

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2019 Issue: 10 Volume: 78

Published: 17.10.2019 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Vladimir Bogutskiy
Sevastopol State University
Associate Professor, Ph.D.,
Russian Federation
bogutskiyv@yandex.ru

METHODS OF EXPERIMENTAL STUDIES TO ASSESS THE FMS ON THE RELIABILITY CRITERION

Abstract: The multi nomenclature of machined parts, existing in the conditions of modern production, requires a change in the methods of decision - making in the formation of layouts and operation of flexible production modules. The technique of experimental studies in industrial conditions for the evaluation of the GPM by the criterion of reliability and evaluation of the readjust ability of flexible production modules is described. It is shown that the extreme reliability tests of the GPM allow for a relatively short period of time to obtain statistical data on the failures of module subsystems.

Key words: flexible production system, failures, reliability, test methods, control methods, machine, cutting tool.

Language: Russian

Citation: Bogutskiy, V. (2019). Methods of experimental studies to assess the FMS on the reliability criterion. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (78), 240-249.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-10-78-44> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.10.78.44>

Scopus ASCC: 2209.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГПМ ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ

Аннотация: Многономенклатурность обрабатываемых изделий, существующая в условиях современного производства, требует изменения методов принятия решений при формировании компоновок и эксплуатации гибких производственных модулей. Описана методика проведения экспериментальных исследований в промышленных условиях для оценки ГПМ по критерию надежности и оценки переналаживаемости гибких производственных модулей. Показано, что испытания ГПМ на надежность по экстремальному уровню позволяет за сравнительно небольшой промежуток времени получать статистические данные по отказам подсистем модулей.

Ключевые слова: гибкая производственная система, отказы, надежность работы, методика испытаний, методы контроля, станок, режущий инструмент.

УДК 658.512

Введение

Технологическая гибкость производства зачастую становится одним из основных факторов, обеспечивающим преимущество при производстве конкурентоспособных изделий, предлагаемых компаниями на мировых рынках [1-5]. Многократная чередуемость партий обрабатываемых деталей требует высокого уровня переналаживаемости механообрабатывающего оборудования при необходимости роста

производительности, обеспечения качества обработки и надежности функционирования. Для решения этой задачи требуется переосмысление стратегии принятия решений при формировании компоновок гибких производственных модулей (ГПМ) [6-10].

Материалы и методы исследования

Теоретические методы расчета надежности [11-14 и др.] дают приближенную

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

(ориентировочную) оценку ожидаемого уровня надежности подсистем можно получить только в результате опыта реальной эксплуатации.

Построение методики испытания ГПМ на надежность должно учитывать, с одной стороны, статистическую природу изменения выходных параметров, с другой – невозможность поставить на испытание более одного – двух образцов производственных модулей.

С целью обоснования методики рассмотрим возможные варианты выполнения испытаний на надежность ГПМ. Первый вариант заключается в доведении подсистемы до отказа по установленным точностным параметрам при средних режимах работы и специально подготовленном объекте испытания (как правило, с высокими начальными показателями). Длительность таких испытаний достаточно велика, а полученные результаты (наработка на отказ) отражают лишь свойства данной подсистемы в принятых условиях проведения опытов. Второй вариант, при котором предпринимается попытка получить статистический ряд наработок подсистемы до отказа при различных условиях испытаний, а, следовательно, установить закон $f(t)$, является нереальным из-за его длительности. Третий вариант испытаний с прогнозированием хода процесса потери технологической системой точности в первую очередь в результате износа его рабочих поверхностей. Для этого необходимо иметь аналитические зависимости, связывающие показатели надежности с характеристиками процессов и состояния подсистем, а также закономерности их износа. Четвертый вариант испытаний – по экстремальному уровню. Основан на том, что для объектов с высокими требованиями к надежности нет необходимости выявлять весь закон распределения $f(t)$, а надо исследовать лишь ту часть в области более низких значений наработки до отказа, которая по площади равна допустимой вероятности отказа $F(t) = 1 - P(t)$. При испытании выявляют не все возможные реализации процесса потери подсистемой точности, а лишь те, которые формируют границу области состояний. Именно она определяет условия, при которых в первую очередь возможен отказ при принятом ресурсе

работы станка (инструмента, приспособления, загрузочного устройства).

Для оценки структур ГПМ наиболее предпочтительным является четвертый вариант испытаний, так как позволяет за сравнительно малый промежуток времени получать статистический материал по надежности подсистем модулей.

В производственных условиях для исследования параметров переналадки подсистем ГПМ фиксировалось время работы между переналадками инструмента, станка, технологической оснастки и загрузочных устройств, а также числа соответствующих переналадок, рассчитывалось среднее время между переналадками и среднее время переналадки каждой из подсистем ГПМ.

В лабораторных условиях исследования функционирования двух подсистем (инструмент, технологическая оснастка) проводились на токарном станке с ЧПУ (станок Emcoturn E65, рис. 1) при выполнении следующих работ: точение, растачивание, проточка канавок, подрезка торцов, сверление, зенкерование, разрезывание, нарезание резьбы плашками, метчиками и резьбовыми резцами. Станок имеет восьмипозиционную револьверную головку для размещения режущего инструмента.

Экспериментальные работы выполнялись на заводе «Фиолент» и в лаборатории Севастопольского государственного университета.

При испытании на надежность по выбранному методу установили экстремальные (наиболее тяжелые) условия:

➤ по режимам работы – скорость $V = 3,14...7,32$ м/с; подача $V = 0,3...0,5$ мм/об; материалы – труднообрабатываемые стали – 34ХНЗМ ($\sigma_B = 800$ МПа), 12Х13 ($\sigma_B = 000$ МПа);

➤ по условиям работы – загрязнение поверхности трения, наложение вибраций, наибольшее из допустимых температурных воздействий; СОТС – сульфрезол;

➤ по начальному состоянию – точность сборки и выполнения элементов, зазоры в сопряжениях должны иметь наихудшие значения в пределах допуска.

Impact Factor:

| | | | | | |
|------------------|---------|----------------|---------|--------------|---------|
| ISRA (India) | = 4.971 | SIS (USA) | = 0.912 | ICV (Poland) | = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) | = 0.829 | ПИИЦ (Russia) | = 0.126 | PIF (India) | = 1.940 |
| GIF (Australia) | = 0.564 | ESJI (KZ) | = 8.716 | IBI (India) | = 4.260 |
| JIF | = 1.500 | SJIF (Morocco) | = 5.667 | OAJI (USA) | = 0.350 |



Рисунок 1 – Станок Emcoturn E65 в лаборатории СевГУ.

Результаты замеров использовали для оценки переналаживаемости каждого из структурных вариантов модулей, а также в качестве исходных данных для машинного эксперимента.

При испытании модуля на технологическую и эксплуатационную надежность выделяли элементы, оказывающие основное влияние на точность и работоспособность, и которые в первом приближении можно считать независимыми (станок, инструмент, технологическая оснастка, загрузочное устройство). На основе принципа аддитивности можно отдельно испытывать эти подсистемы и их входные параметры использовать для оценки надежности всей технологической системы, однако испытание всего ГПМ является необходимым условием.

В процессе выполнения исследований были определены основные факторы, влияющие на формирование отказов ГПМ (рис. 2).

Повреждения станка, технологической оснастки, инструмента, загрузочного устройства, которые сразу приводят к остановке всего модуля (с интенсивностями $\lambda_1 \dots \lambda_5$) или к недопустимым условиям его работы, являются причинами его отказов функционирования. Чаще всего эти отказы являются следствием неправильного проектирования, изготовления или эксплуатации.

Параметрические отказы не ограничивают возможности функционирования модуля, но его дальнейшая эксплуатация приводит к отказам по точности обработки (интенсивности $\lambda_1 \dots \lambda_4$).

Для станка наиболее характерными являются параметрические отказы, для инструмента – отказы функционирования, которые проявлялись в виде его поломки или потери механических свойств. При работе технологической оснастки и загрузочного устройства возникали как параметрические отказы, так и отказы функционирования.

Impact Factor:

| | | |
|--------------------------|------------------------|----------------------|
| ISRA (India) = 4.971 | SIS (USA) = 0.912 | ICV (Poland) = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) = 0.829 | РИИЦ (Russia) = 0.126 | PIF (India) = 1.940 |
| GIF (Australia) = 0.564 | ESJI (KZ) = 8.716 | IBI (India) = 4.260 |
| JIF = 1.500 | SJIF (Morocco) = 5.667 | OAJI (USA) = 0.350 |

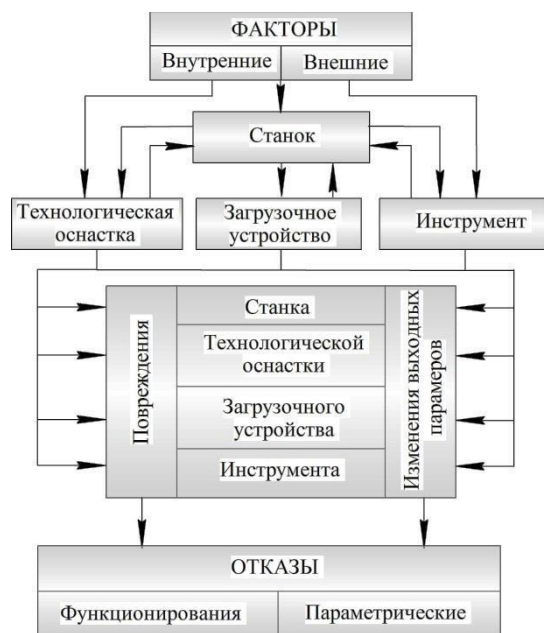


Рисунок 2 – Схема формирования отказов при работе ГПМ

Исследования токарных станков с ЧПУ [15-18] показывают, что большая часть отказов ($\approx 97\%$ от общего числа) устраняется непосредственно оператором и лишь до 3...5 требует ремонта. Сравнительно невелико (0,2...3,0%) число отказов, связанных с остановкой управляющей программы, при которых станок прекращает работу. Наиболее часты отказы, вызванные скоплением стружки в зоне резания (18..70%), и различные отказы режущего инструмента (7...63%).

Восстановление работоспособности режущего инструмента не требует больших затрат времени (обычно не более 3,2% общего фонда времени), однако постоянное присутствие оператора в этом случае обязательно. Не своевременное обнаружение отказов инструмента может иметь самые различные последствия – от появления брака до аварии станка и т. д.

В связи с этим при создании ГПС необходимо предусматривать надежный контроль текущего состояния режущего инструмента с заменой отказавшего инструмента резервным, а

при необходимости и с заменой бракованной заготовки.

Анализ возможных способов автоматического контроля состояния режущего инструмента и тенденций их развития позволяет выделить следующие объекты контроля: режущий инструмент, обрабатываемая деталь, стружка, технологическая среда, процесс резания. В соответствии с этим составим обобщенную классификацию основных способов контроля состояния режущего инструмента (табл. 1).

Как видно из таблицы, наиболее часто (36,5%) осуществляется размерный контроль инструмента и обрабатываемой детали, хотя он применяется лишь после окончания резания и не позволяет выявлять нарушения работоспособности в ходе обработки.

Контроль в процессе резания обычно ведётся по силе резания (15,6%). Широкое применение нашёл также контроль ресурса инструмента (11,6%), что объясняется относительной простотой их реализацией.

Таблица 1. Классификация способов контроля состояния режущего инструмента

| Объект контроля | Контролируемый параметр | Частота использования |
|-----------------------|---|-----------------------|
| Режущий инструмент | Размерный износ | 13,0 |
| | Ресурс | 11,6 |
| | Целость или наличие на месте | 5,1 |
| | Изнашивание по задней и передней поверхностям; объем или масса изношенного материала, температура | <3,0 |
| Обрабатываемая деталь | Размеры и форма | 23,5 |
| | Масса; шероховатость; температура; электрическая емкость и индуктивность | <3,0 |

Impact Factor:

| | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ISRA (India) = 4.971 | SIS (USA) = 0.912 | ICV (Poland) = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) = 0.829 | РИИЦ (Russia) = 0.126 | PIF (India) = 1.940 |
| GIF (Australia) = 0.564 | ESJI (KZ) = 8.716 | IBI (India) = 4.260 |
| JIF = 1.500 | SJIF (Morocco) = 5.667 | OAJI (USA) = 0.350 |

| | | |
|---|---|------|
| Стружка | Размеры и форма; масса; направление схода, скорость движения; частота образования элементов; навивание на инструмент и заготовку; температура | <3,0 |
| СОТС | Давление; температура | <3,0 |
| Процесс резания | Сила резания и ее составляющие | 15,6 |
| | Мощность резания | 8,7 |
| | Вибрации | 6,1 |
| | Акустическая эмиссия | 4,5 |
| | Крутящий момент | 3,8 |
| | Электрические и электромагнитные характеристики контакта инструмент – заготовка | 3,1 |
| Температура в зоне резания | 2,3 | |
| Расстояние от инструмента до заготовки; время цикла обработки | 3,0 | |

Взаимодействие составных частей системы управления станка при автоматическом контроле

состояния режущего инструмента показано на рис. 3.

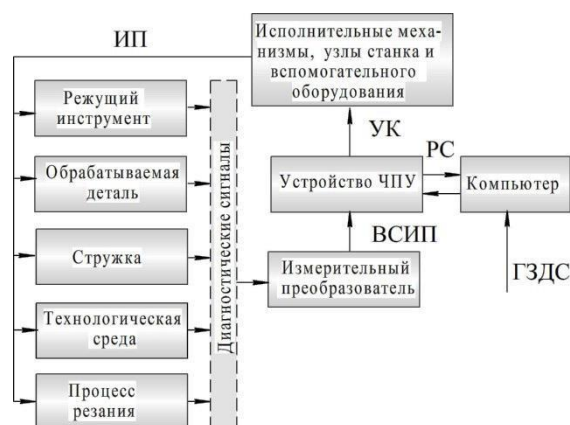


Рисунок 3 – Структурная схема функционирования станка при автоматическом контроле состояния и резервировании режущего инструмента: ВСИП – сигналы измерительного преобразователя; УК – управляющие команды; РС – результаты сравнения; ГЗДС – граничные значения диагностического сигнала; ИП – исполнительные перемещения.

На вход измерительного преобразователя с датчиков, контролирующих параметры режущего инструмента обрабатываемой детали, стружки, технологической среды и процесса резания, поступает диагностический сигнал, а в устройство ЧПУ (УЧПУ) подаётся выходной сигнал измерительного преобразователя. В результате обработки получаемой информации УЧПУ формирует необходимые команды для управления соответствующими механизмами, узлами станка и вспомогательного оборудования. Информация, поступающая от измерительных преобразователей, может обрабатываться и во внешнем устройстве (компьютере). Встройка датчиков сил в тяговые узлы (подшипники, втулки) позволяет контролировать состояние режущего инструмента без существенного изменения конструкции станка. Для встройки датчиков можно использовать шпиндельные подшипники, опоры в механизмах подачи, опорные поверхности револьверной головки. Контроль сил в приводах подачи позволяет

выявлять отказы не только режущего инструмента, но и системы управления, приводящие и непредусмотренный измерениями траектории движения суппорта и столкновения его с другими узлами станка.

Анализ процесса нарушения работоспособности режущего инструмента показывает, что в зависимости от соотношения сил, действующих на режущую пластину, она может оставаться в равновесии или сдвигаться. При этом период перехода инструмента из работоспособного состояния в состояние отказа может составлять при сколах или поломке от тысячных долей секунды до нескольких секунд. Следовательно, в зависимости от характера нарушения работоспособности инструмента для обнаружения отказа необходимо использовать датчики различной очередности с различной первичностью опроса.

Существующие методы контроля состояния режущего инструмента можно разделить на прямые и косвенные (рис. 4).

Impact Factor:

| | | | | | |
|------------------|---------|----------------|---------|--------------|---------|
| ISRA (India) | = 4.971 | SIS (USA) | = 0.912 | ICV (Poland) | = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) | = 0.829 | РИИЦ (Russia) | = 0.126 | PIF (India) | = 1.940 |
| GIF (Australia) | = 0.564 | ESJI (KZ) | = 8.716 | IBI (India) | = 4.260 |
| JIF | = 1.500 | SJIF (Morocco) | = 5.667 | OAJI (USA) | = 0.350 |

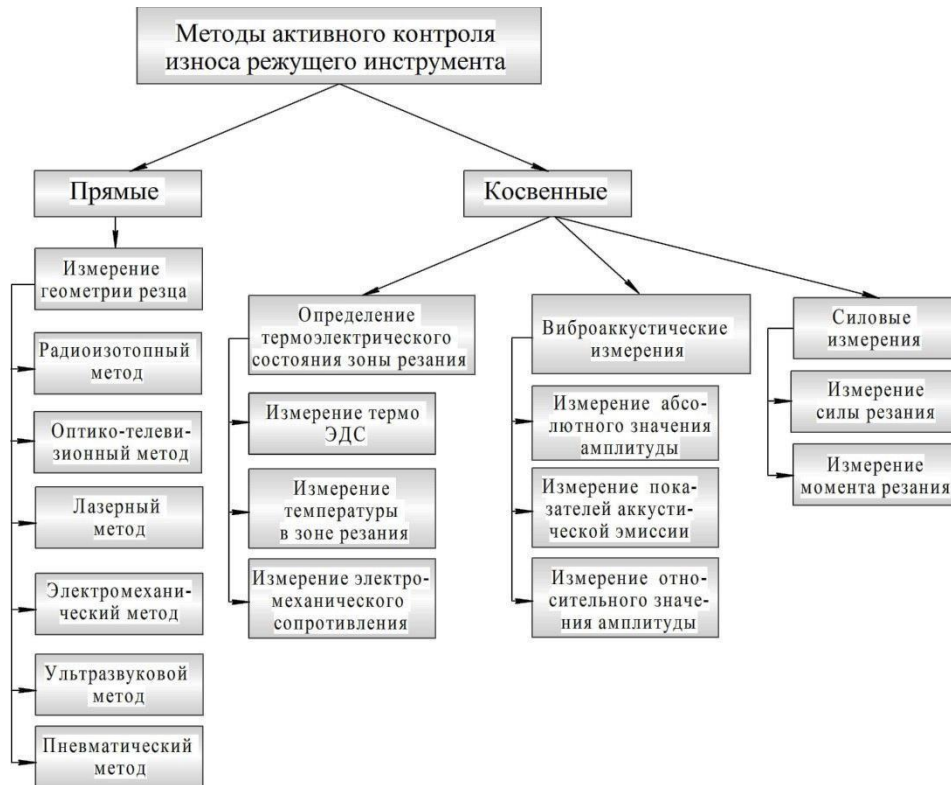


Рисунок 4 – Классификация методов активного контроля состояния режущего инструмента.

Прямые методы состоят в непосредственном измерении параметров инструмента, при котором контролируются: степень изнашивания (по лунке, образующейся на передней поверхности), расстояние от режущей кромки до центра лунки, глубина лунки, ширина ленточки износа по задней поверхности, уменьшение объёма или массы инструмента, размерный износ режущей кромки, разброс размеров деталей в партии и др. Указанные параметры определяют оптико-телевизионными, лазерными, электромеханическими, ультразвуковыми или пневматическими методами. Недостатком прямых методов является то, что в условиях производства их можно применять только после прекращения процесса резания (межоперационный контроль).

Косвенные методы активного контроля используют в процессе резания, который сопровождается рядом физических явлений, к числу которых принадлежат изменение термоэлектрического состояния зоны контакта детали с инструментом, изменение составляющих силы резания, изменение характера виброакустических сигналов, генерируемых инструментом по мере его затупления.

Измерение сопротивления термо-ЭДС и температуры в зоне резания затруднено из-за наличия СОТС и стружки. Наиболее распространены измерительные методы контроля с использованием различных датчиков и динамометров, однако для их эффективной

реализации необходимо снабжать каждый инструмент собственным датчиком и соответствующей аппаратурой, что в производственных условиях затруднительно. При проведении исследований применялся виброакустический метод, с использованием вынесенного из зоны резания вибродатчика, контролирующего все инструменты участвующие в обработке.

Износ инструмента приводит к перераспределению спектра вибраций, что даёт возможность образовывать диагностический контроль не только инструмента, но и станка в целом.

Алгоритм такого контроля (рис. 5) основан на том, что при отсутствии резания напряжение на выходе датчика вибраций соответствует сигналу $U_{x.x}$ вибрации холостого хода и, таким образом, несёт информацию о состоянии самого станка.

Если $U_{изм} < U_{\chi,\chi}^{дон}$ (допустимого значения $U_{x.x}$), то оно компенсируется, если $U_{изм} > U_{\chi,\chi}^{дон}$, то выдаётся сигнал на переналадку станка, измеряется напряжение $U_{изм}$ (прекращение выходного сигнала датчика вибраций, свидетельствующее об износе инструмента) и сравнивается с его предельным значением $U_{пр}$. В зависимости от результата сравнения операция контроля повторяется и выводится сигнал на замену инструмента.

Impact Factor:

| | | |
|--------------------------|------------------------|----------------------|
| ISRA (India) = 4.971 | SIS (USA) = 0.912 | ICV (Poland) = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) = 0.829 | РИИЦ (Russia) = 0.126 | PIF (India) = 1.940 |
| GIF (Australia) = 0.564 | ESJI (KZ) = 8.716 | IBI (India) = 4.260 |
| JIF = 1.500 | SJIF (Morocco) = 5.667 | OAJI (USA) = 0.350 |

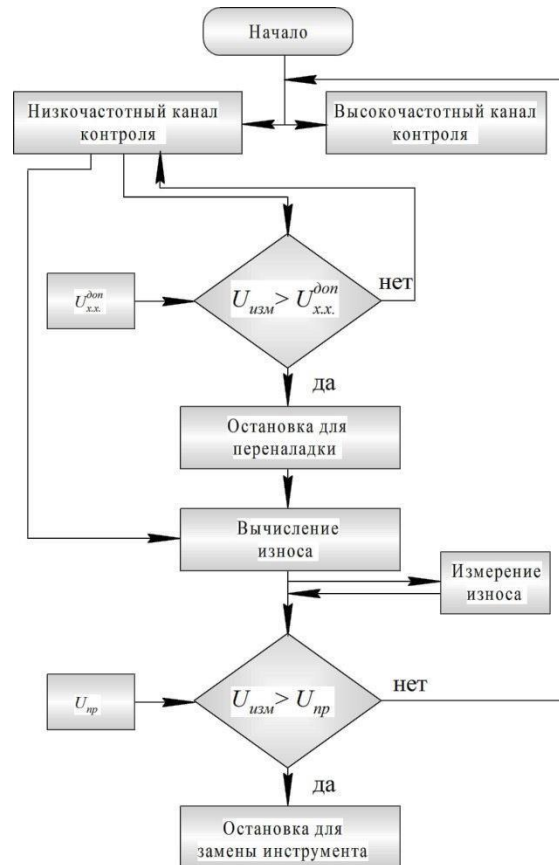


Рисунок 5 –Алгоритм контроля состояния инструмента по перераспределению спектра вибраций.

Наибольшее влияние на точность измерения степени изнашивания инструмента этим методом оказывает помеха, вызванная биением вращающейся головки, которую уменьшалась фильтром инфранизких частот, размещённого после канала управления.

С целью увеличения быстродействия за счет интегрирования сигнала вибродатчика за время, равное или кратное периоду вращения заготовки или инструмента целесообразно использовать устройство, алгоритм работы которого показан на рис. 6.

Виброакустический сигнал, состоящий из полезного сигнала $U_{пол}$, соответствующего процессу резания, и периодического сигнала помехи $U_{пом}$, вызванный биением заготовки, выделяется в информативном диапазоне частот,

детектируется и подается на интегратор, время интегрирования которого постоянно. За один оборот шпинделя операция интегрирования осуществляется дважды, а моменты ее начала сдвинуты относительно друг друга на половину периода вращения шпинделя. При этом сигнал помехи накладывается на полезный сигнал (в первом такте – в фазе, во втором – в противофазе) и поэтому при суммировании компенсируется. Кроме того, исключается влияние частоты вращения шпинделя на полезный сигнал. После окончания операции интегрирования сигнал $U_{пол}$ сравнивается с сигналом $U_{пр}$, соответствующим предельному износу инструмента. При $U_{пол} > U_{пр}$ выдается сигнал на замену инструмента, а при $U_{пол} < U_{пр}$ – на продолжение измерения.

Impact Factor:

| | | |
|--------------------------|------------------------|----------------------|
| ISRA (India) = 4.971 | SIS (USA) = 0.912 | ICV (Poland) = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) = 0.829 | РИИЦ (Russia) = 0.126 | PIF (India) = 1.940 |
| GIF (Australia) = 0.564 | ESJI (KZ) = 8.716 | IBI (India) = 4.260 |
| JIF = 1.500 | SJIF (Morocco) = 5.667 | OAJI (USA) = 0.350 |

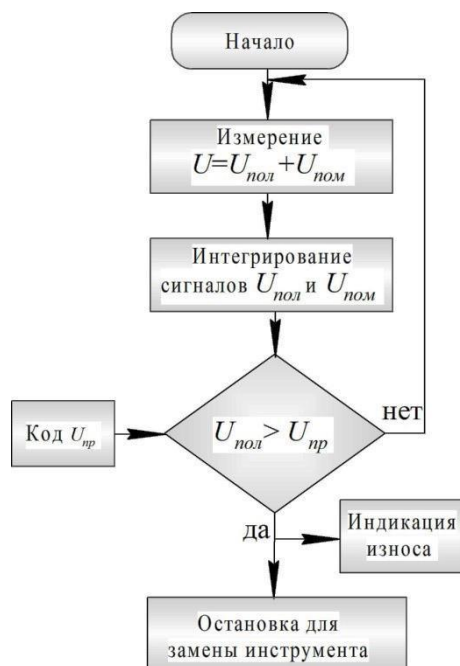


Рисунок 6 – Алгоритм контроля состояния инструмента с синхронизацией измерений по частоте вращения заготовки или инструмента.

Полученные зависимости напряжения $U_{пол}$ виброакустического сигнала от глубины резания t и размерного износа h_p по передней поверхности

при обработке стали (сталь 45, ГОСТ 1050-2013), показаны на рис. 7.

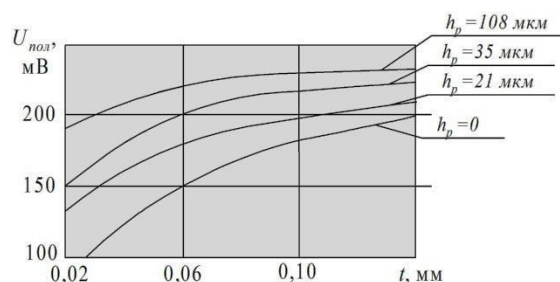


Рисунок 7 – Зависимость амплитуды виброакустического сигнала $U_{пол}$ от глубины резания t и размерного износа h_p инструмента.

Автоматическое восстановление работоспособности ГПМ при отказах режущего инструмента осуществляют посредством замены инструмента при соблюдении следующих правил:

- замена во времени с учетом ресурса инструмента, производимая после заданной наработки; при этом не исключается появление брака (параметрических отказов), вызванное использованием отказавших инструментов, особенно при много инструментальной обработке;

- замена по отказу, для реализации которого используется автоматический контроль состояния инструмента с заменой его резервным в случае отказа;

- сочетание предыдущих правил, позволяющее сократить число случайных отказов и исключать использование отказавшего инструмента.

При автоматическом обнаружении нарушения работоспособности инструмента в процессе обработки останавливали движение подачи, выводили инструмент в позицию замены.

Сбор данных по надежности и переналадке подсистем выполняется с помощью статистического метода, объем и полнота записей которого, определяется назначением ГПМ, его структурой и условиями работы. При этом регистрировались: среднее время между двумя отказами инструмента (T'_1, T_1) , между двумя отказами станка (T'_2, T_2) , приспособления (T'_3, T_3) , загрузочного устройства (T'_4, T_4) , среднее время их восстановления $(T'_{B1}, T_{B1}, T'_{B2}, T_{B2}, T'_{B3}, T_{B3}, T'_{B4}, T_{B4})$. исследовали на ГПМ в лабораторных и

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

производственных условиях. Среднее время между переналадками (T_1'', T_2'', T_3'') и переналадки (обслуживания) подсистем модуля ($T_{01}'', T_{02}'', T_{03}''$) определяется по статистическим данным исследования в производственных условиях.

При проведении испытаний регистрируется время между двумя переналадками или отказами подсистемы; характер выполняемых функций в момент переналадки или отказа; последствия переналадки (отказа); место отказа (переналадки); предполагаемая или истинная причина отказа; длительность переналадки (устранение отказа); меры, принятые по устранению причин возникновения отказа.

Обработку результатов исследований, расчет обобщающего критерия интегральной оценочной функции вариантов ГПМ производят с использованием программы реализующей

зависимости [19-21] и по минимальному численному значению интегральной оценочной функции выбирается рациональный вариант каждого из модулей и вариант структуры автоматизированного участка на их основе .

Выводы.

Предложенная методика проведения экспериментальных исследований для оценки ГПМ по критерию надежности позволяет в промышленных условиях получить исходные данные для оценки перенадежности и надежности гибких производственных модулей.

Метод испытаний ГПМ на надежность по экстремальному уровню позволяет за сравнительно небольшой промежуток времени получать статистические данные по отказам подсистем модулей.

References:

1. Mahmood, K. (2017). Performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS)/ K. Mahmood, T. Karaulova, T. Ottoa, E.Shevtsenko//*Procedia CIRP* 63, pp.424-429. Doi: 10.1016/j.procir.2017.03.123.
2. Nicolae, R. (2015). Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system/ R. Nicolae, A. Nedelcu// *Review of the Air Force Academy. No 1 (28)*, pp. 155-158.
3. Carmen, R.M. (2009). Improving performance in flexible manufacturing systems / M. Carmen Ruiz at all // *The Journal of Logic and Algebraic Programming, № 78*, pp. 260–273.
4. Mitsuyuki, K. (2005). Flexible manufacturing system for agile production/ Mitsuyuki Konishi, Tamaya Sugano// *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review, Vol. 42 No. 2*.
5. Kaushal, A. (2016). Flexible manufacturing system. A modern approach to manufacturing technology/ A. Kaushal, A. Vardhan, R. S. Rajput // *International Refereed Journal of Engineering and Science Vol. 5, Iss. 4*, pp.16-23.
6. Srikanth, D. (2012). Quality, Reliability and Maintenance (Q, R & M) Issues in reconfigurable manufacturing systems (RMS) / D. Srikanth, M. Kulkarni // *Applied Mechanics and Materials, Vol. 110-116*, pp.1442-1446.
7. Belyaeva, O.P. (2006). *Organizacionnye metody povysheniya gibkosti proizvodstvennyh sistem*. Dis. ... kand. tekhn. nauk. (p.147). Kostroma.
8. Rykov, A.D. (2018). Formirovanie tekhnicheskikh trebovanij k gibkim proizvodstvennym moduljam mekhanoobrabotki dlya mnogonomenklaturnogo proizvodstva/ A.D. Rykov, V.M. Davydov// *Uchenye zametki TOGU. T. 9. № 2*, pp.190-196.
9. Kasser, J. (2001). *Writing requirements for flexible systems/ J. Kasser, C. Eng// IN-COSE-UK Spring Symposium*, pp.1-8.
10. Boer, H. (1992). The effective implementation and operation of flexible manufacturing systems/ H. Boer, Koos J J Krabbendam // *International Studies of Management and Organization – 1992. – Vol. 22 (4)*, pp.33-48.
11. Woo, S. (2017). *Reliability design of mechanical systems. A guide for mechanical and civil engineers*. (p.309). Springer International Publishing AG.
12. Dolgin, V.P. (2015). *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: Uchebnoe posobie/ V.P. Dolgin, A.O. Harchenko*. (p.167). Moscow: Vuzovskij uchebnik, NIC INFRA-M.
13. Ajay, P. (2013). A stochastic reward net approach for reliability analysis of a flexible manufacturing module/ P. Ajay, R. K. Sharma // *International Journal of System Assurance Engineering and Management. – 2013. – Vol. 4. – Iss. 3*, pp.293-302.
14. Loganathan, M.K. (2017). Reliability enhancement of manufacturing systems through

Impact Factor:

| | | | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------------|----------------|---------------------|----------------|
| ISRA (India) | = 4.971 | SIS (USA) | = 0.912 | ICV (Poland) | = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) | = 0.829 | PIHHI (Russia) | = 0.126 | PIF (India) | = 1.940 |
| GIF (Australia) | = 0.564 | ESJI (KZ) | = 8.716 | IBI (India) | = 4.260 |
| JIF | = 1.500 | SJIF (Morocco) | = 5.667 | OAJI (USA) | = 0.350 |

- functions/ M.K. Loganathan, O.P. Gandhi // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 231. Iss. 10*, pp. 1850-1868.
15. Puchkov, V.P. (2013). Issledovanie nadezhnosti stankov s CHPU TPK-125 v real'nyh usloviyah ekspluatacii/ V.P. Puchkov, V.V. YAKunin // *Privolzhskij nauchnyj vestnik, № 12 (28)*, CH.2, pp. 51-55.
16. Liberman, Y.L. (2009). Effektivnost' ispol'zovaniya metallovezhushchih stankov s CHPU. *STIN, № 10*, pp.17-20.
17. Zhang, M. (2016). Research on reliability distribution technology of CNC lathe HTC2050/ Miaomiao Zhang, Yan Cao, Zhou Fang, Bei Chen // *Advances in Computer Science Research, 4th International Conference on Information Systems and Computing Technology (ISCT 2016), Vol. 64*, pp.120-124.
18. Wang, Y. (1999). Field failure database of CNC lathes/ Y. Wang, Y. Jia, J. Yu, S. Yi// *International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 16 No. 4*, pp. 330-343.
19. Bogutskiy, V.B. (2018). Ocenka nadezhnosti sintezirovannogo varianta modulya mekhanicheskoy obrabotki po parametricheskim otkazam/ V.B. Bogutskiy, L.B. Shron// *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Nauchnyj zhurnal. № 2 (60)*, Simferopol': RIO KIPU, pp. 221-226.
20. Bogutskiy, V.B. (2018). Ocenka nadezhnosti sintezirovannogo varianta modulya dlya mekhanicheskoy obrabotki detalej po otkazam funkcionirovaniya/ V.B. Bogutskiy, L.B. Shron// *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Nauchnyj zhurnal. № 1 (59)*, Simferopol': RIO KIPU, pp. 170-176.
21. Bogutskiy, V.B. (2018). Metodika ocenka nadezhnosti sintezirovannogo varianta modulya dlya mekhanicheskoy obrabotki detalej/ V.B. Bogutskiy, L.B. Shron // *Vestnik sovremennyh tekhnologij. Sbornik nauchnyh trudov. № 4 (12)*, FGAOU VO «SevGU», – Sevastopol', pp. 4-12.