

МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
МТИЛП

На правах рукописи

КОМИССАРОВА Людмила Александровна

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШВЕЙНЫХ МАШИН  
ПО ВИБРАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

*(№ 05.02.13 – Машины и агрегаты легкой промышленности)*

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 1977

Работа выполнена в Московском технологическом институте легкой промышленности.

Научный руководитель -

член-корреспондент АН СССР

К.В. ФРОЛОВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

И.Ф. ГОНЧАРЕВИЧ

кандидат технических наук, доцент

Е.В. АНДРЕЕНКОВ

Ведущее предприятие - Подольский механический завод

им. М.И. Калинина.

Автореферат разослан "6" мая 1977 г.

Защита диссертации состоится "15" июня 1977 г.

в 11<sup>02</sup> часов на заседании специализированного Совета по присуждению ученых степеней Московского технологического института легкой промышленности.

Адрес: Москва, 113127, ул. Осипенко, 33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Секретарь  
специализированного Совета

доц. А.В. КОЧЕРОВ

© Московский технологический институт легкой промышленности

АКТУАЛЬНОСТЬ. В программе КПСС указано, что целью советского народа является построение коммунистического общества с высокоразвитой материально-технической базой. Достижение этой цели во многом зависит от темпа развития легкой промышленности, решающая роль которого принадлежит швейному машиностроению. В десятой пятилетке проблема повышения качества выпускаемых машин и обеспечение их высокой надежности является особо актуальной. Решение этой проблемы предпринимается по многим направлениям; создание эффективных методов и средств контроля технического состояния швейных машин - одно из них.

Надежность машин в процессе эксплуатации заметно уменьшается. Установлено, что выход из строя отдельных элементов или изменение их параметров вследствие износа и старения следует рассматривать как случайные явления. Задача своевременного определения технического состояния работающих машин, сроков ремонта, содержания профилактических операций и возможности дальнейшей их эксплуатации может быть решена после создания и внедрения в эксплуатационную практику средств контроля их технического состояния. Несвоевременный контроль состояния объектов в период эксплуатации увеличивает простои и затраты на их ремонт. В результате снижается производительность труда, увеличивается парк машин, расходуются сверх нормы запасные части, энергия, смазочные материалы. Улучшение использования швейных машин на 0,01 равнозначно мощности десятков крупных фабрик.

Следовательно, контроль качества швейных машин в процессе их производства и эксплуатации представляет собой актуальную задачу.

Применяемые в настоящее время ручные и полуавтоматические средства проверок не дают объективных, качественных результатов, что снижает продолжительность безотказной службы машин и приводит к увеличению сроков ввода их в эксплуатацию, а субъективизм метода сдерживает автоматизацию контроля. Проблема сокращения обслуживающего персонала, занятого проверкой машин, в связи с увеличением их сложности и ограниченных возможностях ручных средств, также становится чрезвычайно

важной. Решение этих задач невозможно без создания и внедрения в промышленность особых, автоматизированных методов и средств контроля.

Так как объекты исследования – непрозрачные объемные тела, то их техническое состояние должно определяться без разборки, сопровождающейся трудностями и нарушением приработки сопряжений. Поэтому о состоянии машин следует судить по косвенным параметрам, порождаемым их функционированием, либо получаемым в процессе регламентных работ. Для решения поставленной задачи в последние годы формируется новое научное направление – техническая диагностика, получившее успешное развитие в ряде отраслей.

На основании изложенного можно утверждать, что применение технической диагностики для швейных машин будет целесообразно.

**СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.** В настоящее время наиболее развита диагностика электрических релейно-контактных и аналоговых схем, комбинационных устройств и устройств с блочной коммутацией; менее развита диагностика сложных машин и механизмов. Созданные диагностические устройства являются, в основном, специализированными и предназначаются для определенного класса объектов. Известны методы и средства для диагностики отдельных узлов автотракторной, авиационной и вычислительной техники. В швейном машиностроении диагностические методы и средства пока не применялись. Начиная с 1972 года во МТИИШе по техническому заданию Подольского механического завода им. М.И.Калинина (ПМЗ) проводится работа по разработке методов и средств контроля качества швейных машин (на примере машины 262-М кл., являющейся прототипом базовой машины 852 кл.).

В зависимости от вида используемых для диагноза косвенных параметров применяются следующие виды диагностирования: функциональный, волновой, виброакустический, ароматический, интроскопический, радиоизотопный, рентгеновский, ультразвуковой, высокочастотный, инфракрасного излучения, люминисцентной дефектоскопии, индикаторный, по измерению загрязнения масла, протекающего по системе. Все они, за исключением виброакустического, для диагноза швейных машин являются малопри-

годными по причинам либо их недостаточного развития, либо значительной трудоемкости, либо непригодности самого объекта исследования. Поэтому в работе рассматривается возможность и эффективность диагностирования машин по виброакустическим характеристикам; кроме того, предлагается новый вид диагностирования – по амплитудно-частотным характеристикам (АЧХ).

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** Целью диссертационной работы является решение вопросов технической диагностики швейных машин в процессе их производства и эксплуатации. Для достижения цели выполнено следующее: обосновано выбраны и опробованы на практике наиболее рациональные методы диагностирования, пригодные для швейных машин; на основе этих методов разработаны инженерные методики проведения технического диагноза; разработаны и созданы некоторые средства, позволяющие автоматизировать операции контроля состояния машин; даны рекомендации по практическому внедрению в промышленность разработанных методов, методик и средств.

**МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Экспериментальная часть работы посвящена тарировке диагностической системы путем искусственного введения в машины наиболее часто встречающихся дефектов и изучения изменения выходных сигналов по отношению к сигналам, соответствующим исправным машинам. В качестве выходных сигналов использовались некоторые статистические характеристики колебаний корпусов швейных машин – автокорреляционная функция и амплитудный спектр, а также АЧХ объекта. На основании эксперимента были установлены возможности применения, преимущества и недостатки каждой характеристики, а также методов диагностирования; составлены взаимно-однозначные зависимости между параметрами состояния машины и параметрами диагностических сигналов, позволяющие определить вид, место расположения неисправностей в машине и величины погрешностей, их характеризующих. Обработка результатов эксперимента проводилась на ЭЦВМ с помощью методов математической статистики.

Теоретическая часть работы обобщала и развивала экспериментальную.

В работе теоретически обоснован выбор для диагностирования указанных выше статистических характеристик виброакустического сигнала, а также АЧХ. Исследована динамика взаимодействия элементов кинематических пар некоторых механизмов и узлов машины. Выполнен анализ колебаний корпуса машины под действием сил полигармонического и ударного вида; определена форма спектра выходного сигнала для этих случаев.

**ДОСТОВЕРНОСТЬ И НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ.** Диссертация является первой работой по диагностике швейных машин. Все научные положения, выдвинутые в работе, в необходимой мере подтверждены теоретически и базируются на достаточном экспериментальном материале. Экспериментальная часть работы, анализ ударного взаимодействия элементов механизма иглы, винтовой передачи, колебаний корпуса швейной машины, а также определение формы его амплитудного спектра, обоснованно выбранного в качестве диагностической характеристики, выполнены впервые.

На основе проведенной работы создана инженерная методика и решены вопросы технологии диагноза. Разработана методика выбора оптимального режима диагностирования - места расположения датчика и скорости работы машины. Созданы средства, позволяющие производить автоматизированный контроль швейных машин.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ.** Работа имеет практическую ценность, поскольку разработанные методы, методики и средства технической диагностики можно применять в лабораториях и производственных цехах при исследовании вновь изготавливаемых, модернизируемых и серийно выпускаемых машин. Разработки полезны при ремонте машин и необходимы для обнаружения аварийных ситуаций во время их эксплуатации.

**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.** Эффективность применения методов и средств зависит от конструкции, количества машин и условий проведения контроля. Расчет экономической эффективности применительно к условиям работы ПМЗ показал, что годовой эффект от внедрения одной вибростендовой установки при годовом выпуске промыш-

ленных швейных машин, равном 1470 тыс. штук, составит 7,6 тыс. руб.; срок окупаемости установки равен 3,2 годам.

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Работа выполнялась по тематическому плану научно-исследовательских работ МТИШПа на основании технического задания ПМЗ. На основании проведенных исследований разработаны "Специализированное устройство для отбраковки швейных машин", применительно к методу сравнения сигналов с эталонами, и "Устройство, осуществляющее преобразование сигнала для ввода его в ЭЦМ", позволяющее проводить диагноз по классическому методу и методу сравнения сигналов с эталонами на ЭЦМ, успешно прошедшее совместные с ПМЗ испытания. Планом научно-исследовательских работ ПМЗ на 1977-1980 г.г. предусмотрено внедрить разработанные методы и средства в производство.

**ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Работа изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 84 рисунка, библиографию 151 наименования и приложение на 63 страницах, включающее 20 таблиц и 39 графиков.

## ГЛАВА I. ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОЗА

В главе формулируется задача диагностики, исследуются необходимые и достаточные для ее решения условия, доказываются возможность различать нетождественные состояния и выбираются в качестве диагностических сигналов некоторые статистические характеристики шума машины. Проводится анализ характерных дефектов машин, рассматриваются два метода диагноза и разработанные для их осуществления средства. Предлагается методика определения оптимального режима испытания, исследуются вопросы точности, надежности и разрешающей способности диагноза, обосновываются выбор датчика, ориентация и метод его крепления.

Задача диагностики формулируется следующим образом. Состояние реальной машины  $W$  в момент времени  $t$  характеризуется набором  $n$  независимых действительных чисел  $X_1, \dots, X_2, \dots, X_n$  (структурных параметров), рассматриваемых как координаты точки в  $n$ -мерном простран-

ве состояний, а состояние идеальной машины - как нулевой радиус-вектор  $W_0 = \{0, \dots, 0\}$ . Диагностический сигнал  $V$ , соответствующий состоянию  $W$  с параметрами  $S_1, \dots, S_j, \dots, S_m$ , рассматривается как точка в  $m$ -мерном пространстве сигналов, а процесс функционирования объекта - как отображение  $F$  множества состояний на множество сигналов, выражающееся равенством  $V = F(W, E)$  или при постоянстве внешних условий  $E$  - системой  $S_j = F_j(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ ,  $j = \overline{1, m}$ , (I) означающими взаимно-однозначное соответствие между двумя пространствами, являющееся необходимым условием для разрешения диагностической задачи.

Определение величин параметров  $\{x_i\}$ , неизвестных до постановки диагноза, составляет задачу диагностики. Задача считается решенной, если известны значения каждой из  $n$  величин  $x_i$ , либо если множество  $\{x_i\}$  выражено через известное множество  $\{S_j\}$  диагностического сигнала, согласно соотношению вида

$$x_i = f_i(S_1, \dots, S_j, \dots, S_m), \quad i = \overline{1, n} \quad (2)$$

Равенства (2) являются решением системы (I) и притом единственным, если  $F$  удовлетворяет условиям непрерывности и дифференцируемости, что наблюдается в реальных объектах, и якобиан отображения

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial x_i} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial F_m}{\partial x_i} & \dots & \frac{\partial F_m}{\partial x_n} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (3)$$

Согласно (3), размерность диагностического сигнала должна равняться числу степеней свободы объекта, т.е.  $m = n$ ; при  $m < n$  диагностическая задача не разрешима.

Для оценки состояния машины в качестве выходного сигнала выбрано колебание стенок ее корпуса, являющееся многомерной характеристикой. Однако экспериментально установлено, что диагностическим сигналом непосредственно вибрацию корпуса считать нельзя, поскольку осциллограммы, многократно зарегистрированные для одного и того же состояния объекта, различны. Было доказано, что виброакустический сигнал машины является широкополосным, непериодическим, смешанным процессом (с при-

сутствием детерминированных и случайных составляющих), а также стационарным и эргодичным. В связи с этим были рассмотрены статистические характеристики акустического сигнала и выбраны из них те, которые с учетом требования многомерности, могут служить диагностическими.

Теоретически, с использованием аппарата спектральной теории, показано, что амплитудный спектр (точнее, спектр детерминированной составляющей, представляющий собой среднюю линию результирующего спектра), а также автокорреляционная функция сигнала (или эквивалентная и равнозначная в информативном отношении ей характеристика - спектральная плотность) могут служить диагностическими сигналами. Эти характеристики, а также АЧХ машины, ограниченные областью  $[0, T]$  и частотным диапазоном  $[0, f_g]$ , имеют размерность, определяемую теоремой Котельникова:  $m = f_g \cdot T$ . Их отсчеты, взятые в точках, отстоящих друг от друга на расстоянии  $\frac{1}{f_g}$ , являются независимыми параметрами диагностического сигнала. Диагностирование машин по автокорреляционной функции рассмотрено в главе II, с помощью спектра и АЧХ - в главе III.

После выбора диагностических характеристик было принято допущение о линейности  $F$ , после чего система (I) заменена системой

$$S_j = \alpha_{j1} x_1 + \dots + \alpha_{ji} x_i + \dots + \alpha_{jn} x_n, \quad j, i = \overline{1, m} \quad (4)$$

где  $\alpha_{ji} = \frac{\Delta S_j}{\Delta x_i}$  - коэффициенты чувствительности, а якобиан (3) - якобианом

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1i} & \dots & \alpha_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{m1} & \dots & \alpha_{mi} & \dots & \alpha_{mn} \end{vmatrix} \quad (5)$$

Учитывая, что модуль определителя (5) характеризует обобщенный коэффициент чувствительности, предлагается следующая методика выбора оптимального режима диагностирования - наиболее чувствительной точки установки датчика и рационального скоростного режима: экспериментальное определение коэффициентов чувствительности  $\alpha_{ji}$ ; подсчет определителей, составленных из коэффициентов  $\alpha_{ji}$ ; выбор определителя, имеющего максимальное абсолютное значение. Режим диагностирования, при котором модуль якобиана имеет максимальное значение, следует считать оптимальным, т.е. наиболее чувствительным к исследуемым состоя-

ниям.

Окончательно, при  $\Delta \neq 0$  система (2) заменяется системой

$$x_i = \theta_{i1} S_1 + \dots + \theta_{ij} S_j + \dots + \theta_{in} S_n, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

имитирующей, как и соотношение (4), процесс постановки диагноза по классическому методу. При нелинейной зависимости  $\{S_j\}$  от  $\{x_i\}$  диагноз необходимо осуществлять по схеме

$$x_i = \sum_{j=1}^n \theta_{ij} S_j + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n C_{ikl} S_k \cdot S_l + \dots, \quad i, j = \overline{1, n}.$$

Примеры диагностирования швейных машин по классическому методу, разработанные на его основе методики проведения диагноза по спектру и АЧХ, окончательные системы уравнений с подсчитанными коэффициентами чувствительности, определение оптимального режима методом сравнения определителей изложены в главе III.

Классический метод реализуется на ЭЦМ с помощью стандартных программ решения систем уравнений с  $n$  неизвестными. Для преобразования непрерывного диагностического сигнала в дискретный и записи его на перфоленту с целью автоматизации ввода информации и ее обработки на ЭЦМ был разработан "Стенд подготовки экспериментальных данных для ввода в ЭЦМ", блок-схема которого приведена на рис. 1. Достоинствами метода являются строгость постановки задачи и высокая точность ее решения, недостатком - трудоемкость. Метод можно рекомендовать для определения характера, места неисправности и количественной оценки структурных параметров.

Кроме классического в главе рассматривался метод сравнения сигналов с эталонами, для реализации которого было разработано и создано "Специализированное устройство для отбраковки швейных машин" (рис. 2). При применении указанного метода непрерывное множество состояний объекта и соответствующих им сигналов разбивается на  $n$  различаемых при диагнозе классов. Различия в состояниях, принадлежащих одному классу, и события, происходящие в машине и не приводящие к переходу в другой класс, не учитываются, а задача диагностики ограничивается определением класса обследуемого объекта.

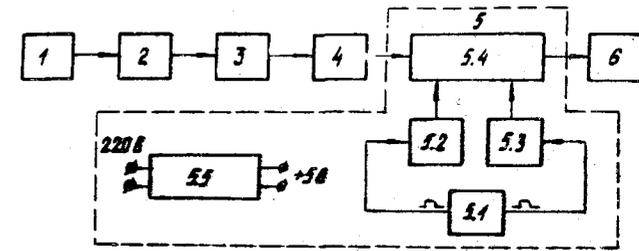


Рис. 1. Блок-схема устройства для преобразования сигнала и ввода его в ЭЦМ: 1-блок выработки диагностического сигнала; 2-предварительный усилитель; 3-детектор; 4-аналого-цифровой преобразователь; 5-согласующе-демпфирующее устройство; 5.1-генератор тактовых импульсов; 5.2, 5.3-синхронизаторы записи и выводов информации; 5.4, 5.5-блоки оперативной памяти и стабилизированного питания, 6-перфоратор.

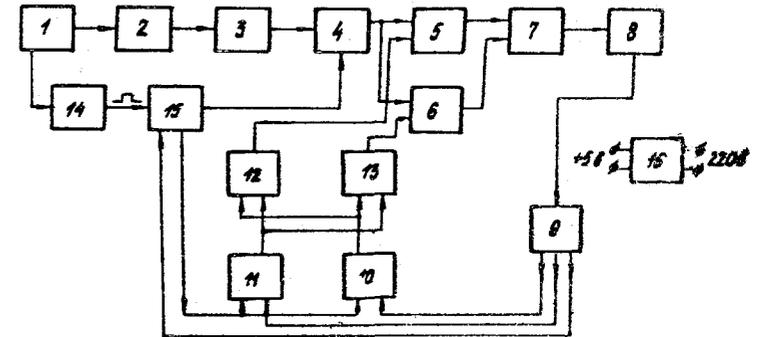


Рис. 2. Блок-схема устройства для отбраковки швейных машин: 1-блок выработки диагностического сигнала; 2-усилитель; 3-аналого-цифровой преобразователь; 4-блок памяти амплитуд обследуемого объекта; 5, 6-блоки сравнения; 7-блок создания; 8-счетчик; 9-функциональная панель управления; 10-блок памяти эталонных амплитуд; 11-блок памяти поправок; 12-сумматор; 13-генератор тактовых импульсов; 14-синхронизатор; 15-блок стабилизированного питания.

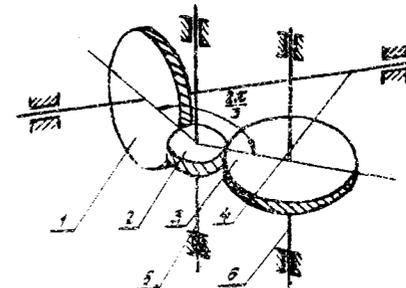


Рис. 3. Схема зубчатой передачи челночного механизма: 1-цилиндрическая косозубая шестерня распределительного вала; 2-цилиндрическая косозубая шестерня челночного вала; 3-цилиндрическая косозубая шестерня вала отвода; 4-цилиндрическая косозубая шестерня челночного вала.

Для разбиения пространства состояний на классы выбирается группа признаков и каждое состояние характеризуется наличием их; количество параметров  $\{x_i\}$  и их величины при этом не учитываются. Далее от каждого класса отбирается по типичному представителю и считается, что ему свойственны основные признаки состояний своего класса. Тогда, имея  $r$  эталонных состояний (классов), необходимо сравнивать с ними состояние обследуемого объекта и в зависимости от того, с представителем какого класса состояние объекта имеет наибольшее сходство, к тому классу его и отнести. Поскольку при диагностировании сопоставляются не состояния, а соответствующие им сигналы, то в качестве априорной информации задаются эталонные сигналы  $V_g = \{S_{g1}, \dots, S_{g2}, \dots, S_{gn}\}$ ,  $g = \overline{1, r}$ , хранящиеся в накопителе, и с ними сравнивается сигнал обследуемого объекта  $V_x = \{S_{x1}, \dots, S_{x2}, \dots, S_{xn}\}$ .

В качестве эталонных сигналов предлагается использовать усредненные диагностические характеристики, получаемые в результате статистической обработки характеристик отдельных машин, находящихся в  $N$  технических состояниях, а оценку близости состояний производить по критериям:  $\cos \varphi = \frac{\sum_{i=1}^n S_{gi} \cdot S_{xi}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n S_{gi}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n S_{xi}^2}}$ ;  $\rho_R(V_x, V_g) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{gi} - S_{xi})^2}{\sum_{i=1}^n S_{gi}^2}}$ ;  $\rho_m(V_x, V_g) = \max |S_{gi} - S_{xi}|$ ;  $\Delta_r = \sum_{i=1}^n |S_{gi} - S_{xi}|$ ;  $\Delta_{II} = \sum_{i=1}^n (S_{gi} - S_{xi})^2$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $g = \overline{1, r}$ , а также по коэффициенту корреляции между обследуемым сигналом и  $r$  типовыми сигналами.

Анализ дефектов деталей и узлов швейных машин показал, что основное внимание следует уделять неисправностям, влияющим на шум и вибрацию машины. На основе анализа применительно к данному методу и к каждой диагностической характеристике выполнена классификация состояний машины, а в глава II и III проведена тарифовка диагностической системы контроля, т.е. получены эталонные диагностические сигналы ( $r = 10+13$ ).

Метод сравнения сигналов с эталонами реализуется на ЭЦВМ с использованием стандартных программ сравнения эталонных сигналов, хранящихся в памяти машины, с сигналом обследуемого объекта по одному из критериев (7) и стенда, изображенного на рис. 1, либо на устройстве,

представленном на рис. 2. Достоинствами метода являются простота реализации и быстроедействие; диагностирование можно производить при заводском контроле машин и при их эксплуатации.

Исследовано влияние помех на погрешности измерения параметров  $\{x_i\}$  и установлено, что относительная погрешность диагноза  $\delta_i = \frac{\Delta x_i}{x_i} \sim \frac{1}{m}$ ,  $i = \overline{1, n}$  уменьшается с увеличением размерности сигнала  $m$ . Поэтому одним из способов повышения точности диагностирования может служить использование избыточной информации, равной разности размерностей сигнала и состояний объекта. Показано, что разрешающая способность диагноза зависит от диапазона возможных изменений сигнала и наибольшей флуктуации помехи, увеличиваясь с увеличением размерности сигнала, а надежность - от знака распределения помехи и числа технических состояний машины.

Выбраны тип датчика, используемого для съема сигнала, - пьезодатчик, его ориентация относительно объекта - вертикальное расположение, метод крепления к машине: при снятии АЧХ и корреляционных функций - крепление на воске, при снятии спектра - с помощью магнитного переходника.

## ГЛАВА II. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ МАШИН ПО КОРРЕЛЯЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Глава посвящена разработке методики диагностирования машин по корреляционным функциям колебаний их корпуса применительно к изложенным в главе I методам. Кроме того, рассматривается метод диагностики, основанный на выявлении скрытых периодичностей с использованием только автокорреляционной функции сигнала.

Установлено, что у исправного объекта интенсивность ударов деталей в различных кинематических парах имеет примерно одинаковый порядок и сравнительно невелика. Воспринимаемый датчиком шум образуется под действием таких возмущений и представляет собой сложную квазистохастическую последовательность с широким, равномерным спектром.

Показано, что вследствие зазоров в кинематических парах, локаль-

ных дефектов деталей, а также ошибок зацепления в зубчатых передачах возникает упорядочная последовательность ударных импульсов с большей амплитудой. Причем такие параметры удара, как длительность соударения, определяющая форму и спектр колебаний, и период посылки ударных импульсов от технического состояния объектов не зависят, а определяются параметрами кинематических пар, не меняющимися при эксплуатации; их следует использовать для выделения генерируемых сигналов. В то же время скорость и импульс соударения, а следовательно, и амплитуда акустического сигнала зависят от технического состояния машины.

Импульсные последовательности, порождаемые ударными взаимодействиями деталей, замаскированы случайным процессом. Для их выделения и анализа предложен корреляционный метод выявления скрытых периодичностей, а вместе с тем и метод технической диагностики по автокорреляционным функциям акустического сигнала машины.

Доказано, что периодические выбросы шума имеют высокочастотное заполнение с частотами собственных колебаний машины, не несущими информации об интересующих нас ударных взаимодействиях. Поэтому при использовании данного метода следует детектировать сигнал. Интенсивность периодической составляющей у детектированного сигнала зависит от скоростного и нагрузочного режимов работы машины — при уменьшении скорости она возрастает. В связи с этим скоростной и нагрузочный режимы объекта, а также все внешние условия при диагнозе должны регламентироваться и поддерживаться постоянными.

Показано, что в параметрах и форме корреляционных функций проявляются основные параметры удара, а следовательно, и техническое состояние машины: период гармоники позволяет опознать дефектную пару, а амплитуда — оценить степень ее разрушенности; изменение формы диагностической характеристики по отношению к идеальной свидетельствует о наличии неисправности в объекте. Таким образом, для обнаружения неполадок в объекте достаточно вычислить корреляционную функцию акустического сигнала и исследовать ее форму. Если при  $\tau > \tau_0$  корреляционная

функция  $R(\tau)$  является периодической с периодом  $T_0$ , то это свидетельствует о неисправности пары, генерирующей импульсы периода  $T_0$ . Если при  $\tau > \tau_0$   $R(\tau)$  экспоненциально затухает, то периодической составляющей в сигнале нет и объект исправен.

Метод применим для объектов, детектированный акустический сигнал которых не имеет ярко выраженной периодической структуры; к таким объектам относится швейная машина. Однако было установлено, что в ее акустическом сигнале присутствует периодическая составляющая (и возможно ее гармоники), вызванная как неуравновешенностью деталей, так и периодическим характером работы механизма иглы. Поэтому  $R(\tau)$  исправной машины не затухает, а содержит гармонику с периодом  $T_* = \frac{2\pi}{\omega_g}$ , где  $\omega_g$  — угловая скорость вращения главного вала. При наличии в машине неисправной пары, генерирующей импульсы периода  $T_0$ , корреляционная функция имеет две периодические составляющие  $T_*$  и  $T_0$ .

Для реализации метода была собрана установка и разработана методика. Определены продолжительность реализации  $T$ , шаг запаздывания записи одной дорожки магнитной ленты по отношению к другой  $\Delta\tau$ , максимальный диапазон задержки  $(0, \tau_{max})$  и остальные необходимые параметры. Было установлено, что для обнаружения дефектов швейной машины корреляционную функцию следует вычислять два раза: при  $\Delta\tau_1 = 2 \cdot 10^{-3}$  м (для выявления высших частот) и при  $\Delta\tau_2 = 2 \cdot 10^{-2}$  м (для выявления низших частот), так как ограничение длины  $R(\tau)$  одним периодом  $T_*$  (при шаге  $\Delta\tau_1$ ) для распознавания некоторых состояний недостаточно.

Параметры удара, проявляющиеся в корреляционных функциях, для различных состояний машины были определены теоретически (путем изучения динамических процессов, происходящих в кинематических парах при отклонениях их параметров от номиналов) и экспериментально. Для количественной оценки дефектов на основании экспериментальных данных были построены зависимости амплитуд выделенных гармоник от величин соответствующих дефектов — тарировочные графики.

На основании экспериментальных и теоретических исследований было

доказано следующее.

- Подшипник качения главного вала машины с увеличенным радиальным зазором генерирует периодические ударные импульсы периода  $T_{п.к.} = \frac{4\pi D_0}{z_u \omega_g (D_0 - d_u) z_u}$ , где  $d_u, z_u$  - диаметр и число шариков;  $D_0$  - диаметр окружности, проходящей через центры тел качения. Амплитуда импульсов

$$q_0 = \varepsilon_0 (1+e) \sin \frac{\pi}{z_u} \sqrt{\frac{M_{np} \cdot N}{R_0 - \frac{\varepsilon_0}{2} \cos \frac{\pi}{z_u}}}$$

определяемая величинами радиального зазора  $\varepsilon_0$ , радиальной силы, действующей на вал  $N$ , и конструктивными параметрами подшипника ( $z_u, R_0$ , коэффициентом восстановления  $e$  и приведенной к подшипнику массой  $M_{np}$ ), линейно возрастает при увеличении зазора. Экспериментально установленная зависимость также линейна. При повышении скорости, но до определенного предела, происходит незначительный рост импульса силы. Длительность взаимодействия элементов подшипника при ударе

$$\tau = 2,9432 \cdot M_{np}^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{2,44 (R_0 - \frac{\varepsilon_0}{2} \cos \frac{\pi}{z_u})}{N \cdot R_0^2 \cdot \sin^2 \frac{\pi}{z_u}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \varepsilon_0^{-\frac{1}{2}}$$

почти не зависит от величины зазора  $\varepsilon_0$  ( $R_0$  - коэффициент, определяемый кривизной поверхностей тел в точке контакта и упругими свойствами материала).

- Подшипник качения главного вала с трещиной на беговой дорожке внешнего кольца генерирует импульсы периода  $T_2 = \frac{4\pi D_0}{\omega_g (D_0 - d_u) z_u}$ , совпадающего с  $T_{п.к.}$ . Отличительной чертой двух указанных состояний является отсутствие низкочастотной составляющей периода  $T_4 = 4T_2$ , имеющейся в корреляционной функции сигнала подшипника качения с зазором. Подшипник с другими локальными дефектами также является источником периодических ударных импульсов.

- Работа зубчатой передачи челночного механизма (рис. 3), имеющей монтажные погрешности: эксцентриситет зубчатого колеса 2; осевое смещение зубчатого колеса I по отношению к колесу 2; осевое смещение зубчатого колеса 2 относительно колес I и 3, а также износ зубьев шестерни 2, создающие ошибку зацепления  $\delta i$ , сопровождается периодическими ударными импульсами периода  $T_f = \frac{2\pi}{\omega_2}$ . Амплитуда импульсов

$q_0 = \gamma_1 \gamma_2 \frac{r_1 \cos \beta_1 \cdot \omega_1}{\gamma_1 r_1^2 + \gamma_2 r_2^2} \cdot \frac{\Delta i}{l}$   
линейно возрастает при увеличении ошибки зацепления и скоростного режима  $\omega_1$  ( $\gamma_1, \gamma_2$  - моменты инерции ведущего и ведомого колес;  $\beta$  - угол наклона зубьев на ведущем колесе;  $r_1$  и  $r_2$  - радиусы начальных цилиндров). Экспериментально установленные зависимости для четырех состояний также линейны. Общий вид корреляционных функций, полученных при  $\Delta \varepsilon_2$ , т.е. наличие в них низкочастотных составляющих того или иного периода позволяет отличать их друг от друга: в первом случае появились гармоники периода  $\frac{T_*}{2}$  и  $\frac{T_*}{3}$ ; во втором -  $4T_*$ ; в третьем -  $\frac{T_*}{3}$ ; в четвертом -  $\frac{T_*}{3}$ , причем в отличие от третьего случая форма  $\frac{T_*}{3}$  не четкая, симметричность ее относительно оси  $\varepsilon$  нарушена, расстояния между всплесками не одинаковы, форма всплесков размытая. Длительность взаимодействия пар при ударе

$$\tau = 2,9432 \left[ \frac{\varepsilon}{4} \cdot \frac{\gamma_1 \gamma_2}{R_0 (\gamma_1 r_1^2 + \gamma_2 r_2^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot (r_1 \cos \beta_1)^{-\frac{1}{2}} \cdot \omega_1^{-\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{\Delta i}{l} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

почти не зависит от величины ошибки.

- Сочленения палец игловодителя-нижняя головка шатуна и игловодитель-направляющие при наличии в них зазоров являются источниками почти периодических ударных импульсов периода  $\approx \frac{T_*}{2}$  и  $\approx \frac{T_*}{4}$ . По мере увеличения степени их неисправности возрастает интенсивность соударений, а периодичность посылки импульсов все больше нарушается, вследствие чего форма корреляционной функции сигнала искажается (расстояния между всплесками становятся не одинаковыми, а форма и длительность всплесков изменяются). Амплитуда импульсов (для переключки игловодителя в зазоре)

$$q_{0i} = M_{np}^{\frac{1}{2}} (1+e) \cdot \left( \frac{g}{2} \cdot \omega_g \cdot \frac{dR_{03}}{d\varphi_i} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \varepsilon_0^{\frac{1}{2}}$$

определяемая величиной зазора в сопряжении  $\varepsilon_0$ , конструктивными параметрами подшипниковой пары ( $M_{np}, e$ ) и скоростью работы машины  $\omega_g$ , а также значением производной давления втулок кривошипно-ползунного механизма по углу поворота кривошипа  $\frac{dR_{03}}{d\varphi_i}$ , находится в прямой зависимости от величины зазора ( $i$  - число соударений). Длительность

взаимодействия элементов пары при ударе от величины зазора практически не зависит:

$$c = 2,3432 \left( \frac{5}{4} K_p \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{g}{2} \cdot \omega_g \cdot \frac{dR_{23}}{d\varphi} \right)^{-\frac{1}{3}} M_{np}^{\frac{2}{3}} \cdot \xi_0^{-\frac{2}{3}}$$

- При увеличенном зазоре между пальцем кривошипа и верхней головкой шатуна, а также в переднем и заднем подшипниках скольжения главного вала ударных взаимодействий при выбранном режиме диагностирования ( $\omega_g = 30$  рад/с) не происходит; однако амплитуды составляющей  $T_n$  с увеличением зазоров возрастают.

На основании проведенного анализа дефектных и исправных корреляционных функций, а также тарировочных графиков, было установлено, что исследованные технические состояния являются источниками определенных, присущих только им, выходных сигналов. Этим доказано, что корреляционная функция может служить диагностической характеристикой, а метод диагностирования пригоден для определения качества швейных машин. Достоинствами метода следует считать удобство, быстроедействие и простоту реализации - оператором, имеющим набор эталонных характеристик.

### ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ МАШИН ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ И АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

В главе излагается методика проведения технического диагноза машин по спектральным и амплитудно-частотным характеристикам, разработанная на основе классического метода. Сначала проводится анализ амплитудно-частотного спектра колебаний корпуса машины для выявления причин, обуславливающих смешанный характер спектра и возможные его изменения при наличии в машине дефектов, приводится методика диагностирования по спектру, затем описывается методика диагностирования по АЧХ.

Для теоретических исследований спектра в качестве модели швейной машины была выбрана многоканальная система связи, акустические каналы которой включают в себя источник сообщения - кинематические пары, приемник сигнала - датчик и среду, по которой проходит сигнал - корпус машины; количество каналов равняется числу кинематических пар. Было принято допущение о линейности акустических каналов и машины. Модель акустического канала рассматривалась как набор гармонических осцилли-

торов, частоты которых равны собственным частотам машины. Резонансные частоты акустического канала не совпали с резонансными частотами отдельных деталей машины, так как понятие "собственная частота детали" в реальной машине не имеет смысла.

Установлено, что основными возмущающими нагрузками в швейной машине являются полигармонические, ударные и случайные силы. Составлены и решены уравнения движения модели машины при действии периодических нагрузок полигармонического и ударного видов; определена форма спектра выходного сигнала для этих случаев. Показано, что под действием полигармонических периодических сил корпус машины может совершать колебания с частотой, равной или кратной основной частоте возмущений. Ударные нагрузки вызывают колебания корпуса машины, представляющие последовательность импульсов в форме затухающих косинусоид с частотой, равной собственной частоте затухающих колебаний акустического канала связи. Случайные возмущения, вызванные трением, порождают широкополосные колебания, накладываемые на сигнал в виде шумового фона.

Аналитически доказано и экспериментально проверено, что спектр колебаний корпуса машины является смешанным и имеет гребенчатую форму. Спектр, обусловленный ударами в кинематических парах, - сплошной и занимает почти весь спектр звуковых частот. Дискретные составляющие спектра расположены как на частотах (основных и кратных) периодических возмущающих сил, зависящих от скоростного режима, так и на резонансных частотах акустических каналов, определяемых размерами и техническими данными отдельных узлов и не меняющих своих значений при изменении скорости диагностирования. Дискретные составляющие, связанные с частотой следования ударов в кинематических парах, проявляются в спектре тогда, когда зубцы ударных импульсов лежат в области резонансов канала, что зависит от соотношения скоростей диагноза и собственных частот канала.

Теоретически установлено, что амплитуды спектра и колебаний находятся в прямой зависимости от величины ударного импульса  $\varphi_0$ , пропорционального величине отклонения структурного параметра кинематической

пары от нормы  $\xi_0$ . Этим доказано, что любое нарушение технического состояния машины должно приводить к соответствующему изменению амплитуд спектра.

Аналитически показано, что спектры сигналов, генерируемых различными кинематическими парами, отличаются протяженностью по оси частот, верхняя граница которой определяется продолжительностью соударения деталей пары  $\xi$ , и при изменении состояния объекта будут изменяться в строго определенной полосе частот. Другими словами доказано, что каждое техническое состояние машины должно являться источником присущего только ему выходного сигнала.

Собрана установка и разработана методика снятия спектра. Установлено, что место, способ закрепления и ориентация датчика, а также скоростной режим, натяжение приводного ремня и некоторые другие технологические факторы влияют на вид спектра. Поэтому диагностирование должно проводиться при строго постоянных и обоснованных условиях.

Экспериментально исследовано влияние отдельных дефектов на изменение спектра исправных машин, т.е. проведена тарировка диагностической системы. Выполнен анализ дефектных спектрограмм и обнаружено, что при наличии неисправностей в машине действительно происходят изменения амплитуд спектра в определенных частотных диапазонах. Таким образом доказано, что амплитудный спектр может служить диагностической характеристикой, а метод диагностирования по спектру пригоден для определения качества швейных машин.

Определены области максимального изменения спектра для каждого состояния машины, согласно выбранному нами критерию  $B_{ij} = \frac{P_{ij} - Q_{0j}}{Q_{0j}}$ , где  $i$  - количество исследуемых состояний;  $P_{ij}$  - дискретное значение амплитуды усредненного спектра, соответствующего  $i$  состоянию, при  $f_j$  частоте;  $Q_{0j}$  - дискретное значение амплитуды усредненного спектра, соответствующего исправному состоянию, в  $j$  точке.

По результатам расчета критерия  $B_{ij}$  для нескольких предварительно выбранных режимов диагностирования, отличающихся точкой съема сигнала

и скоростью машины, согласно разработанной нами и описанной в главе методике, были отобраны информативные частоты (частоты, при которых следует брать значения амплитуд спектра для реализации классического метода). Количество информативных частот равнялось числу исследуемых состояний машины (в данном случае II).

Оптимальный режим диагностирования определен по методике, изложенной в главе I (путем сопоставления модулей определителей, составленных из экспериментально вычисленных коэффициентов чувствительности  $a_{ij}$ , подсчитанных на информативных частотах):  $\omega_j = 104,6$  рад/с, установка датчика на платформе машины между стойкой и игловодителем.

Для оптимального режима составлена система из II уравнений вида (4), устанавливающая однозначное соответствие между параметрами состояния и амплитудами спектра на информативных частотах, позволяющая проводить диагноз по классическому методу. Проверка гипотезы линейности системы была осуществлена экспериментально на II информативных частотах данного режима при четырехкратном изменении каждого структурного параметра.

Собрана установка и разработана методика снятия АЧХ. Установлено, что способ закрепления машины к платформе вибратора, величина силы затяжки объекта крепежными скобами, центрирование машины относительно оси вибратора, положение главного вала, величина входного возмущения, а также место, способ крепления и ориентация датчика влияют на вид АЧХ. Поэтому диагностирование должно проводиться при строго постоянных и обоснованных условиях.

Экспериментально исследовано влияние отдельных дефектов на изменение АЧХ исправных машин, т.е. проведена тарировка диагностической системы. Выполнен анализ дефектных АЧХ и обнаружено, что при наличии неисправностей в машине происходят соответствующие изменения амплитуд и частот АЧХ. Следовательно, доказано, что АЧХ могут служить в качестве диагностических, а метод диагноза с помощью вибростенда пригоден для определения качества швейных машин. Все технические состояния, за исключением состояний зубчатой передачи, однозначно определяются по параметрам АЧХ.

Определены области максимального изменения АЧХ для каждого состояния машины, как это было сделано выше, и отобраны информативные частоты для нескольких предварительно выбранных режимов диагностирования (в данном случае IO). Определен оптимальный режим - установка датчика на рукаве машины около игловодителя.

Для оптимального режима составлены две системы уравнений вида (4) однозначного соответствия между параметрами состояния и параметрами АЧХ (система 1: диагностические параметры - амплитуды АЧХ; система 2: диагностические параметры - частоты АЧХ), позволяющие проводить диагноз по классическому методу. Проверка гипотезы линейности систем осуществлялась экспериментально на IO информативных частотах данного режима при четырехкратном изменении каждого структурного параметра.

### З а к л ю ч е н и е

В результате теоретических и экспериментальных исследований выполнено следующее:

1. Установлено, что диагностирование швейных машин можно осуществлять методом выявления скрытых периодичностей, методом сравнения сигналов с эталонами и классическим методом, позволяющими однозначно определять вид, место расположения дефектов и их количественные показатели.

2. Доказано, что диагностическими характеристиками швейных машин могут служить их амплитудно-частотные характеристики и статистические характеристики колебаний корпуса - амплитудный спектр и автокорреляционная функция (или спектральная плотность).

3. Регламентированы условия проведения технического диагноза; разработана методика определения его оптимальных режимов - скорости машины и места установки датчика; проведена тарировка диагностических систем.

4. Исследована динамика взаимодействия элементов кинематических пар винтовой передачи челночного механизма, механизма иглы и подшипника качения главного вала; показано, что при наличии дефектов в указ-

занных парах возникают удары.

5. Определены зависимости параметров и формы корреляционной функции и амплитудного спектра от параметров удара; установлены характер движения корпуса машины и форма спектра выходного сигнала под действием возмущающих сил ударного и полигармонического вида.

6. Разработаны и созданы средства автоматизации процесса диагностирования машин: устройство для сравнения сигналов с эталонами и стенд ввода информации в ЭЦВМ.

7. Показано, что разработанные методы, методики и средства технической диагностики промышленных швейных машин 262-М кл. ПМЗ позволяют объективно, достаточно точно и быстро оценивать их состояние как при изготовлении, так и при эксплуатации; с некоторыми доработками их можно применить для диагностики машин других классов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

2

- ✓ 1. Комиссарова Л.А. Исследование технического состояния виброзащитных систем частотным методом. В сб.: "Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты", М., "Наука", 1974.
- ✓ 2. Комиссарова Л.А. О диагностике технического состояния виброзащитных систем. В сб.: "Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты", М., "Наука", 1974.
- ✓ 3. Комиссарова Л.А. Диагностика машин по амплитудно-частотным характеристикам. В сб.: "IX-ая международная конференция по динамике машин", Институт механики машин САН, Чехословакия, Смоленце, 1974.
- ✓ 4. Комиссарова Л.А. О диагностике машин по амплитудно-частотным характеристикам. В сб.: "Проблемы нелинейных колебаний механических систем", Киев, "Наукова думка", 1974.
- ✓ 5. Комиссарова Л.А. Диагностика машин на основе их амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик. В сб.: "Strojnísky časopis", Институт механики машин САН, Чехословакия, Братислава, *roč.* 27, *číslo* 3, 1976.
- ✓ 6. Арнольд Э.Э., Векилов Р.В., Глухарев К.К., Добрынин С.А., Модель Б.И., Нахапетян Е.Г., Розенберг Д.Е., Комиссарова Л.А. Некоторые примеры диагностирования динамических систем при автоматизированном эксперименте. В сб.: "Влияние вибраций на организм человека", М., "Наука", 1977.
- ✓ 7. Бутузов К.С., Гусаров А.В., Комиссарова Л.А., Маевский М.А. Специализированное устройство для отбраковки швейных машин. Заявка на изобретение № 2421648/12 (имеется решение о выдаче авторского свидетельства).
- ✓ 8. Комиссарова Л.А., Морозов А.И., Ермилов Н.Д. Способ определения дефектов швейных машин. Заявка на изобретение № 2429728/12 (имеется решение о выдаче авторского свидетельства).

Разделы работы доложены:

1. На II Всесоюзном симпозиуме по проблеме "Человек и вибрация" (г. Москва, Левково, февраль 1974 г.).
2. На конференции по проблемам нелинейных колебаний механических систем (г. Киев, октябрь 1974 г.).
3. На заседании конструкторской секции НТС Подольского механического завода им. М.И.Калинина (г. Подольск, февраль 1975 г.).
4. На совместном заседании кафедр "Теоретическая механика и ТММ" и "Машины и аппараты легкой промышленности" Московского технологического института легкой промышленности (г. Москва, декабрь 1976 г.).
5. На заседании конструкторской секции НТС Подольского механического завода им. М.И.Калинина (г. Подольск, январь 1977 г.).
6. На III Всесоюзном симпозиуме по проблеме "Человек и вибрация" (г. Москва, Левково, март 1977 г.).

Подписано к печати 28/1У-1977 г. Л-108213  
Объем 1,5 п. л. Тир. 150 экз. Зак. 350  
Офсетное производство 3-й типографии  
издательства "Наука"  
Москва, К-45, ул. Жданова, 12/1.