

М/120.25

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

Игорь Александрович ПАВЛОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕДРЕНИЯ
МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВАЦИИ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗНОСА МЕХАНИЗМОВ
НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**(08.00.05 — «Экономика, организация, управление
и планирование народного хозяйства»)
(машиностроение)**

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
доктор технических наук, профессор Постников В. И.

Официальные оппоненты:

1. Профессор, к. э. н. Летенко В. А., зав. кафедрой Экономики машиностроения, МИЭИ.
2. Ст. н. сотр., к. т. н. Дроздов Ю. Н., ИМАШ.

Ведущее предприятие — Московский автомобильный завод имени Лихачева.

Автореферат раз

Защита диссертации
на заседании Ученой
механизации произв
го училища имени
2-я Бауманская ул.

Ваши отзывы в 2х
ба высылать по ука

С диссертацией
лица.

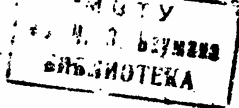
Ученый секретарь

М 188580

Повышение надёжности и долговечности по своему влиянию на экономическую эффективность машиностроительного производства эквивалентно повышению производительности труда, что, как подчеркивал В.И. Ленин "... является коренной задачей высшего чем капитализм общественного уклада". Для отработки техники на надёжность и долговечность в структуре машиностроительных заводов предусматриваются специализированные подразделения. Основным осуществляемым здесь процессом является испытания на надёжность. Повысить производительность труда, качественно и количественно улучшить получаемую об износе информацию, сократить затраты времени и средств при испытании машин можно применяя высокочувствительные методы, обеспечивающие измерения износа в линейных единицах без остановки и разборки механизма. Этим требованиям отвечает метод поверхностной активизации (МПА). Метод состоит в определении износа посредством измерения убывающей при износе относительной активности тонких поверхностных слоёв и в пересчете этой величины в линейные единицы. Впервые метод был применен для исследования износа деталей цилиндро-поршневой группы ДВС. При внедрении МПА для измерения износа деталей общего назначения возник ряд вопросов, для решения которых потребовалось углубленное исследование и совершенствования технологии измерений этим методом. Цель настоящей работы состояла в решении комплекса технических и организационных задач, обеспечивающих внедрение МПА на машиностроительных предприятиях для контроля износа деталей различных подвижных сопряжений. Это оказалось возможным на основе пооперационного исследования и совершенствования технологии измерений с помощью МПА, в процессе выполнения прикладных НИР.

Работа содержит введение, пять глав, выводы и приложения.

В первой главе рассматривается состояние вопроса и формулируются задачи исследования. Показано, что МПА создает широкие возможности для исследования износа, но и характеризуется наибольшей сложностью и трудоемкостью. Значит для внедрения МПА в практику машиностроительных предприятий необходима отработка метода с целью его упрощения без ухудшения характеристик. Пути решения этой задачи: 1) типизировать методику подготовки эксперимента, 2) совершенствовать методику восприятия и преобразования измерительной информации,



НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1188580

Павлов И. А. Исследование

М188580

3) программировать точностные характеристики, 4) совершенствовать организационные решения. Сформулированы 6 принципов, обеспечивающих реализацию положительных качеств МПА: 1) активация тонких поверхностных слоев, 2) оценка износа по уменьшению интенсивности излучения активного участка поверхности трения, 3) применение относительного критерия для обеспечения сопоставимости результатов, 4) обеспечение определенности, в пространстве и во времени, распределения гамма-излучателя в слое, 5) активация непосредственно рабочих поверхностей и прилегающих к ним торцев и сечений, 6) программирование чувствительности метода. С учетом принципов МПА дан анализ известных способов активации деталей. Показано, что принципы МПА соблюдаются лишь на основе активного использования физических зависимостей описывающих явления при активации конструкционных материалов ускоренными частицами. Поэтому выполнена методическая разработка комплекса физико-технической информации ориентированная на специалистов машино-строительных специальностей. Поверхностный активированный слой представляет собой многокомпонентную изотопную смесь, при анализе которой необходимо различать три основные группы гамма-излучателей: 1) индикатор - гамма-излучатель наиболее удобный для регистрации, 2) "устраняемые" - гамма-излучатели, влияние которых может быть устранено с помощью технических или технологических приемов, 3) "конкуренты" - гамма-излучатели присутствие которых при измерении активности индикатора не может быть исключено и должно учитываться при оценке точности результатов. Соблюдение принципов МПА возможно лишь тогда, когда отсутствуют "конкуренты" или их влияние не приводит к ошибкам выше допустимых. Сформулированы требования предъявляемые к индикатору и указаны способы исключения влияния устраняемых компонент смеси.

В результате анализа известных методов детектирования гамма-излучения установлено, что при исследовании износа с помощью МПА применимы способы использующие явление ионизации и спонтаннолюминесцентный способ. Определены области применения этих способов детектирования. Показано, что возможность измерения износа зависит от кинематики механизма, геометрии исследуемой детали и сопряжена со значительными затратами времени на подготовку облучения и обработку информации. Изложенное позво-

дает сформулировать частные задачи настоящей работы:

1. Исследовать возможность упрощения технологии применения метода на основе типизации составляющих метод операций при расширении области его применения;
2. исследовать вопросы аппаратного обеспечения измерений с целью автоматизировать процедуру получения информации;
3. исследовать чувствительность метода, оценить его предельные возможности;
4. исследовать особенности непрерывного контроля износа в условиях движения детали и применительно к поверхностям трения сложной конфигурации;
5. классифицировать организационно-технологические разновидности частных методик контроля износа с применением МПА в целях рационального выбора методики измерений и обосновать важнейшие решения при внедрении МПА;
6. посредством проведения прикладных исследований определить области применения метода;
7. внедрить результаты исследований на машиностроительном предприятии.

Глава вторая посвящена исследованию и отработке технологии измерений с помощью МПА. Рассматриваются вопросы активации и аппаратного обеспечения. Исследовались преимущественно конструкционные материалы применяемые в прокатных станах. Установлено, что конструкционные материалы можно подразделить на две группы. При измерении износа деталей из материалов первой группы возможно применение типовой методики активации и измерения без предварительных исследований на образцах. Применение МПА к материалам 2-й группы требует индивидуального анализа изотопной смеси и тарифовочных работ с целью выявления состава и распределения "изотопов-конкурентов". Установлено, что из числа рассмотренных в работе материалов, большинство можно отнести к 1-й группе, например, стали 35ХМ, 20ХНЗА, 38ХА, 12ХНЗА, 45Х, 45 и лишь сталь 3Х12М может быть отнесена ко 2-й группе. Обобщая полученные результаты можно сделать вывод, что к первой группе относятся сплавы железа, в которых количество легирующих элементов и примесей не превышает 3 + 4%. Анализ изотопного состава сплавов на основе меди показал целесообразность аналогичной группировки материалов. При исследовании медных сплавов 1-й группы установлено, что Sb^{124} играет роль конкурента. Исследования показали, что Sb^{124} распределена по толщине слоя аналогично индикатора Zn^{65} и

вклад излучения 50^{124} при измерениях по пикку 0,87 Мэв не превышает $3 + 4\%$. Этим обосновывается стабильность во времени тарировочной кривой, возможность применения простой не дорого стоящей аппаратуры, возможность корректного учета естественного распада, что упрощает решение таких организационных вопросов как сокращение сроков внедрения, подготовки кадров заводских лабораторий, уменьшения трудоемкости измерений и др. Для типовых режимов активации определены тарировочные функции, дано их математическое описание. Разработан и применен ряд приспособлений для активации поверхностей трения сложной конфигурации, что обобщено в классификации приспособлений, в основе которой лежат три признака: 1) вид среды; 2) способ контроля дозы; 3) способ охлаждения. Несмотря на возможность типизации оснастки и режима активации необходимость использовать стационарные ускорители для активации деталей остается существенным недостатком МИА. Поэтому, в целях сокращения объема работ по организации измерений, были выполнены исследования направленные на поиск и создание безциклотронных методов активации. В результате разработан новый метод измерения износа основанный на активации торцов и сечений, прилегающих к поверхности трения, с помощью марок специальной формы. Метод позволяет программировать чувствительность и применением к органическим материалам. Разработана технология пропитки, профилирования и крепления марок. На этапах подготовки и активации деталей принципиально изменена организационная структура работ, которые минимизированы по времени и стоимости. Метод защищен авторским свидетельством и нашел практическое применение в ряде НИР.

Вторая часть этой главы посвящена вопросам аппаратурного обеспечения. В результате анализа возможных вариантов блок-схем комплекса измерительной аппаратуры установлено, что возможно создание специализированных приборов для исследования износа методом поверхностной активации. Такие устройства являются приборами нового типа и могут быть названы радиоизотопными износомерами. Они обеспечивают наиболее рациональные формы организации рабочих мест вплоть до полной автоматизации контрольных постов осуществляющих измерения с помощью МИА. Исследования были направлены на создание именно такого прибора.

Рассмотрены варианты блок-схем и их элементы. Основное внимание было уделено выбору датчиков излучения и конструкции регистрирующего устройства. В результате сравнительных испытаний вариантов датчиков в цеховых условиях и на основании статистического анализа результатов выявлена наиболее целесообразная конструкция датчика. В качестве регистратора предложено и обосновано использовать динамическое регистрирующее устройство с переналаживаемым дешифратором. Принцип действия устройства основан на однокоординатном способе нанесения информации на носитель записи посредством изменения окрестности протяжки (или частоты нанесения меток) в функции регистрируемого параметра. Для считывания информации используется эластичный дешифратор. Устройство позволяет выполнить в процессе измерений операции вычитания фона, нахождения отношения, введение поправки на распад и пересчет относительных единиц в линейный износ, что предельно упрощает процедуру обработки информации. Собран и испытан макет радиоизотопного износомера с динамическим регистрирующим устройством. Испытания проводились на Московском станко-строительном заводе им.Орджоникидзе. Коэффициент вариации показаний составлял величины не хуже 1,9%. Испытания подтвердили правильность принципов заложенных в макете и его работоспособность. Отличительное устройство макета защищено авторским свидетельством.

Третья глава посвящена исследованию точности МПА, т.к. повышение точностных показателей и гарантии их обеспечения по-новому решают ряд организационных вопросов и приводит к сокращению затрат времени и средств на испытания. Установлены точностные показатели метода: 1) чувствительность, 2) разрешающая способность, 3) диапазон погрешностей измерений в частных реализациях метода. Предложено использовать показатели чувствительности размерный $S_1 = \frac{d N_{отн}}{d x} \cdot 100$ (%/мкм) и безразмерный $S_2 = \frac{d N_{отн}}{d x} \cdot \frac{L}{100}$, где $N_{отн}$ - относительная скорость счета (%), x - износ (мкм), L - толщина поверхностного слоя (мкм). Величина S_1 , удобна для точностных расчетов, величины S_2 для сравнения методов. Разрешающая способность характеризуется наименьшей величиной износа, при измерении которой два смежных замера регистрируются раздельно с заданной вероятностью. Этот показатель устанавливает связь между

чувствительностью и ошибкой и может быть определен по формуле

$$P = \frac{K \sigma}{S_i},$$

где: P - разрешающая способность (мкм), σ - результирующая погрешность относительной скорости счета (%), S_i - чувствительность (%/мкм), $K = (1 + 3)$. Диапазон значений погрешностей в совокупности частных реализаций МПА находится в пределах $\pm 2 + 20\%$ и является характеристикой достигнутого уровня освоения метода. Дана классификация факторов вызывающих погрешности и оценен их вклад в результирующую погрешность. Основное внимание уделено исследованию влияния тех факторов, которые не получили достаточного освещения в известных работах и имеют важное значение для обеспечения высоких точностных показателей МПА при измерении подвижных деталей сложной конфигурации. Установлено, что наибольшее влияние на точность измерений оказывают геометрические факторы, фактор времени, аппаратурные факторы. Получен ряд зависимостей и даны рекомендации позволяющие оценить и устранить ошибки вследствие влияния геометрических факторов. Например, для учета и оптимизации дистанционной погрешности предложена зависимость

$$\Delta N_{\text{дист}} = \frac{N_{\text{ном}} \cdot \Delta \ell \cdot K_1}{\ell (K_1^2 + 1) (K_1^2 + 1 - K_1)};$$

где $\Delta N_{\text{дист}}$ - погрешность относительной скорости счёта(%), ℓ - дистанция (мм), $\Delta \ell$ - погрешность дистанции (мм), $K_1 = \frac{\ell}{r}$, r - радиус окна чувствительного элемента датчика. Геометрические условия измерения подвижного объекта предложено описывать с помощью коэффициента

$$K_3 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1 + K_2(1 - \cos \alpha)}{1 + 2K_2(1 - \cos \alpha) + 2K_2^2(1 - \cos \alpha)}^{1/2} d\alpha;$$

где α - фаза положения детали, $K_2 = \frac{\ell_{\min}}{R}$; R - радиус вращения (мм), $\ell_{\min}$ - наименьшая дистанция от датчика до траектории движения активного участка (мм).

Методом численного интегрирования получена таблица значений "К", что позволяет рассчитать снижение скорости счета при вращении и обоснованно нормировать минимальную активность при исследовании подвижных деталей. Установлено теоретически и экспериментально, что при измерении износа деталей в процессе их движения возникает фазовая погрешность, которая может быть оценена по формуле: $\Delta N_{\text{фаз}} = \pm \frac{N_{\text{max}}}{n} \cdot K_3;$

где N_{max} - скорость счёта при минимальной дистанции (мм/сек)
 n - количество полных циклов за время замера.

Важнейшие расчеты связанные с геометрией измерения номограммированы. Для учёта влияния экранирующих стенок предложен эмпирический способ оценки геометрических условий. Как следствие из анализа геометрических условий измерений, предложен метод для оценки износа с применением поверхностной активации в условиях консистентных смазок. Метод основан на допущении, что продукты износа распределенные по поверхности трения можно рассматривать как сосредоточенный подвижный источник, а активную метку измерять в статике. Показано, что на точность измерения износа влияет конфигурация поверхности трения и установлено, что погрешность измерений износа сложных поверхностей обратно пропорциональна отношению R'/χ' , где R' - радиус кривизны поверхности, χ' радиус радиоактивной метки. При отношении $R'/\chi' > 10$ криволинейные поверхности при погрешности не хуже $\pm 1\%$ могут быть аппроксимированы плоскостью. Установлены условия аппроксимации участков сложных поверхностей трения цилиндрами и сферами в целях обоснованного определения величины R' и разработана методика учёта погрешности для случаев $R'/\chi' < 10$. Предложен способ и приспособление для экспериментального определения поправки на профиль. Значительное внимание уделено исследованию влияния фактора времени на точность контроля. Показано, что при измерении в дифференциальном режиме стальных деталей активированных дейтонами естественный распад можно учесть с точностью не хуже $\pm 1,6\%$, при интегральном режиме измерения и износе около 100 мкм эта погрешность возрастает до $\pm 20 + 23\%$. Рассмотрены другие погрешности. Результирующая погрешность величины линейного износа ΔX определяется на основе зависимостей

$$\Delta X = \frac{\Delta N_{прив}}{S},$$

где $\Delta N_{прив}$ - приведенная погрешность относительной скорости счёта,

$$(\Delta N_{прив})^2 = (\Delta N_u)^2 + (\Delta N_T)^2;$$

где ΔN_u - приведенная погрешность единичного измерения;

ΔN_T - приведенная погрешность тарифовочной функции.

$$\Delta N_u^2 = \Delta N_r^2 + \Delta N_\epsilon^2 + \Delta N_A^2 + \Delta N_x^2 + \Delta N_{np}^2 + \Delta N_{paz}^2 + \Delta N_p^2 + \Delta N_{p^2}^2;$$

где $\Delta N_f; \Delta N_E; \Delta N_A; \Delta N_\alpha; \Delta N_{np}; \Delta N_{фаз}; \Delta N_{\varphi}; \Delta N_{\rho}$ соответственно составляющие погрешности, обусловленные геометрией измерения, энергией частиц, аппаратурой, углом наклона, профилем поверхности трения, фазовая и скоростная погрешность, погрешность учёта фона и распада,

$$\Delta N_f^2 = \Delta N_E^2 + \Delta N_A^2 + \Delta N_\alpha^2 + \Delta N_{\varphi}^2;$$

где ΔN_f - приведенная погрешность обусловленная неточностью линейных измерений образца.

Предложено графоаналитическое описание чувствительности метода с помощью трехмерной поверхности. На рис. 1 представлена графическая интерпретация решения задачи проектного расчета параметров активации на трехмерной поверхности чувствительности. Определив необходимую чувствительность как $S_i = \frac{\Delta N_{проб}}{\Delta x}$ где Δx - допустимая погрешность определенная линейной величиной износа, проведем изосенту соответствующую S_i и пересекая последнюю фронтальной плоскостью, соответствующей границе диапазона измерений L , определяем границы допустимых значений параметра α как абсциссы точек m и n . Для практических целей поверхность чувствительности удобно представить топографически, с помощью этого приема получены номограммы для расчёта параметров активации обеспечивающих измерения в заданном диапазоне с точностью не хуже заданной. Разработаны зависимости для обеспечения равноточных измерений в условиях непрерывного снижения динамической чувствительности.

Точность определения износа методом поверхностной активации проверялась экспериментально посредством выполнения контрольных измерений с помощью прецизионного приспособления, при этом расхождение результатов не превысило 5%.

Глава четвертая посвящена экспериментальному исследованию процессов изнашивания, с целью выявления технически обоснованных областей применения МПА и решению наиболее сложных вопросов связанных с организацией внедрения метода. Первая часть главы содержит описания применявшихся экспериментальных установок.

Рассмотрены оснащенные и примененные при участии автора для исследования износа с помощью МПА следующие экспериментальные установки: 1) установка для исследования червячных пе-

редач малогабаритных приводов, 2/ стенд для испытания шпиндельных узлов, примененный на заводе координатно-расточных станков, 3/ стенд для исследования износа червячных передач приводов прокатных станков, примененный на Электростальском заводе тяжелого машиностроения, 4/ стенд для испытания зубчатых колес, созданный в МАТИ и некоторые другие. В работе приводятся результаты прикладных исследований износа с помощью МПА и обсуждаются возможности применения МПА в соответствующих областях. МПА был впервые применен для оценки износостойкости конструкционных материалов с учётом приработки. В результате применения МПА продолжительность испытаний была сокращена на 60%. Было установлено, что применительно к исследуемому червячному приводу применение медно-никелевого сплава ВБр-3 вместо бронзы Бр Б-2 обеспечивает снижение скорости изнашивания на установившемся режиме до 0,12 мкм/час вместо 0,6-0,75 мкм/час. Ускоренная оценка износостойкости нового материала способствовала ускорению внедрения нового материала и повышению надежности агрегата.

На Электростальском заводе тяжелого машиностроения в процессе внедрения, МПА был применен для исследования износа глобоидных червячных валов. Измерения осуществлялись в процессе работы без остановки и разборки узла трения. Испытания показали на возможность увеличения ресурса детали на 200±300 часов за счёт совершенствования технологии изготовления и монтажа червячного вала в исследуемом устройстве. При исследовании процесса приработки в условиях ступенчатого изменения нагрузки отмечена нагрузочная приработка, которая заметно проявилась в цилиндрической зубчатой передаче в условиях абразивного изнашивания. Диапазон нагрузок до максимума нагрузочной приработки характеризуется малым нарастанием скорости изнашивания на стационарном режиме. Показано, что эта закономерность при ее достаточном статистическом подтверждении, может быть использована при выборе режимов загрузки, обеспечивающих выполнение механизмов максимального объема работы. Метод применен для контроля износа трубопрокатных валков. По результатам этих измерений предложена методика определения периодичности смены трубопрокатного инструмента, на основе которой возможно создание чувствительных автоматических сигнально-контрольных устройств

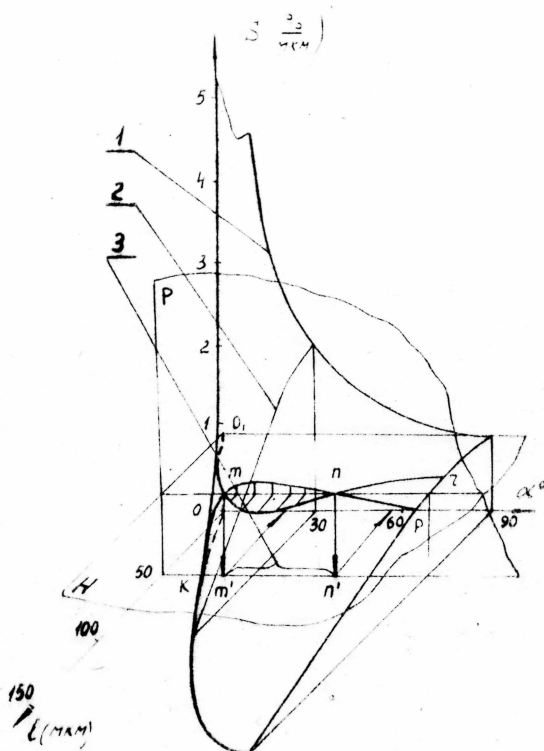


Рис. 1

Решение задачи проектного расчёта параметров активации.

1. Статическая чувствительность
2. Динамическая чувствительность
3. Диапазон допустимых значений параметра α .

для прокатного оборудования непрерывного действия. На Московском заводе координатно-расточных станков МПА использован при отработке методики ускоренных испытаний прецизионной шпиндельной группы резьбо-шлифовального станка, которая обеспечила увеличение наработки на отказ по точности в 2,5 + 3 раза. В результате выполнения прикладных НИР обосновано примененное МПА в следующих целевых направлениях: 1) исследования динамики процессов изнашивания без нарушения их естественного течения процедурами остановок, сборок и разборок, 2) исследование износа поверхностей трения сложной конфигурации, 3) исследование переходных процессов типа приработки, режимов пуск-останов и т.п., 4) исследование износостойкости конструкционных материалов с учетом приработки, 5) при отработке способа и нормы форсирования в процессе организации ускоренных технологических и контрольных испытаний, 6) при исследовании быстротекущих процессов интенсивного изнашивания.

Г л а в а п я т а я посвящена организации внедрения МПА на машиностроительном предприятии. На основе анализа процедуры внедрения МПА на ряде машиностроительных предприятий определена рациональная структура работ по внедрению МПА и дан их анализ. Важным вопросом, от решения которого зависят затраты времени и средств на внедрение, является вопрос о выборе методики измерений. Совокупность частных методик на основе типовых операций описана с помощью приведенной в работе схемы, которая является обобщением методической части настоящей работы. Схема позволяет используя ключ "или-или" и принимая последовательный ряд решений выбрать необходимую частную методику измерений с помощью МПА. Рассмотрены и экономически обоснованы узловые решения выбора частной методики: а) выбор способа активации, б) выбор типа оснастки для активации, в) выбор способа повышения чувствительности, г) выбор аппаратуры и режима её использования, д) выбор организационной формы контроля. В результате анализа возможных вариантов решений этих вопросов установлено следующее: применение метода марок обеспечивает принципиальное улучшение организационной структуры работ на этапах внедрения и применения метода и снижение затрат на активацию в 100+300 раз; при необходимости использовать циклотронные способы активации наибольший положительный экономический эффект достигается при применении метода марок.

ческий эффект обеспечивается при активации протонами энергии $7 + 11,5$ Мэв. Установлено, что для активации мелких серий /3 + 5 шт/ и единичных деталей следует использовать оснастку I-й группы, при организации контроля выборок деталей до $20 + 30$ штук — оснастку 2 группы и в условиях проведения регулярных исследований при широкой номенклатуре деталей рентабельна оснастка III группы. В результате анализа способов повышения чувствительности установлено, что при повышении чувствительности за счёт уменьшения энергии частиц в фольгах практически теряется до 70% циклотронного времени по сравнению со способом на основе изменения наклона пучка частиц к исследуемой поверхности. На основе зависимости между стоимостью аппаратуры и точностью определения износа, определены области применения рассмотренных вариантов аппаратурных средств. В результате анализа организационных форм применения МПА установлено, что в условиях систематического проведения исследований с помощью МПА и при широкой номенклатуре исследуемых механизмов наиболее перспективна организация измерений по типу централизованной цеховой системы, применительно к которой разработаны зависимости для определения экономически обоснованных норм обслуживания. Установлено, что за счёт совершенствования процедуры внедрения и важнейших операций составляющих метод, трудоемкость МПА может быть сокращена на стадиях: внедрения — в 7,7, функционирования — в 1,84, освоения нового объекта — в 8,4 раза.

Важнейшие результаты настоящего исследования были использованы при внедрении МПА на группе станкостроительных заводов осуществленном в соответствии с приказом Министра СС и МП СССР за №480, на Электросталеском заводе тяжелого машиностроения и на других машиностроительных предприятиях. Суммарный годовой экономический эффект оценивается в 138,4 тыс. руб., что подтверждено двусторонними актами.

В ы н о д ы

1. В результате проведенного анализа известных методов определения износа обоснована необходимость развития и определены пути совершенствования метода поверхностной активации в целях его широкого применения на машиностроительных предприятиях.
2. В результате экспериментов на образцах из ранее не исследовавшихся конструкционных материалов изучен состав и

распределение радиоактивных индикаторов по глубине тонких поверхностных слоёв, на основании чего:

а) обоснована возможность типизации методики активации деталей и измерения износа;

б) определена область применения типовой методики и разработаны её основные положения.

3. Разработана классификация приспособлений для активации деталей на ускорителях и предложены эмпирические зависимости для экономического обоснования выбора типа приспособления и способа активации. Определены экономически обоснованные области применения основных групп специальной оснастки.

4. Разработан и применен метод радиоактивных марок — новый метод определения износа, который позволяет по-новому решать ряд организационных вопросов, не требует применения ускорителей, позволяет программировать чувствительность метода, обеспечивает многократное снижение затрат на активацию и применим к объектам контроля из органических материалов. Метод защищен авторским свидетельством.

5. На основании теоретического анализа и результатов сравнительных испытаний выбраны типовые схемы и режимы использования аппаратурных средств, обеспечивающих наиболее рациональную организацию рабочих мест, где применяется МПА.

6. Установлено, что для автоматизации исследований в области износа и надёжности машин могут быть созданы приборы нового типа — радиоизотопные износосеры. Разработан, собран и испытан макет радиоизотопного износосера с динамическим регистратором, который в режиме автоматической записи обеспечивает измерения с коэффициентом вариации 1,9%. Отличительный элемент устройства защищен авторским свидетельством.

7. В результате исследований точностных показателей МПА:

а) выявлены и классифицированы факторы определяющие точность измерения износа;

б) разработаны зависимости для расчёта точностных показателей МПА;

в) разработаны и экспериментально проверены зависимости и рекомендации позволяющие учесть или исключить влияние геометрических факторов на точность измерения износа как неподвижных, так и движущихся объектов контроля;

г) исследовано влияние на точность контроля фактора времени, условий активации и др. и разработаны рекомендации по минимизации их влияния на результирующую погрешность измерения износа;

д) предложена методика экономического обоснования способа повышения чувствительности.

8. Как следствие из анализа геометрических погрешностей предложен подход к решению задачи применения МПА в условиях консистентных смазок и получены зависимости для применения МПА в этих условиях к цилиндрическим поверхностям трения.

9. Предложен способ математического описания чувствительности МПА в виде трехмерной поверхности, используя которую разработана методика и номограммы для проектного расчета параметров активации, обеспечивающих измерения износа в заданном диапазоне с точностью не хуже заданной.

10. Установлены основные области применения МПА на машиностроительных предприятиях, в каждой из которых техническая возможность и целесообразность применения МПА подтверждены экспериментально в процессе выполнения прикладных НИР.

11. В результате выполненного комплекса исследований упростилась структура работ по применению МПА как на стадии внедрения, так и на стадиях функционирования и освоения нового объекта контроля, а объем работ на этих стадиях сокращен соответственно в 7,7; 1,84 и 8,4 раза.

12. Результаты исследований и разработок внедрены на группах машиностроительных предприятий. Экономический эффект от внедрения оценивается в 133,4 тыс.руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Павлов И.А. Радиондикаторные методы определения величины износа сложных поверхностей трения. Тезисы Всесоюзной конференции, Атомиздат, М., 1968.

2. Котова Г.А., Павлов И.А., Константинов И.О. Применение дифференциального метода радиоактивных индикаторов для исследования износостойкости подшипников скольжения прецизионных станков. Тезисы Всесоюзной конференции, Атомиздат, М., 1968.

3. Суранов Г.И., Павлов И.А. Особенности методики измерения износа с применением поверхностной активации. Труды,

ЦНИИМЭ, № 91, Химки-Моск.обл., 1968.

4. Павлов И.А., Поляковский Л.К., Котова Г.А. Исследование износа деталей в процессе технической подготовки производства новых машин. Труды МВТУ, № 127, М., 1968.

5. Постников В.И., Поляковский Л.К., Павлов И.А. Радиоизотопные методы изучения износа деталей машин. Доклады на XI сессии НТС ИГД им.Скочинского, М., 1968.

6. Постников В.И., Мырин Ю.Н., Павлов И.А., Поляковский Л.К. Опыт применения дифференциального метода радиоактивных индикаторов для исследования и контроля износа деталей машин и механизмов. Материалы научно-технического семинара. Ростов-на-Дону, 1968, НИИТМ.

7. Перминов А.Е., Павлов И.А. Стенд для испытания зубчатых колёс. ГОСИНТИ. Информационный листок № 367 (5729), 1969.

8. Павлов И.А. Измерения износа с применением метода поверхностной активации. Сб. НИИМАШ, серия С-Х-4. Теоретические основы и опыт внедрения метода поверхностной активации для исследования износа деталей машин. М., 1969.

9. Дальский А.М., Котова Г.А., Павлов И.А., Шилова Е.А. Ускоренные испытания шпиндельных узлов прецизионных станков на Московском заводе координатно-расточных станков. Там же.

10. Моисеев В.Я., Павлов И.А. Улучшение условий труда при радиозотопном контроле износа деталей машин. Материалы первой научно-практической конференции по радиационной безопасности. М., 1969.

11. Павлов И.А., Суранов Г.И. Выбор метода определения износа деталей машин. Труды ЦНИИМЭ № 104. Химки-Моск.обл., 1970.

12. Павлов И.А. Непрерывные измерения интенсивных износов. Труды МВТУ № 137, М., 1970.

13. Павлов И.А., Казаков В.С. Принципы построения блок-схем радиоизотопных износомеров. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по исследованию износа. Изд. МВТУ, М., 1971.

14. Павлов И.А., Гарбар И.Н. Организация радиоизотопного контроля износа в экспериментальном цехе машиностроительного завода. Тезисы докладов. Всесоюзное научно-техническое совещание "Промышленное внедрение метода радиоактивных индикаторов". М., 1971.

15. Курников В.А., Павлов И.А. О возможности применения дифференциального метода радиоактивных индикаторов для контроля износа деталей кузнечно-прессового оборудования, В тех же тезисах.

16. Авторское свидетельство № 323711 с приоритетом от 14.2.69. Способ определения износа деталей машин и механизмов с использованием радиоактивных индикаторов.

17. Авторское свидетельство № 312252 с приоритетом от 14.7.69. Дешифратор для обработки носителей записи.

18. Постников В.И., Павлов И.А. Метод радиоактивных марок. Сборник трудов МВТУ № 11. М., 1971.

По основным положениям теоретических и экспериментальных исследований были сделаны доклады.

1. Дифференциальный метод радиоактивных индикаторов в исследованиях износа и его аппаратурные обеспечения. На семинаре "Применение радиоизотопных методов и приборов для контроля и автоматизации технологических процессов в автомобилестроении". Львов, 1966.

2. Аппаратурное обеспечение и некоторые вопросы автоматического контроля за износом. На семинаре "Исследования и контроль износа инструмента, деталей машин и механизмов с помощью радиоактивных изотопов", М., 1966.

3. Исследование точности и рекомендуемые области применения метода поверхностной активации. На семинаре "Метод изотопных индикаторов в науке и технике". М., 1968.

4. Особенности и выбор методики измерения износа с применением поверхностной активации. Научно-техническая конференция. ЦНИИ МЭ, Химки-Моск. обл., 1968.

5. Высокоточные радиоизотопные методы измерения износа деталей машин. На заседании Научного совета по трению и смазкам АН СССР, 1972.

и др.