШВП» = «незначительное ухудшение системы позиционирования», *то* «износ винта ШВП» = «компенсация осей станка»;

28) *если* «неисправность винта ШВП» = «серьезное ухудшение системы позиционирования», *то* «износ винта ШВП» = «замена винта ШВП»;

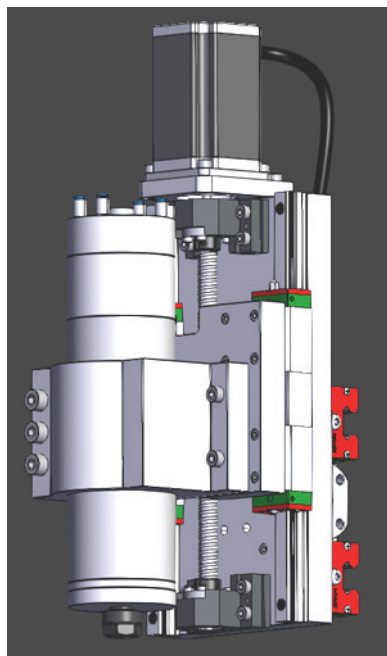


Рис. 2. Модель шпинделя

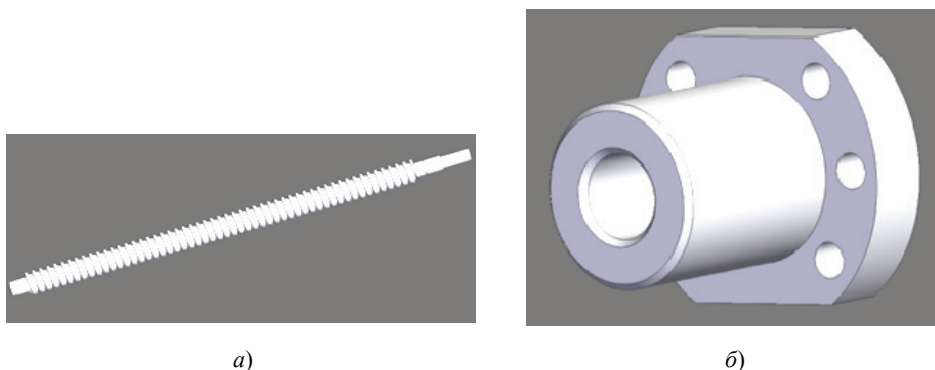


Рис. 3. Модели шарико-винтовой пары:
a – винт; *б* – гайка

29) *если* «неисправность гайки ШВП» = «незначительное ухудшение системы позиционирования», *то* «износ шарикоподшипников» = «компенсация осей станка»;

30) *если* «неисправность гайки ШВП» = «серьезное ухудшение системы позиционирования», *то* «диагностика шарикоподшипников» = «промывка шарикоподшипников с заменой смазки или замена шарикоподшипников»;

– при неисправностях опоры универсальной фиксирующей (рис. 4):

31) *если* «неисправность опоры» = «ухудшение системы позиционирования», *то* «износ подшипника» = «замена подшипника»;

32) *если* «неисправность опоры» = «повышенное радиальное биение», *то* «износ подшипника» = «замена подшипника»;

33) *если* «неисправность опоры» = «несоосность осей валов», *то* «износ подшипника» = «замена подшипника»;

...

Информация о характеристиках каждого мероприятия приведена в табл. 1.

В результате реализации модели поддержки принятия решений по выбору оптимального варианта мероприятий технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ осуществляется формирование множество мероприятий, обладающих разной эффективностью. В настоящее время размерность множества сформированных мероприятий не превышает тысячи, поэтому поиск оптимального варианта осуществляется методом полного их перебора.

Авторами разработан программный комплекс, реализующий решение задачи (1) – (5), и апробирован при проведении технического обслуживания и ремонта вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ Challenger MCV-2418.

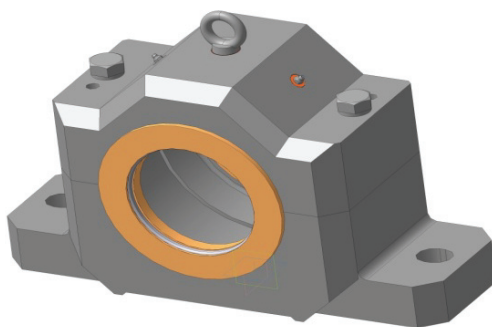


Рис. 4. Модель опоры универсальной фиксирующей

**Фрагмент базы характеристик мероприятий при проведении
технического обслуживания и ремонта станков с ЧПУ**

Номер правила	Технологичность (баллы от 1 до 10)	Ориентировочная стоимость мероприятия, р.	Безопасность замены (баллы от 1 до 10, где 10 – полная безопасность, 1 – серьезная травма рабочего)
...
24	8	32 000	8
25	8	15 000	7
26	7,6	30 000	8
27	10	11 000	9,8
28	4	55 000	6
29	10	11 000	9,8
30	4	24 000	7
31	5	27 000	7
32	5	27 000	7
...

Заключение

В результате проведенных исследований разработан подход к управлению техническим обслуживанием и ремонтом станков с ЧПУ, базирующийся на использовании теории построения экспертных систем. Поставлена и решена задача оптимального выбора мероприятий при проведении технического обслуживания и ремонта сложного оборудования с ЧПУ. Рассмотрены вопросы построения информационно-логической модели поддержки принятия решений при их проведении, позволяющей в зависимости от текущего состояния узлов станка и технических условий изготовления деталей найти оптимальный вариант проведения технического обслуживания и наладки вертикально-фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ. Апробация разработанного программного комплекса, реализующего решение задачи (1) – (5) при проведении технического обслуживания и ремонта вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ Challenger MCV-2418, показала высокую эффективность предложенного подхода.

Список литературы

1. Implementation of a Maintenance Management System for CNC Machines / J. Rossi, A. Bianchini, S. Cortesi [et al.] // Proceedings of the Summer School Francesco Turco. – 2021. – P. 271549.
2. Group Maintenance Strategy of CNC Machine Tools Considering Three Kinds of Maintenance Dependence and Its Optimization / J. Sun, Z. Sun, C. Chen [et al.] // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2021. – URL : <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-07752-6> (дата обращения: 25.08.2022).

3. Hajej, Z. Quality Issue in Forecasting Problem of Production and Maintenance Policy for Production Unit / Z. Hajej, N. Rezg, A. Gharbi // *International Journal of Production Research*. – 2018. – Vol. 56, No. 18. – P. 6147 – 6163.
4. Zixuan, F. Operational State Evaluation and Maintenance Decision-making Method for Multi-state CNC Machine Tools Based on Partially Observable Markov Decision Process / F. Zixuan, W. Xiaodong, W. Lifang // *Proceedings of 2020 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC)*, 05 – 07 August, 2020, Beijing, China. – IEEE, 2020. – P. 120 – 124. doi: 10.1109/SDPC49476.2020.9353134
5. Gu, X. Performance Evaluation for Manufacturing Systems under Control-Limit Maintenance Policy / X. Gu, W. Guo, X. Jin // *Journal of Manufacturing Systems*. – 2020. – Vol. 55. – P. 221 – 232. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.03.003
6. Patil, R. B. Integrated Reliability and Maintainability Analysis of Computerized Numerical Control Turning Center Considering the Effects of Human and Organizational Factors / R. B. Patil // *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. – 2020. – Vol. 26, No. 1. – P. 87 – 103. doi: 10.1108/JQME-08-2018-0063
7. Xing, J. A Hybrid Multi-Objective Algorithm for Energy-Efficient Scheduling Considering Machine Maintenance / J. Xing, F. Qiao, H. Lu // *IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 22 – 26 August 2019, Vancouver, BC, Canada. – IEEE, 2019. – P. 115 – 120. doi: 10.1109/COASE.2019.8843144
8. A Knowledge Based Machine Tool Maintenance Planning System Using Case-Based Reasoning Techniques / S. Wan, D. Li, J. Gao, J. Li // *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. – 2019. – Vol. 58. – P. 80 – 96. doi: 10.1016/j.rcim.2019.01.012
9. Maintenance and Service Knowledge Reusing for CNC Machine Tools / S. Wan, D. Li, F. He, Y. Tong // *Computer Integrated Manufacturing Systems*. – 2018. – Vol. 24, No. 9. – P. 2254 – 2269. doi: 10.13196/j.cims.2018.09.013
10. Nemtinov, V. Automation of the Early Stages of Plating Lines Design / V. Nemtinov, N. Bolshakov, Yu. Nemtinova // *MATEC Web of Conferences : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*, 11 – 15 September, 2017, Sevastopol. – Sevastopol, 2017. – Vol. 129. – P. 01012. doi: 10.1051/mateconf/201712901012
11. Рыбина, Г. В. Применение интеллектуального анализа данных для построения баз знаний интегрированных экспертных систем / Г. В. Рыбина // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2012. – № 11. – С. 36 – 53.
12. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та*. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 364 – 373. doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373
13. Краснянский, М. Н. Математическое моделирование адаптивной системы управления профессиональным образованием / М. Н. Краснянский, А. И. Попов, А. Д. Обухов // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та*. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 196 – 208. doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.196-208
14. Мокрозуб, В. Г. Постановка задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассортиментных химических производств / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та*. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 252 – 264. doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.252-264
15. Nemtinov, K. Rationale Construction of Individual Elements of Technological Complex / K. Nemtinov, A. Eruslanov, Yu. Nemtinova // *MATEC Web of Conferences : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018)*, 10 – 14 September, 2018, Sevastopol. – Sevastopol, 2018. – Vol. 224. – P. 02036. doi: 10.1051/e3sconf/201912600003

16. Nemtinov, V. A. On an Approach to Designing a Decision Making System for State Environmental Examination / V. A. Nemtinov, Yu. V. Nemtinova // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. – 2005. – Vol. 44, No. 3. – P. 389 – 398.

17. Analysis of Decision-Making Options in Complex Technical System Design / V. A. Nemtinov, A. N. Zazulya, V. P. Kapustin, Yu. V. Nemtinova // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1278 (1). – P. 012018. doi: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018

18. Mokrozub, V. G. An Approach to Smart Information Support of Decision-Making in the Design of Chemical Equipment / V. G. Mokrozub, V. A. Nemtinov // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2015. – Vol. 51, No. 7. – P. 487 – 492. doi: 10.1007/s10556-015-0074-4

19. Mokrozub, V. G. Procedural Model for Designing Multiproduct Chemical Plants / V. G. Mokrozub, V. A. Nemtinov, A. V. Mokrozub // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2017. – Vol. 53, No. 5-6. – P. 326 – 331. doi: 10.1007/s10556-017-0342-6

Maintenance and Repair of Vertical Milling Machining Centers Using Software Tools

V. A. Nemtinov¹, V. A. Parskov¹, A. B. Borisenko¹, Yu. V. Nemtinova²

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering (1),
nemtinov@mail.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russia;*

*Department of Management, Marketing and Advertising (2),
Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia*

Keywords: CNC vertical milling center Challenger MCV-2418; information-logical model; making decisions; maintenance and repair.

Abstract: An approach to the management of maintenance and repair of machine tools with numerical control (CNC), based on the use of the theory of building expert systems, is considered. The problem of the optimal choice of measures for the maintenance and repair of complex CNC equipment has been posed and solved. The issues of building an information-logical model for decision support during its implementation, which allows, depending on the current state of the machine components and the technical conditions for manufacturing parts, to find the best option for maintenance and adjustment of CNC vertical milling machining centers are considered. A software package that implements the solution of the task has been developed; it was tested during the maintenance and repair of the vertical milling machining center with CNC Challenger MCV-2418.

References

1. Rossi J., Bianchini A., Cortesi S., Naisson P., Atieh S. Implementation of a Maintenance Management System for CNC Machines, *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, 2021, p. 271549.

2. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-07752-6> (accessed 25 August 2022).

3. Hajej Z., Rezg N., Gharbi A. Quality Issue in Forecasting Problem of Production and Maintenance Policy for Production Unit, *International Journal of Production Research*, 2018, vol. 56, no. 18, pp. 6147-6163.

4. Zixuan F., Xiaodong W., Lifang W. Operational State Evaluation and Maintenance Decision-making Method for Multi-state CNC Machine Tools Based on Partially Observable Markov Decision Process, *Proceedings of 2020 International*

Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC), 05 - 07 August, 2020, Beijing, China, IEEE, 2020, pp. 120-124, doi: 10.1109/SDPC49476.2020.9353134

5. Gu X., Guo W., Jin X. Performance Evaluation for Manufacturing Systems under Control-Limit Maintenance Policy, *Journal of Manufacturing Systems*, 2020, vol. 55, pp. 221-232, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.03.003

6. Patil R.B. Integrated Reliability and Maintainability Analysis of Computerized Numerical Control Turning Center Considering the Effects of Human and Organizational Factors, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2020, vol. 26, no. 1, pp. 87-103, doi: 10.1108/JQME-08-2018-0063

7. Xing J., Qiao F., Lu H. A Hybrid Multi-Objective Algorithm for Energy-Efficient Scheduling Considering Machine Maintenance, IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 22 - 26 August 2019, Vancouver, BC, Canada, IEEE, 2019, pp. 115-120, doi: 10.1109/COASE.2019.8843144

8. Wan S., Li D., Gao J., Li J. A Knowledge Based Machine Tool Maintenance Planning System Using Case-Based Reasoning Techniques, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2019, vol. 58, pp. 80-96, doi: 10.1016/j.rcim.2019.01.012

9. Wan S., Li D., He F., Tong Y. Maintenance and Service Knowledge Reusing for CNC Machine Tools, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2018, vol. 24, no. 9, pp. 2254-2269, doi: 10.13196/j.cims.2018.09.013

10. Nemtinov V., Bolshakov N., Nemtinova Yu. Automation of the Early Stages of Plating Lines Design, MATEC Web of Conferences: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017), 11 - 15 September, 2017, Sevastopol, 2017, vol. 129, p. 01012, doi: 10.1051/mateconf/201712901012

11. Rybina G.V. [Application of data mining for building knowledge bases of integrated expert systems], *Avia-kosmicheskoye priborostroyeniye* [Aerospace instrumentation], 2012, no. 11, pp. 36-53. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Mokrozub V.G., Malygin Ye.N., Karpushkin S.V. [System analysis of decision-making processes in the development of technological equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 3, pp. 364-373, doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373 (In Russ., abstract in Eng.)

13. Krasnyanskiy M.N., Popov A.I., Obukhov A.D. [Mathematical modeling of an adaptive system of professional education management], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 196-208, doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.196-208 (In Russ., abstract in Eng.)

14. Mokrozub V.G., Malygin Ye.N., Karpushkin S.V. [Setting the problem of developing mathematical and information support for the design process of multi-assortment chemical production], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 252-264, doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.252-264 (In Russ., abstract in Eng.)

15. Nemtinov K., Eruslanov A., Nemtinova Yu. Rationale Construction of Individual Elements of Technological Complex, MATEC Web of Conferences: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018), 10 - 14 September, 2018, Sevastopol, 2018, vol. 224, p. 02036, doi: 10.1051/e3sconf/201912600003

16. Nemtinov V.A., Nemtinova Yu.V. On an Approach to Designing a Decision Making System for State Environmental Examination, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2005, vol. 44, no. 3, pp. 389-398.

17. Nemtinov V.A., Zazulya A.N., Kapustin V.P., Nemtinova Yu.V. Analysis of Decision-Making Options in Complex Technical System Design, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1278 (1), p. 012018, doi: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018

18. Mokrozub V.G., Nemtinov V.A. An Approach to Smart Information Support of Decision-Making in the Design of Chemical Equipment, *Chemical and Petroleum Engineering*, 2015, vol. 51, no. 7, pp. 487-492, doi: 10.1007/s10556-015-0074-4

19. Mokrozub V.G., Nemtinov V.A., Mokrozub A.V. Procedural Model for Designing Multiproduct Chemical Plants, *Chemical and Petroleum Engineering*, 2017, vol. 53, no. 5-6, pp. 326-331, doi: 10.1007/s10556-017-0342-6

Durchführung der Wartung und Reparatur von Vertikal-Fräsbearbeitungszentren mit Software-Tools

Zusammenfassung: Es ist ein Ansatz für die Steuerung von Wartung und Reparatur von numerisch gesteuerten Maschinen (CNC) betrachtet, der auf der Theorie des Aufbaus von Expertensystemen basiert. Gestellt und gelöst ist das Problem der optimalen Auswahl von Maßnahmen zur Wartung und Reparatur komplexer CNC-Anlagen. Es ist die Problematik des Aufbaus eines informationslogischen Modells zur Entscheidungsunterstützung während seiner Implementierung betrachtet, das es ermöglicht, abhängig vom aktuellen Zustand der Maschinenkomponenten und den technischen Bedingungen für die Herstellung von Teilen, die beste Option für die Wartung und Anpassung der CNC-Vertikalfräsbearbeitung zu finden. Es ist ein Softwarepaket entwickelt, das die Lösung der Aufgabe umsetzt und bei der Wartung und Reparatur eines vertikalen Fräsbearbeitungszentrums mit CNC-Herausforderer MCV-2418 getestet worden ist.

Entretien et réparation des centres d'usinage de fraisage vertical avec l'utilisation des logiciels

Résumé: Est examinée une approche de la gestion de l'entretien et de la réparation des machines à commande numérique (CNC) basée sur l'utilisation de la théorie de la construction de systèmes experts. Est également résolu le problème du choix optimal des activités de maintenance et de réparation d'équipements CNC complexes. Sont examinées les questions de la construction d'un modèle d'information-logique d'aide à la décision lors de sa réalisation ce qui permet, en fonction de l'emplacement actuel des nœuds de la machine et des conditions techniques de fabrication des pièces, de trouver une option pour la maintenance et la mise en place des centres d'usinage CNC. Est mis en oeuvre un ensemble de logiciels qui permet la solution de la tâche et qui est testé lors de l'entretien et la réparation du centre d'usinage de fraisage vertical CNC Challenger MCV-2418.

Авторы: *Немтинов Владимир Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Парсков Вадим Александрович* – магистрант; *Борисенко Андрей Борисович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия; *Немтинова Юлия Владимировна* – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента, маркетинга и рекламы, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», Тамбов, Россия.
