

УДК 658.62.018.012:519.2

DOI: 10.12737/article\_5a8ef9cf8f1e97.91258557

**Б.М. Бржозовский, д.т.н., П.Ю. Бочкарев, д.т.н.,  
В.В. Мартынов, д.т.н., П.В. Мартынов, к.т.н.**  
(ФГБОУ ВО Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)  
E-mail: v\_martynov@mail.ru

## **Проблемы управления, мониторинга и диагностики сложных мехатронных систем в машиностроении**

*Рассмотрены основные проблемы, связанные с эффективной эксплуатацией сложных мехатронных систем (СМС) в машиностроении. Показана целесообразность применения статистического оценивания и представлены методы для его проведения, позволяющие определять характеристики СМС по результатам наблюдений за ее пространственно-временной эволюцией.*

**Ключевые слова:** станочные мехатронные системы; управление; мониторинг; диагностика; проблемы.

**B.M. Brzhozovsky, D. Eng., P.Yu. Bochkaryov, D. Eng.,  
V.V. Martynov, D. Eng., P.V. Martynov, Can. Eng.**  
(FSBEI HE Gagarin State Technical University of Saratov, 77, Polytechnicheskaya Str., Saratov, Russia, 410054)

## **Problems of control, monitoring and diagnostics of complex mechatronic systems in mechanical engineering**

*The paper reports the analysis results of problems connected with operation efficiency increase of complex mechatronic systems (CMS) under conditions of engineering production on the basis of the estimate and analysis of the state and its changes under conditions of distortions. A mathematical apparatus of the estimate is under consideration and a purposefulness for the development of special methods allowing the determination rapidly the significance of deviations in an evolution path of CMSs from the area limits of working capacity for obtaining responses to the questions connected with different aspects of their operation reliability support.*

**Keywords:** machine mechatronic systems; control; monitoring; diagnostics; problems.

Современные сложные мехатронные системы, прежде всего станочные (СМС), открывают новые технологические возможности для повышения эффективности и качества обработки сложных и точных поверхностей. Это связано с тем, что они оснащаются высокоэффективными управляемыми приводами [1], специальными информационными системами [2] и другими функциональными устройствами [3], позволяющими перейти на новые методы формирования управления траекториями формообразующих движений. Однако сложные динамические процессы, возмущающие траектории и формирующие параметры точности, сдерживает применение этих методов в производственных условиях. Совместное многомерное движение фазовых траекторий и нечеткость границ фазовых портретов трудно оценить количественно.

Перечисленные трудности можно было бы

минимизировать за счет автоматического управления в реальном времени. Однако прикладная теория автоматического управления не обеспечивает инженерными методиками синтез регуляторов, способных в полной мере учесть особенности функционирования СМС для формирования управления. В связи с этим управление целесообразно осуществлять на основе оценивания текущего состояния СМС, принимая решения не только о сроках реализации, но и о содержании управляющих воздействий. Последнее является особенно важным, поскольку основной задачей управления является не только компенсация нежелательных последствий, связанных с изменением состояния СМС, но и целенаправленное воздействие на само состояние в случае, если воздействие оценивается как целесообразное. Таким образом, повышение эффективности функционирования СМС на ос-

нове разработки методов оценивания и анализа их состояния при организации и управлении процессами эксплуатации и технического обслуживания является актуальной научно-технической задачей (рис. 1).

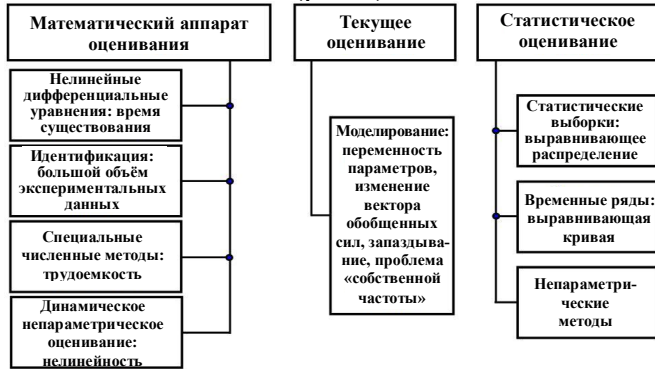


Рис. 1. Основные проблемы и подходы к оцениванию и анализу процессов в СМС

**Математический аппарат оценивания.** Математический аппарат для изучения свойств сложных систем управления чаще всего представляется нелинейными дифференциальными уравнениями высоких порядков. Однако достаточно полное и точное априорное моделирование основных характеристик процесса резания практически невозможно и нецелесообразно (даже с учетом возможностей современных высокопроизводительных специализированных контроллеров и ЭВМ) из-за их многообразия и конечного времени существования аналитических моделей (при идентификации), а также необходимости решения дополнительно возникающих сложных задач распознавания образов (при диагностировании).

Использование специальных численных методов индивидуально и весьма трудоемко и также вряд ли может быть применимо в реальном времени для формирования «быстрых» алгоритмов (при управлении) [4]. В результате все большее значение приобретает мониторинг состояния СМС, поскольку он является практически единственной информационной базой автоматизированной подналадки в процессе ее функционирования с изменяющимися воздействиями и параметрами. Однако для всей гаммы СМС практически отсутствуют однотипные критерии, технически доступные для «наблюдения», и соответствующие однотипные правила принятия решений в реальном времени. Изложенное означает, что для эффективного решения задач управления, мониторинга и диагностики необходимо программно-математическое обеспечение, реализующее специальные методы оценивания состояния СМС и его изменений под действием возмущений.

В общем виде задача оценивания обычно формулируется следующим образом [5]. На основе множеств функций (сигналов), полученных экспериментальным путем для реального процесса, необходимо указать оператор модели из заданного класса операторов, который наилучшим, в определенном смысле, образом

представлял бы оператор процесса на заданных множествах сигналов. В понятие наилучшего представления или аппроксимации может вкладываться различный смысл. Возможна также постановка задачи оценивания, при которой ищется не наилучший, а достаточно точная аппроксимация оператора процесса оператором модели на заданных множествах сигналов.

Оператор модели может содержать неизвестные функции (например, ядра интегральных операторов или еще более мощные неизвестные множества); оценивание в терминах таких операторов является непараметрическим. Непараметрическое оценивание в принципе предполагает получение в экспериментах непрерывных множеств входных и выходных величин (сигналов). Но ввиду того, что каждое измерение даже в статическом режиме занимает конечное время, бесконечные множества измерений неосуществимы. Главная трудность – большой объем необходимого экспериментального материала (высокая мощность множеств при их нелинейных связях), который может быть часто и недостоверным из-за неработоспособности принципа суперпозиции.

Динамическое непараметрическое оценивание применяется преимущественно к системам, близким к линейным и ограниченной размерности. Это известные методы частотных и временных характеристик, взаимных корреляционных функций, которые широко используются в практике оценивания качества СМС в динамическом режиме.

Наиболее трудным является непараметрическое оценивание состояния стохастической нелинейной системы, описываемой стохастическим оператором. Стохастическая система оценивается в классе моделей с дискретным временем, где оператор модели является векторной случайной функцией. Случайность этой функции может отражать мультипликативные шумы на всех (или любых) входах и выходах системы, внутренние случайные изменения, дрейфы параметров, которые, в свою очередь, проявляются в изменении входных и выходных параметров.

Кроме этого у каждого параметра есть значение (называемое бифуркационным), прохождение через которое способно вызвать изменение значения другого параметра, поскольку они взаимосвязаны между собой, причем в большинстве случаев связи являются неоднозначными. Это приводит к появлению альтернатив в дальнейшем ходе эволюции состояния СМС. Информация об этой эволюции в имеющихся системах управления в большинстве случаев не производится в связи с отсутствием способов получения и методов обработки данных, необходимых для этого. Отсутствует и хорошо апробированный математический аппарат для формирования управляющих воздействий в автоматическом или автоматизированном режиме.

**Текущее оценивание.** При управлении СМС на основе оценивания ее текущего состояния регистрируется и анализируется информация о закономерностях протекания тех физических

процессов, под действием которых свойства СМС проявляются наиболее явно. Под действием этих процессов СМС начинает «раскачиваться» благодаря тому, что в ней имеются источники постоянного притока энергии и возникающие неравновесности не устраняются, а наоборот, возрастают, накапливаются и усиливаются, запуская необратимые диссипативные процессы, которые, размывая неоднородности, вызывают переход СМС к новому стационарному состоянию.

Для определения этого состояния можно использовать математическое моделирование (см. рис.1). Однако существующие модели позволяют отображать только те ситуации, которые являются результатом влияния факторов, связанных с действием обобщенных сил. Формируемые при «медленных» движениях механической системы СМС от приводов главного движения и подачи, эти силы взаимодействуют через виртуальный регулятор – процесс резания, который формирует динамику взаимодействия сил за счет внутренних процессов упругопластического деформирования, имеющих более сложные нелинейные и нестационарные модели и порождающих «малые» возмущения («быстрые» движения), которые могут быть отображены этими моделями лишь частично как реакции контуров механической системы.

Но даже исследование и получение конкретных результатов моделирования «медленных» движений требуют априорного вычисления упругих, инерционных и диссипативных характеристик механической системы СМС, являющихся параметрами моделей. В свою очередь, параметры зависят от вектора обобщенных сил, определяющих параметры нелинейных связей конструктивных элементов и соответствующие параметры модели. Указанный факт является характерным признаком нелинейности системы.

Существуют экспериментально-аналитические методы вычисления параметров, но изменение вектора обобщенных сил в пространстве и во времени при реализации технологических операций и, особенно, при переходе от одной операции к другой приводит к необходимости многократного вычисления этих параметров даже при управляемых известных движениях инструмента и заготовки. Таким образом, результаты моделирования могут быть получены лишь при постоянстве составляющих вектора обобщенных сил. Однако в связи с тем, что в процессе функционирования СМС изменяются программируемые управляющие воздействия и возмущения, например, из-за изнашивания инструмента, необходимо каждый раз обновлять результаты моделирования при соответствующих изменениях вектора обобщенных сил. Вариации сил могут быть связаны и с особенностями технологических процессов, например, при точении длинных валов или при обработке торцов изменяются точка приложения и параметры обобщенного вектора сил, следовательно, необходимо обновлять полученные ранее характеристики механической системы СМС и

их взаимодействия с другими конструктивными элементами. Таким образом, возникает достаточно трудоемкая задача многократного поиска численных характеристик динамических процессов.

При рассмотрении более тонких процессов формирования обобщенных сил необходимо учитывать упругодиссипативные характеристики, пластическое деформирование и их изменения при резании. Эти процессы на больших отрезках времени приводят к медленным эволюционным изменениям параметров динамической системы СМС. Эффективным средством их исследования является метод усреднения, реализуемый при изучении асимптотических свойств системы. Для проведения усреднения необходимо использовать полученные модели, которые не содержат малых компонент, вызывающих эволюционное изменение. Программируемые и эволюционные изменения могут быть разделены по темпам развития процессов. Эволюционные изменения в динамической системе СМС при резании оцениваются интегрированием вдоль известного решения упрощенной системы [6].

Передаточные функции приводов главного движения и подачи могут быть определены для конкретного состояния СМС. В то же время возникает неопределенность при моделировании динамики движения рабочего органа, в том числе и из-за смещения центра масс и тепловых деформаций, влияющих на точность позиционирования.

Другой, более сложной проблемой является учет упругих и пластических деформаций, а также их запаздывания относительно силы резания [7]. Эти процессы зависят от многих известных факторов (изменяющихся характеристик инструмента и заготовки, режимов обработки и т.д.) и количественно могут быть оценены лишь для их конкретных состояний. Таким образом, эта неопределенность не позволяет реализовать процесс априорного моделирования упругопластических деформаций при резании.

Наконец, существует проблема «собственной частоты», которая обычно определяется при значимом увеличении амплитуды колебаний в процессе сканирования частот сигнала в правой части уравнения, моделирующего динамику. Вектор обобщенной силы определяется в некотором диапазоне состояний СМС (приведенная жесткость, зазоры и т.д.); тем самым, изменяются ее резонансная и собственная частоты. Эти частоты тесно связаны между собой основными понятиями, и имеется противоречие: без связи с внешней средой нет возможности определить собственную частоту, но увеличение этой связи приводит к уменьшению точности определения собственной частоты. Математическое же определение понятия собственной частоты опирается на разделение переменных и не предполагает такой связи [6]. В случае же оценивания качества нелинейных динамических процессов при резании это является дополнительной сложностью для распознавания динамических образов.

При дальнейшем анализе следует обратить

внимание на многосвязность вектора управления и возмущений с формируемыми выходными характеристиками СМС. Эта взаимосвязь для всего спектра технологий не имеет аналитического представления и в ряде случаев может быть определена лишь эмпирически.

**Статистическое оценивание.** Рассматривая и анализируя классические задачи статистического оценивания как способа определения неизвестных характеристик СМС по результатам наблюдений за ее пространственно-временной эволюцией, необходимо сказать, что многие из них практически не реализуемы или имеют низкую эффективность из-за ограничений размерности вектора доступной информации, многотемповых нелинейных изменений элементов вектора состояния, оказывающих взаимное влияние друг на друга, наличия шумов измерения, использования априорной и часто слабо формализуемой информации о виде зависимости изменений состояния от времени, порождающей множество реализаций моделей управления. Поэтому является актуальным оценивание на основе восстановления характеристик качества функционирования СМС по результатам обработки данных, регистрируемых в виде статистических выборок или временных рядов динамики (рис.1), с последующим целенаправленным поиском условий, в которых СМС способна эффективно адаптироваться к допредельным изменениям своего состояния и сохранять, тем самым, целостность структуры.

Обработка данных заключается в их аналитическом или статистическом выравнивании. В случае если данные представляют собой временной ряд (т.е. характеризуют развитие какого-либо процесса во времени), используется аналитическое выравнивание с помощью различных кривых, уравнения которых при соблюдении ряда условий можно применить и для прогнозирования. В случае если данные представляют собой выборку, используется статистическое выравнивание с помощью различных распределений, которые позволяют ответить на вопрос о вероятностях наступления различных событий.

Вопрос о выборе вида кривой или распределения является основным при выравнивании данных, поскольку ошибка в его решении всегда оказывается более значимой по своим последствиям, чем ошибка, связанная со статистическим оцениванием параметров.

Выбор кривой или распределения можно осуществлять различными способами. Однако независимо от того, какой способ будет принят, всегда является целесообразным предварительный анализ содержательной сущности изучаемого процесса с целью раскрытия физического механизма, генерирующего данные, и оценки степени его устойчивости в условиях действия возмущений.

Практически это позволяет сократить число кривых или распределений, которые выступают в качестве альтернативных при непосредственном исследовании данных. Однако для данных,

полученных в процессе исследования или функционирования сложных систем, основа для содержательного анализа часто отсутствует в силу сложности протекающих в них процессов или носит лишь общий (концептуальный) характер.

Кроме этого, СМС, как и большинство сложных систем, относятся к классу так называемых «шумящих», т.е. к системам, в которых выходные данные, характеризующие состояние, являются случайными даже тогда, когда входные данные неслучайны. Это означает, что фиксированным значениям данных на входе СМС практически всегда соответствуют случайные значения данных на выходе, отражающие их неопределенность. Причем степень неопределенности данных тем больше, чем сильнее влияние «шумовых» свойств. В результате обработка выходных данных для решения различных практических задач (прежде всего задач повышения эффективности функционирования) возможна только на основе применения методов, которые позволят решить проблему отображения закономерностей их появления на выходе СМС.

Представленные материалы были положены в основу разработки методов, которые позволяют проводить оценивание и анализ состояния СМС и протекающих в ней процессов, связанных с обнаружением зарождающихся изменений, имеющих место как при нормальном состоянии СМС, так и при развитии в ней дефектов.

**Методы анализа данных, представленных временными рядами,** позволяют оперативно обнаруживать, оценивать значимость отклонения траектории эволюции состояния СМС от границ области, характеризующей его как нормальное (области работоспособности) и использовать полученную информацию для целей управления. Чем больше отклонение будет незначимым, тем эффективнее были мероприятия, направленные на управление состоянием.

В основу *метода обобщенного критерия* положены перевод траектории эволюции состояния СМС в числовое пространство критерия, более эффективно реагирующего на возникновение напряженных ситуаций, связанных с отклонениями траектории от заданного направления, и непараметрическая процедура «ящик с усами» для ее коррекции, гарантированно обеспечивает стабилизацию не только размерной, но и геометрической точности изготовленных деталей за счет компенсации на основе подналадки не только систематической, но и случайной функциональной составляющих погрешности обработки, возникающих под влиянием процессов средней скорости (износ инструмента и тепловые деформации элементов конструкции СМС) (рис.2).

**Метод энтропийного критерия,** основанный на оценке целостности СМС (под которой в теории информации понимается количественное выражение того состояния, в котором СМС находится с учетом имеющихся взаимосвязей между ее элементами, но которое не является

состоянием самих элементов, если рассматривать их отдельно друг от друга) и статистическом анализе, позволяет заблаговременно и достоверно обнаруживать момент возникновения разладки процесса функционирования СМС, например, по интегральным показателям вибросигналов о колебаниях, возникающих в динамической системе, с использованием статистики Херста и оценки степени значимости приращения целостности состояния разладки (рис.3).

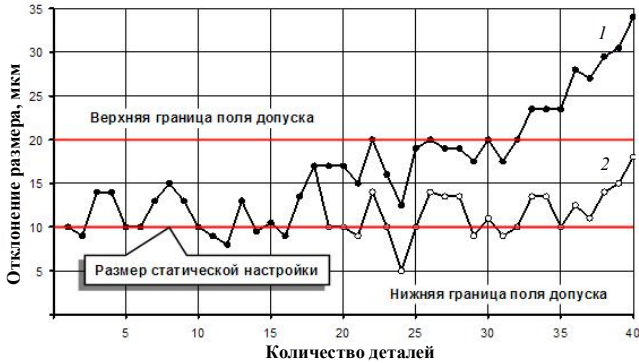


Рис. 2. Точностные диаграммы отклонений размеров деталей, изготовленных без управления (1) и с моделированием управления точностью на основе подладки по методу обобщенного критерия (2)

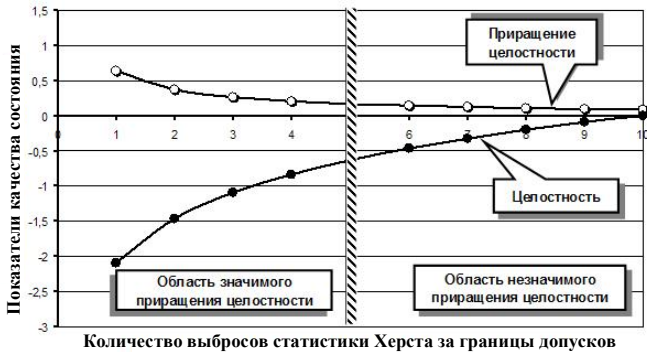


Рис. 3. Графическая интерпретация решения задачи об идентификации разладки процесса функционирования СМС: разладка наступает при 5-ти выбросах статистики Херста за границы поля допуска

**Метод комбинированного критерия**, основанный на положении о том, что появление разладки вызывает значимые изменения свойств временного ряда воздействующих на СМС возмущений (а, следовательно, и их дисперсии), вычисления решающей функции и показателя качества ее траектории, а также интеграла функции Грина, отображающей взаимосвязь выходного параметра СМС с входными (возмущениями), позволяет идентифицировать как параметрические, так и функциональные изменения ее состояния (рис.4).

**Метод асимптотических критериев**, основанный на положении о том, что если состояние СМС в процессе функционирования претерпевает существенные изменения, то траектория эволюции ее состояния будет представлять собой чисто случайные колебания временного ряда значений характеризующих

траекторию выходных параметров (например, отклонений размеров изготовленных деталей), и сопровождаться выбросами за границы допустимых областей их изменения, число которых будет пропорционально интенсивности возмущений (т.е. дисперсии), позволяет определять сроки проведения работ по техническому обслуживанию СМС с целью предотвращения возможностей появления у нее отказов, осуществлять оперативную оценку качества проведенных работ, а также оценивать целесообразность проведения обслуживания в принципе в случае, если дальнейшая эксплуатация СМС перестает быть оправданной экономически (рис.5).

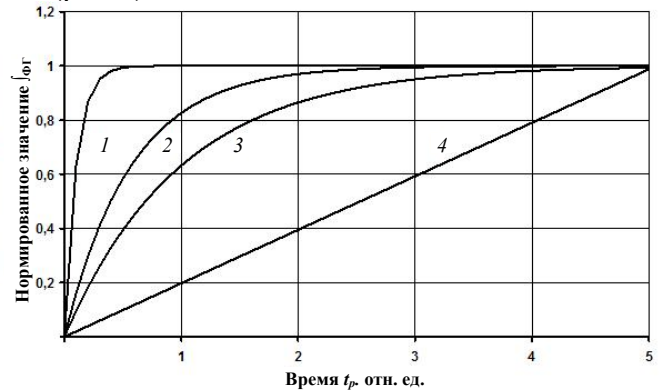


Рис. 4. Реализации процесса сходимости интеграла функции Грина для нормального состояния (1), ситуаций возникновения параметрических (2) и функциональных (3) изменений состояния СМС и возникновения отказа (4)

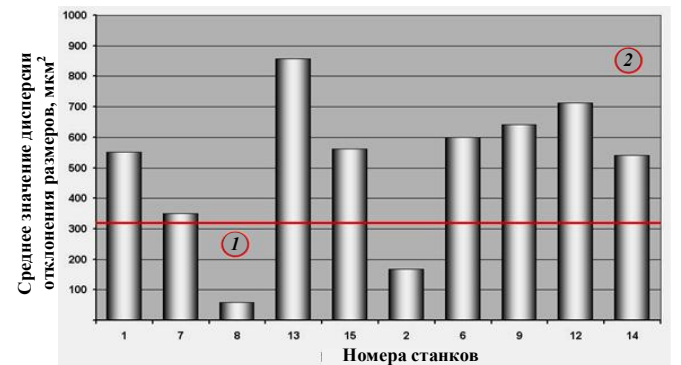


Рис. 5. Результаты оценки состояния автоматических токарных станков методом асимптотических критериев:

1, 2 – области устойчивого функционирования и необходимости проведения капитального ремонта, соответственно

**Методы анализа данных, представленных статистическими выборками**, позволяют установить закон их распределения. В первом случае (**метод информационного критерия**) для этого вычисляется количество содержащейся в данных о состоянии СМС информации, как меры снятия с них неопределенности (рис.6).

Во втором случае (**метод остаточного критерия**) формируется система условий, связанных с вычислением коэффициентов избы-

точности, ранговой корреляции Спирмэна и непараметрического аналога  $t$ -критерия Стьюдента, характеризующих оставшуюся неснятой исходную неопределенность с данными (т.е. точность процедуры их математического описания). С помощью этих методов можно решать задачи, связанные не только с вычислением показателей надежности и эффективности использования СМС в составе автоматизированных комплексов, но и задач управления самими комплексами на организационно-технологическом уровне (оперативно-производственное планирование) и уровне оперативно-диспетчерского регулирования хода производственного процесса (выполнение плановых заданий).

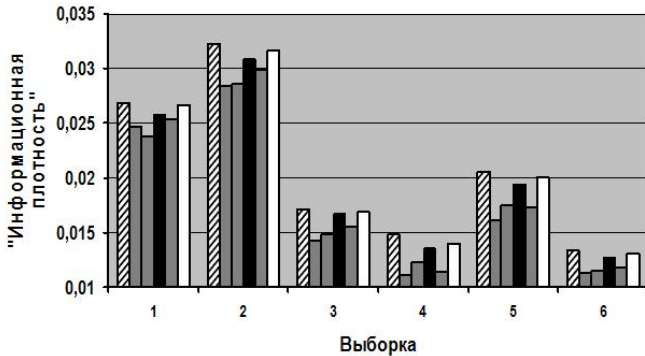


Рис. 6. Результаты идентификации закона распределения данных об отказах СМС:

штрихованные – эмпирическое распределение; белые – распределение Вейбулла (наилучшее, поскольку имеет максимальное значение информационной плотности, т.е. снимает неопределенность с данных в максимальной степени); черные – экспоненциальное распределение; серые – другие распределения

С помощью **метода экстремального критерия**, в основу которого положено моделирование многообразия траекторий, по которым может развиваться эволюция какого-либо случайного процесса, с помощью смешанной дискретной модели авторегрессии со скользящим средним (АРСС-модели) и статистического оценивания его результатов с помощью распределений экстремальных значений типа I или III, были проиллюстрированы возможности прогнозирования состояния основных элементов СМС – шпиндельного узла и режущего инструмента, оказывающих непосредственное влияние не только на параметры точности изготавливаемых деталей, но и на техническое состояние СМС.

Применительно к шпиндельному узлу полученные результаты показали (рис.7), что разработанный метод позволяет более эффективно решать вопросы, во-первых, диагностирования состояния и оценки качества работ по техническому обслуживанию и профилактическим ремонтам существующих шпиндельных узлов на основе анализа круглограмм изготовленных деталей, во-вторых, оценки эффективности технических решений при проектировании новых конструкций, в частности по результатам программных испытаний их опытных образцов.

Применительно к режущему инструменту полученные результаты показали, что разрабо-

танный метод позволяет с погрешностью не более 8 % прогнозировать интервалы времен достижения износом предельного значения (рис.8).

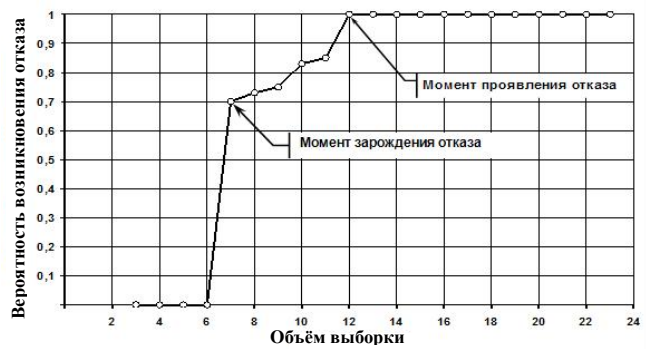
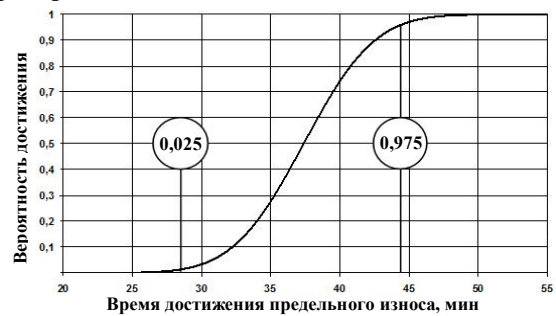
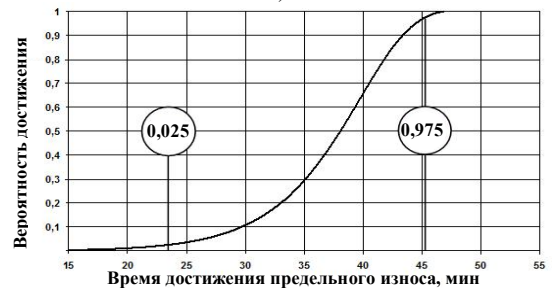


Рис. 7. Результаты прогнозирования параметрического отказа шпиндельного узла методом экстремального критерия



а)



б)

Рис. 8. Результаты идентификации (а) и прогнозирования с помощью метода экстремального критерия (б) распределения и 95% интервала времени достижения предельного износа инструментом из быстрорежущей стали

Результаты практической апробации методов были положены в основу создания алгоритмов обработки и анализа данных, представленных временными рядами и статистическими выборками. Положительным моментом алгоритмов является то, что все их шаги, в том числе принятие решений, выполняются автоматически, что исключает возможность возникновения ошибочных результатов или их неверной интерпретации. В связи с этим алгоритмы могут быть реализованы программно и интегрированы в структуру программно-математического обеспечения как систем управления СМС и систем управления комплексами, в составе которых они эксплуатируются, так и автоматизированных испытательно-диагностических комплексов и автоматизированных систем научных исследований (табл. 1).

1. Использование методов на различных этапах жизненного цикла СМС

№	Уровни управления	Решаемые задачи	Источники данных	Метод
<b>Проектирование и изготовление</b>				
1	Программные испытания	1. Отработка и оценка эффективности новых конструктивных решений.	Испытательно-диагностические комплексы и АСНИ	Экстремального и энтропийного критериев
<b>Эксплуатация</b>				
1	Непосредственное управление	1. Диагностическая задача ЧПУ (в режиме тестирования геометрической задачи).	Датчики обратной связи приводов подач по положению (фотоэлектрические, индуктивные, лазерные)	Энтропийного и комбинированного критериев
		2. Технологическая задача ЧПУ (в режиме управления точностью по текущим и выходным данным).	Датчики режимов (сил, температуры, мощности, вибраций, давления), датчики касания, ручное измерение	Обобщенного и экстремального критериев
2	Групповое управление	Мониторинг СМС, входящих в группу (информация о техническом состоянии в режиме фиксации отклонения их параметров от норм).	Данные о контроле точности изготовленных деталей и периодическом контроле состояния	Энтропийного, комбинированного и асимптотических критериев
3	Оперативное управление (в реальном времени)	Пересоставление расписания с учетом складывающейся производственной ситуации.		
4	Организационно-технологическое управление	1. Формирование расписания работы СМС по исходным данным. 2. Выработка рекомендаций о необходимых изменениях исходных данных. 3. Составление графика проведения технического обслуживания СМС.	Данные о контроле точности изготовленных деталей, отказах и продолжительностях проведения ремонтных работ	Асимптотических критериев, экстремального, информационного и остаточного критериев

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бушнев, В.В., Евстафиева, С.В., Молодцов, В.В. Моделирование контуров управления следящего привода подачи // СТИН. – 2016. – №3. – С. 7–14.
2. Рогов, В.А., Чудаков, А.Д. Средства автоматизации производственных систем машиностроения: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2005. – 399 с.
3. Бушнев, В.В., Кузнецов, А.П., Сабиров, Ф.С., Хомяков, В.С., Молодцов, В.В. Проблемы точности и эффективности современных металлорежущих станков // СТИН. – 2016. – №2. – С. 6–16.
4. Филимонов, Н.Б. Методологический кризис «всепобеждающей математизации» современной теории управления // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2016. – Т.17. – №5. – С. 291–300.
5. Справочник по теории автоматического управления: под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
6. Ханаев, М.М. Асимптотические методы и устойчивость в теории нелинейных колебаний: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1988. – 184 с.
7. Кононов, Д.Е., Легаев, В.П., Генералов, Л.К. Экспериментальные исследования влияния моделируемых корректирующих воздействий на точность токарной обработки на станках с ЧПУ // СТИН. – 2012. – №1. – С.21–23.

**REFERENCES**

1. Bushuev, V.V., Yevstafieva, S.V., Molodtsov, V.V. *Control Contour Simulation of Feed Servo Drive* // STIN. – 2016. – No. 3. – pp. 7-14.
2. Rogov, V.A., Chudakov, A.D. *Automation Means of Engineering Production Systems: manual*. – M.: Higher School, 2005. – pp. 399.
3. Bushuev, V.V., Kuznetsov, A.P., Sabirov, F.S., Khomyakov, V.S., Molodtsov, V.V. *Problems of Accuracy and Efficiency of Modern Machine-Tools* // STIN. – 2016. – No. 2. – pp. 6-16.
4. Filimonov, N.B. Methodological crisis of “all-conquering mathematization” of modern management theory // *Mechatronics. Automation. Management*. – 2016. – Vol. 17. – No. 5. – pp. 291-300.
5. *Referenced Book on Automated Management Theory: under the editorship of A.A. Krasovsky*. – M.: Science, 1987. – pp. 712.
6. Khanaiev, M.M. *Asymptotic Methods and Stability in Theory of Nonlinear Oscillations: manual*. – M.: Higher School, 1988. – pp. 184.
7. Kononov, D.E., Legaev, V.P., Generalov, L.K. *Experimental Investigations of Modeled Correcting Impacts upon Turning Accuracy on NC Machines* // STIN. – 2012. – No. 1. – pp. 21-23.

Рецензент д.т.н. Н.В. Бекренёв

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 10.12.2017. Выход в свет 31.01.2018.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"

241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

