

1566800

На правах рукописи

УДК 621.002.5

ПЕРЕСАДЬКО АНДРЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

**СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Специальность: 05.27.07 – Оборудование производства электронной техники

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва, 2000

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им Н.Э. Баумана.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Деулин Е.А.

Официальные оппоненты – д.т.н., профессор Александрова А.Т.
к.т.н. Папко В.М.

Ведущее предприятие – РНЦ «Курчатовский институт»

Защита состоится « » 2000 г. на заседании диссертационного Совета К 153.51.01 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Телефон для справок: (095) 267-0963

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направить по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан « 23 » 2000 г.

Рябов В.Т.

1566800

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1566800
Пересадыко А.Г. Система ди

Заказ № 78г

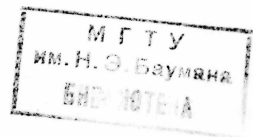
Типография МГТУ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Развитие науки и техники предъявляет все более высокие требования к технологическому обеспечению, как экспериментальных исследований, так и производства. Все более укорачивается цикл внедрения в производство последних достижений техники и технологии, что требует быстрого создания надежного и производительного технологического оборудования. Производство современных изделий электронной техники включает в себя десятки технологических операций производимых в вакуумных технологических установках и длится от нескольких суток (ФЭП) до недель и месяцев (выращивание кристаллов). Это предъявляет высочайшие требования к надежности вакуумного оборудования и его узлов.

Надежность функционирования вакуумных механизмов, работающих в космических аппаратах, также, имеет большое значение, от их надежности зависит выполнение дорогостоящих космических исследований и работа управляемых космических аппаратов и спутников. Механизмы, работающие в условиях космического пространства подвергаются сильным разрушающим воздействиям: колебания температуры от $+70^{\circ}\text{C}$ до -100°C ; давление повышенное (внутри) до 8 кгс/м^2 , пониженное (снаружи) до $10^{-13} \text{ мм.рт.ст.}$; ускорение вибрации до 150 м/с^2 в диапазоне частот $0-2500 \text{ Гц}$; ударные нагрузки до 400 м/с^2 ; линейные ускорения до 150 м/с^2 ; акустический шум до 150 дБ ; разовая пластическая смазка; практически полное отсутствие возможности ремонта в процессе эксплуатации; отсутствие условий для конвекционного обмена.

Особые требования по надежности предъявляются к вакуумным механизмам используемым в ядерных установках термоядерного синтеза (Токамак, ИТЭР). Так, например, в вакуумной камере установки ИТЭР откачанной до 10^{-7} Па будет находиться около 3х килограммов трития, и отказ вакуумного механизма может привести к его выбросу. Вакуумные



030899951

механизмы будут находиться в активной зоне установки ИТЭР и каждая замена механизма требует вхождения обслуживающего персонала в активную зону.

В области повышения надежности вакуумных механизмов за последние 10-15 лет не произошло существенных изменений. Основным способом предотвращения отказов механизмов является система планово-предупредительных ремонтов (ППР). Требования к надежности вакуумных установок неуклонно растут, а надежность ее компонентов остается на прежнем уровне. Это обстоятельство привело к необходимости поиска новых методов повышения надежности функционирования вакуумных установок и появлению диагностических систем контролирующих работу вакуумных установок и их узлов. Такой системой является разработанная на кафедре МТ-11 МГТУ им. Баумана система диагностики механических элементов вакуумных механизмов.

Основными элементами вакуумных вводов движения являются шарикоподшипники, зубчатые зацепления и герметизирующие элементы: сильфоны, гибкие оболочки. Наблюдения за работой технологических установок показывают, что до 50% отказов вакуумных механизмов приходится на подшипники. В настоящее время работоспособность узлов вакуумного оборудования в процессе контролируется лишь оператором, а автоматические установки практически не имеют средств контроля состояния механических узлов.

Повышение надежности функционирования вакуумных установок с механическими узлами возможно путем диагностирования и прогнозирования отказов. Для этого требуется изучение изменения параметров вакуумных механизмов при работе, выбор диагностических признаков, разработка алгоритма диагностирования и прогнозирования состояния вакуумных механизмов.

Цель работы. Разработка общих принципов диагностирования

вакуумных механизмов и создание экспериментального макета системы ранней диагностики.

Методы исследований. Теоретические исследования проводились на основе использования теории надежности, теории производительности, теории вероятности, теории систем автоматического управления. Экспериментальные исследования проводились на специально изготовленном стенде в лаборатории кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э.Баумана, проведение и обработка результатов экспериментов выполнялись на ЭВМ с применением теории вероятности, математической статистики, численного спектрального оценивания.

Научная новизна.

1. Впервые показано и определено влияние амплитудно-частотной характеристики вакуумной системы на чувствительность метода вакуумной диагностики, определены частоты среза и значения коэффициентов ослабления сигнала для различных частот работы механизма.

2. Впервые сделано сопоставление вибрационных вакуумных и силовых параметров, используемых для оценки состояния механизмов (шарикоподшипников) работающих в вакууме, определена корреляционная связь этих параметров, показано, что вакуумные и вибрационные параметры имеют различную область наиболее эффективного применения.

3. Создана методика оценки производительности вакуумного оборудования, использующего систему ранней диагностики и определена эффективность системы ранней диагностики.

Практическая ценность. Разработана методика создания систем диагностики механических элементов вакуумного оборудования. Создана действующая экспериментальная модель системы диагностики.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»

МИ ИУ им. Н.Э.Баумана, на 4-й и 6-й Международных научно-технических конференциях «Вакуумная наука и техника» (Гурзуф 1997, 1999). 10-й Международной конференции по тонким пленкам/ 5 Европейской вакуумной конференции (Саламанка, Испания, 1996).

Публикации. Основное содержание работы отражено в 12 статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов по работе, библиографического списка использованной литературы и 8 приложений. Содержит 213 страниц машинописного текста, 55 рисунков, 11 таблиц и библиографический список из 90 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена цель и сформулированы основные научные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе проведен анализ вакуумного технологического оборудования насыщенного механическими узлами. Сделан обзор вводов движения в вакуум, оценено количество пар трения в каждом типе вводов. Произведен расчет производительности технологической установки, ремонт которой производится по показаниям системы диагностики. Сделан обзор существующих методов диагностики «атмосферных» узлов и механизмов.

Проблемам повышения надежности вакуумного привода и его влияния на производительность оборудования посвящены работы Г.А.Шаумяна, Ю.А.Хруничева, Л.И.Волчкевича, Е.А.Деулина, А.С.Проникова, А.Г.Блинова, Б.С.Данилина, В.А.Пупко, С.А.Ашинова и др.

Техническая и фактическая производительность оборудования зависит от показателей надежности привода: среднего времени наработки j -го узла на отказ T_j , параметра потока отказов λ_j и др. Анализ функции вероятности отказа механизма $F(T)$ показывает, что после обработки механизмом γ -процентного ресурса, при использовании системы планово-

предупредительного ремонта (ППР), они подлежат принудительной замене. Система ППР имеет 3 существенных недостатка: 1-система не исключает полностью аварийных отказов, т.к. за период T , существует (и реализуется) вероятность отказа $F_d(T)$; 2- принудительно заменяются наиболее надёжные узлы, которые с средним могли бы отработать средний ресурс $\bar{T}$, который иногда на порядок больше T , при этом время аварийного отказа Θ_a на один два порядка превышает время планового ремонта $\Theta_{пл}$; 3- система планирует большие затраты на изготовление новых узлов и их замену.

Резервом повышения производительности оборудования, который реализуется с помощью системы ранней диагностики, является увеличение среднего времени функционирования вакуумных механизмов и ликвидация их аварийных отказов, ведущая к сокращению времени аварийных ремонтов до величины $\Theta_{пл}$.

Анализ существующих методов и систем диагностирования механического оборудования показал, что существующие методы либо не применимы для диагностирования вакуумных приводов, либо требуют доработки, учитывающей особенности функционирования механизмов в вакууме.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать методику диагностирования вакуумного привода по параметрам: остаточное давление, парциальное давление, момент сопротивления вращению входного вала, вибрация.
- разработать методику корректировки результатов и оценки границ применимости вакуумного метода диагностики.
- провести исследование изменения параметров вакуумных механизмов: потока газовой выделенности Q , момента сопротивления вращению входного вала M_c и вибрации механизма в зависимости от наработки привода.

- разработать алгоритм функционирования системы диагностики.
- разработать экспериментальную модель системы диагностики.

Вторая глава посвящена теоретической разработке методики диагностики вакуумных механизмов по параметрам поток газовыделения, амплитуда виброускорения, парциальный состав выделяющихся из пар трения газов, а также адаптации методов частотного анализа для диагностики вакуумных механизмов, определению границ применимости частотного анализа для анализа колебаний давления в вакуумной системе.

Использование колебания давления как диагностического признака не позволяет сравнивать работу узлов и механизмов в различных вакуумных системах из-за различия в средствах откачки, различиях рабочих объемов и как следствие различия для одних и тех же механизмов в предельном P и рабочем давлении P_p в вакуумной системе. Более объективным критерием оценки состояния механизмов является поток газовыделения из этого механизма являющийся постоянным параметром при заданных режимах нагружения и работы. Поэтому система диагностики должна производить пересчет давления в суммарный поток:

$$Q_z(t) = Sp(t) + \frac{dp(t)}{dt} V \quad (1)$$

где: S – быстрота откачки вакуумной системы; $p(t)$ – давление в вакуумной системе; V – объём вакуумной системы.

Для определения потока газовыделения из диагностируемого механизма $Q_{max}(t)$ из суммарного вычитается значение фоновое потока Q_ϕ :

$$Q_{в.дв}(t) = Q_z(t) - Q_\phi \quad (2)$$

Используя значение текущего сигнала давления $P(t)$ система диагностики определяет текущее значение потока газовыделения $Q_m(t)$ а также его статистические параметры: Q_{cp} – среднее значение потока газовыделения, Q_{max} – максимальное значение потока газовыделения, по

которым и оценивается состояние ввода движения

Чтобы оценить влияние частоты срабатывания диагностируемого механизма на чувствительность метода вакуумной диагностики рассмотрим диаграмму периодически изменяющегося потока (прямоугольные импульсы, рис.1а) и сопоставим ее с соответствующим изменением давления, то изменение давления вследствие откачки и влияния объема камеры определяются экспонентой:

$$p = (p_0 - p') \exp\left(-\frac{V}{S} t\right) \quad (3)$$

где: p_0 – начальное давление, Па; p' – предельное давление системы, Па.

Соответствующая диаграмма давления будет выглядеть как показано на рис.1б. Увеличение частоты импульсов потока, (соответствующее увеличению частоты работы механизма), рис.1в. начиная с определенной частоты приводит к уменьшению амплитуды колебания ответного сигнала Р (рис.1г), что вызвано влиянием амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) вакуумной системы, представляющей аperiodическое звено с позиций теории управления.

В работе определена АЧХ вакуумной системы, рассчитаны коэффициенты ослабления периодического сигнала потока газовыделения в вакуумный объем в зависимости от параметров вакуумной системы V и S , которые необходимо ввести в алгоритм диагностики для получения достоверных данных по амплитуде колебания потока.

АЧХ вакуумной системы оценивается передаточной функцией аperiodического звена:

$$H(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}} \quad (4)$$

где: $k = \frac{I}{S}$ – коэффициент усиления системы; $T = \frac{V}{S}$ – постоянная

времени вакуумной системы, с; ω - частота сигнала, рад/с.

График АЧХ вакуумной системы экспериментального стенда показан на рис.2.

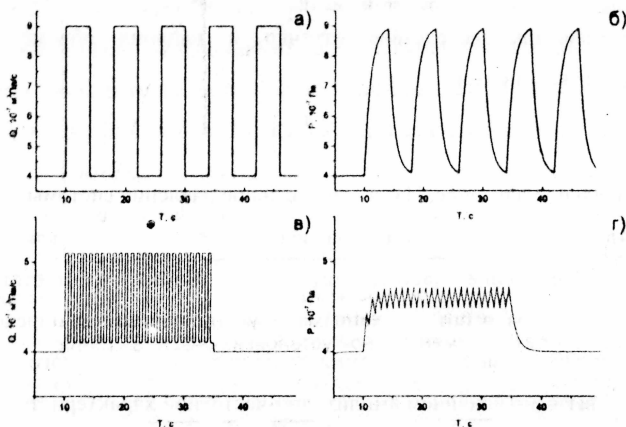


Рис.1. Моделирование изменения давления P в вакуумной системе при различных частотах входящего потока Q

На основании расчета АЧХ, определены коэффициенты ослабления сигнала и разработана компьютерная модель вакуумной системы, позволяющая моделировать работу ввода движения и использовать ее в алгоритме диагностики.

Пример экспериментально полученной диаграммы давления $P_T=f(t)$ показанный на рис.3, демонстрирует невозможность визуального определения периодических составляющих потока, которые достаточно хорошо выявляются математическими методами, как будет показано в главе 3. Дифференцирование графика давления $P_d(t) - P_\phi(t)$, где: P_d , P_ϕ – суммарное и фоновое давления в камере при работе механизма, даст возможность получить значение потока газовыделения из диагностируемого механизма

$Q_{\omega}(t)$, которое лежит в основе вакуумной диагностики.

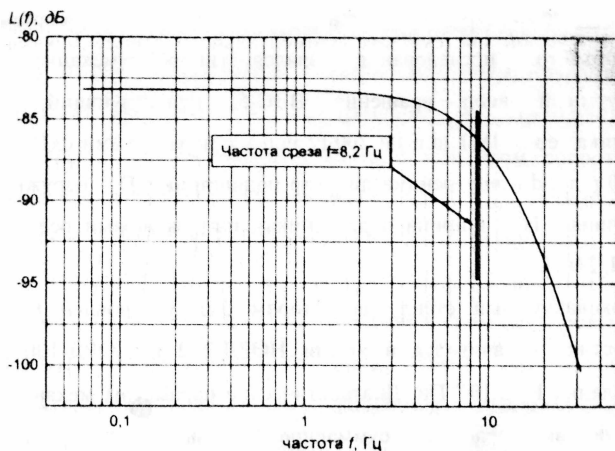


Рис.2. Расчетная АЧХ вакуумной системы экспериментальной установки. $V=32\text{л}$, $S=150\text{л/с}$

$P, 10^{-3} \text{ Па}$

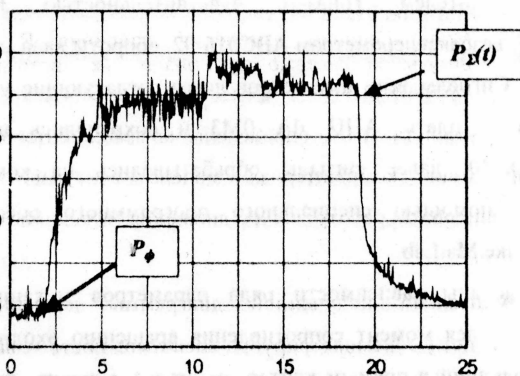


Рис.3. Реальный график давления в вакуумной системе при кратковременном пуске ввода движения

Вибрационная диагностика вакуумных механизмов, используемая в работе, основана на статистических характеристиках вибрации: эффективной

A_{eff} и максимальной A_{max} амплитудах.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям системы диагностики. Объектом исследования являлся типовой механизм – сверхвысоковакуумный ввод вращения ВЭС-5, использующий три шарикоподшипника серий 18(1 ш.п.) и 200 (2 ш.п.), с параметрами $d \times D \times H$ – $8 \times 24 \times 9$ $10 \times 30 \times 10$ (где: d – внутренний диаметр подшипника; D – наружный диаметр подшипника; H – ширина подшипника), нагруженными осевыми силами 240Н, 0Н, 240Н.

Сверхвысоковакуумный стенд, на котором был установлен макет системы диагностики откачивался насосами НОРД-250 и НОРД-100 до предельного давления $P = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Диагностические параметры механизма измерялись следующими средствами: суммарное давление – датчиком ПМИ-27 и вакууметром ВИ-14, парциальное давление датчиком РМО-4С и масс-спектрометрами ИПДО-1, ИПДО-2, момент сопротивления – измерительным торсионом и усилителем Топаз-1с чувствительностью 3 Нм/В, виброускорение – пьезоакселерометром ABC016-02, обороты вала механизма оптронной парой. Сигналы всех параметров через согласующие усилители подавались на вход платы АЦП ЛА-70М3 и сохранялись в памяти компьютера 386DX40, далее сигналы обрабатывались на компьютере PentiumIII 533 с помощью специального программного обеспечения, написанного на языке MatLab.

Были исследованы зависимости ряда параметров механизмов от наработки. Исследовался момент сопротивления вращению входного вала механизма M_c , являющийся прямым критерием отказа, а также параметры используемые для косвенной оценки основного критерия.: Q_{max} , Q_{sr} – максимальный и средний поток газовой выделения из ввода движения, A_{max} , A_{eff} – максимальная и эффективная амплитуда виброускорения, E_k – эксцесс вибросигнала, парциальный состав остаточного давления в вакуумной системе. Полученные данные для ввода ВЭС-5 о корреляции

диагностических признаков с моментом сопротивления для подшипников без смазки: $Q_{\max}$ ($\rho=0,165$), Q_{sr} ($\rho=0,161$), A_{eff} ($\rho=0,731$), $A_{\max}$ ($\rho=0,727$), E_k ($\rho=0,259$) и для подшипников с твердосмазочным покрытием MoS_2 : $Q_{\max}$ ($\rho=0,0742$), Q_{sr} ($\rho=0,0374$), A_{eff} ($\rho=0,696$), $A_{\max}$ ($\rho=0,654$), E_k ($\rho=0,249$) показывают, что наибольшую связь с моментом сопротивления имеют показатели виброускорения механизма A_{eff} и $A_{\max}$. Исследования показали, что износ подшипников сопровождается ростом парциального давления H_2 .

Частотный анализ потока газовой выделения производился исходя из предположения, что частоты колебаний потока газовой выделения равны частотам изменения сил в парах трения, в частности частотам контактирования элементов механизма. Частоты контактирования приведенные к частоте вращения входного звена f_b для используемого в испытуемом вводе ш.п. серии 200 равны: шарик-сепаратор – 1,18; шарики - наружное кольцо – 1,62; шарики-внутреннее кольцо – 3; шарик-кольца – 2,36

Исследование частотного спектра колебаний потока газовой выделения из сильфонного ввода движения ВЭС-5 показало, что в исследованном механизме стабильно проявляется лишь частота вращения валов ввода (рис.4а), которая может использоваться в качестве критерия состояния этого механизма (рис.4б), а также как критерий качества сборки механизма поскольку эффективно проявляется при неправильной сборке (перекосе валов ввода).

Разработана статистическая модель оценки момента сопротивления входного вала ввода движения по диагностическим признакам, для вводов с шарикоподшипниками без смазки:

$$M_c = -25949Q_{\max} + 42930Q_{sr} + 0,0381A_{eff} - 4,46 \cdot 10^{-4}A_{\max} - 0,0087E_k - 0,26, \quad (5)$$

и для вводов с шарикоподшипниками со смазкой MoS_2 :

$$M_c = 4265Q_{\max} + 2292Q_{sr} + 0,019A_{eff} - 0,0017A_{\max} - 0,0031E_k + 0,48, \quad (6)$$

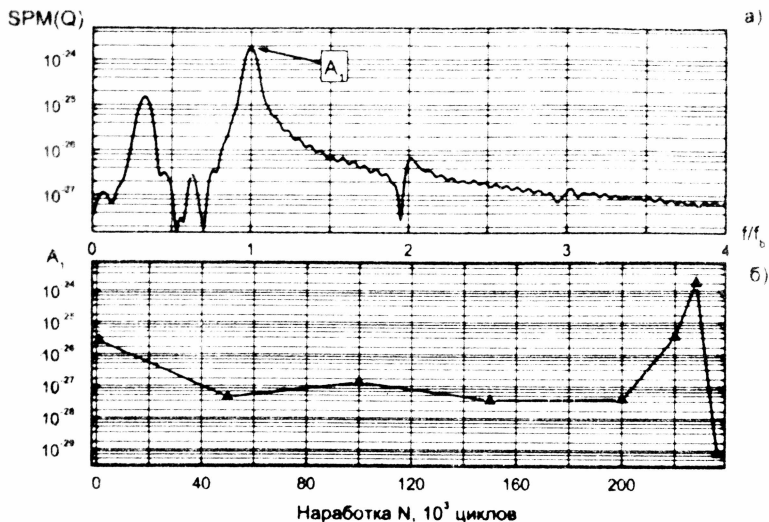


Рис.4. Диагностика по частотному спектру потока $Q(t)$ а) Спектральная плотность мощности (SPM) потока газовыделения $Q(t)$; б) Изменение амплитуды A_1

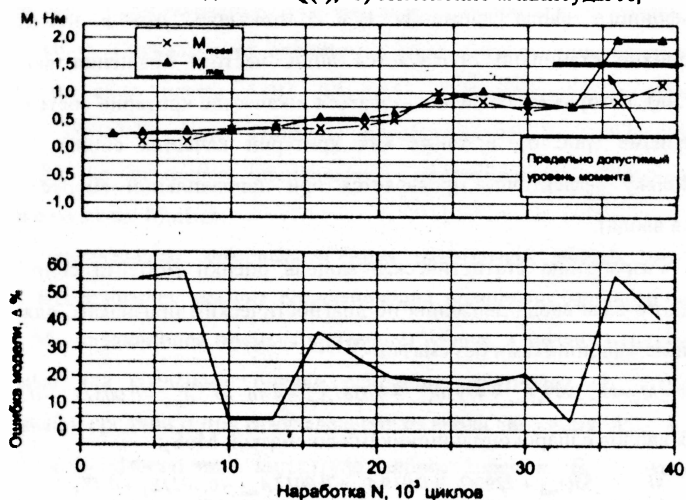


Рис.5. Пример расчета момента сопротивления по модели и ошибка модели

Показано, что вакуумная диагностика по спектру колебаний потока для принятых в технике соотношений V/S_0 имеет наибольшую информативность в диапазоне частот срабатывания вакуумных механизмов до $\sim 10 \dots 15$ Гц. Показано также, что для диагностики вакуумных механизмов при любых частотах срабатывания можно использовать виброускорение в интервале частот $f_v = 20 - 20000$ Гц.

Четвертая глава посвящена разработке методики прогнозирования вакуумных механизмов, выбору диагностических признаков в зависимости от типа диагностируемой установки, выбору типов датчиков давления и вибрации для системы диагностики. Даны рекомендации по выбору систем съёма диагностической информации и разработке программного обеспечения системы диагностики. Разработан алгоритм функционирования системы диагностики. Даны рекомендации по созданию системы измерения и обработки диагностической информации. Показано, что срок окупаемости проекта составляет 29 месяцев и чистый приведенный доход составит около 20.000\$.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Производительность вакуумного оборудования, снабженного системой ранней диагностики, может быть повышена за счет своевременного предотвращения аварийных отказов, характеризуемых временем ремонта Θ_a , путем перевода их в категорию планового, характеризуемого временем ремонта $\Theta_n \ll \Theta_a$. Получена формула для оценки производительности подобного оборудования, оснащенного системой диагностики.

2. При диагностировании вакуумных механизмов целесообразно использовать следующие параметры в качестве диагностических: Q_{max} , Q_{ef} – максимальный и средний поток газовыделения из ввода движения, амплитуда базовой частоты механизма, P_{H_2} – парциальное давление водорода, A_{max} , A_{ef} – максимальная и эффективная амплитуды виброускорения корпуса ввода движения, E_k – эксцесс вибросигнала.

3. Вакуумная система любой диагностируемой установки является апериодическим звеном, характеризуемым постоянной времени $T=V/S$ и частотой среза f_{cp} , ограничивающими использование метода вакуумной диагностики по частотному спектру потока газовыделения.

4. Компьютерная модель вакуумной системы, позволяет моделировать реакцию вакуумной системы на поток газовыделения различной формы; частота среза для используемого стенда составляет $f_{cp}=8,2$ Гц коэффициент коррекции амплитуды сигнала составляет 1.44 – 1.72 в диапазоне частот 8 – 12 Гц.

5. Зависимости диагностических признаков Q_{max} , Q_{sr} , A_{max} , A_{eff} , E_k от наработки шарикоподшипников для вводов с подшипниками со смазкой MoS_2 характеризуются монотонным возрастанием A_{eff} и A_{max} ; поток Q_{max} и Q_{sr} возрастают лишь непосредственно при возрастании момента сопротивления механизма, таким образом показано, что в качестве критерия для долгосрочного прогноза могут быть рекомендованы параметры A_{eff} и A_{max} , а для краткосрочного прогноза Q_{max} и Q_{sr} .

6. Шарикоподшипники без смазки характеризуются возрастанием параметров A_{eff} и A_{max} до максимального значения при наработке $(0,7-0,8)T_{отк}$; поток газовыделения также возрастает лишь непосредственно перед отказом, в то время как разброс его значений ΔQ возрастает более монотонно, поэтому в качестве критерия долгосрочного прогноза состояния шарикоподшипников без смазки могут быть взяты параметры A_{eff} и A_{max} , а для краткосрочного - возрастание амплитуды значений Q_{max} , Q_{sr} и ΔQ .

7. Пределами изменения диагностических признаков для эксцентриковых вводов движения являются: $Q_{max} \cong 10^{-6}-10^{-4} \text{ м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$ $Q_{sr} \cong 10^{-6}-10^{-5} \text{ м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$, $A_{max} \cong 0 \dots 200 \text{ м/с}^2$, $A_{eff} \cong 0 \dots 1200 \text{ м/с}^2$.

8. Получены данные по корреляции диагностических признаков с моментом сопротивления для ввода ВЭС-5 с подшипниками без смазки: Q_{max} ($\rho=0,165$), Q_{sr} ($\rho=0,161$), A_{eff} ($\rho=0,731$), A_{max} ($\rho=0,727$), E_k ($\rho=-0,259$) и с

подшипниками с твердосмазочным покрытием MoS₂: $Q_{\max}$ ($\rho=0,0742$), Q_{sr} ($\rho=0,0374$), A_{eff} ($\rho=0,696$), $A_{\max}$ ($\rho=0,654$), E_k ($\rho=-0,249$); показано, что наибольшую связь с моментом сопротивления имеют показатели виброускорения механизма A_{eff} и $A_{\max}$.

9. Разработана эмпирическая модель оценки момента сопротивления вращению входного вала ввода движения $M_c=F(Q_{\max}, Q_{sr}, A_{\max}, A_{eff}, E_k)$ для эксцентриковых вводов движения

10. Действующая экспериментальная модель системы диагностики вакуумных механизмов и комплекс программного обеспечения позволяет производить эффективную обработку диагностической информации.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Деулин Е.А., Пересадько А.Г., Золотухин С.Г. Компьютерная система контроля сборки вакуумных механизмов. //Вакуумная наука и техника: труды 3й Российской научно-технической конференции.- Гурзуф, 1996.- С.46.

2. Деулин Е.А., Невшупа Р.А., Пересадько А.Г. Компьютерная система прогнозирования отказов механизмов вакуумного оборудования. //Вакуумная наука и техника: труды 3й Российской научно-технической конференции.- Гурзуф, 1996.- С.53.

3. Деулин Е.А., Пересадько А.Г. Компьютерная система диагностики механических элементов вакуумного оборудования. //Вакуумная наука и техника: труды 4й Российской научно-технической конференции.- Гурзуф, 1997.- С.43-45.

4. Разработка системы ранней диагностики механических элементов вакуумного оборудования.: Отчет о научно-исследовательской работе /МГТУ. Руководитель Е.А. Деулин. Исполнители Р.А. Невшупа, А.Г.Пересадько, С.Г. Золотухин и др. – ГР №01.9.60000548, инв. №02.9.60000015. - М., 1995. – 90 с.

5. Основы экспериментальной модели устройства защиты вакуумных устройств.: Отчет о научно-исследовательской работе/МІТУ. Руководитель Е.А. Деулин. Исполнители Р.А. Невшупа, А.Г. Пересадько. –М., 1997. – 47 с.

6. Деулин Е.А., Пересадько А.Г. Диагностика и прогнозирование отказов высоковакуумных механизмов // Контроль.Диагностика.- 1998. -№5.- С.21-28.

7. Деулин Е.А., Пересадько А.Г. Изучение газовыделения при работе вакуумных механизмов. //Вакуумная наука и техника, труды 5й Российской научно-технической конференции.- Гурзуф, 1998.- С.33-36.

8. Герасимов В.В., Деулин Е.А., Пересадько А.Г. Диагностика состояния механических вводов движения в вакуум. //Вакуумная наука и техника, труды 6й Российской научно-технической конференции, Гурзуф, 1999. - с.19-23.

9. Analysis of surface wear by residual pressure measurement /Deulin E.A., Peressadko A.G. et al. //VASSCAA-1.- Tokyo (Japan). - 1999.- P.45 (accepted to Conference).

10. Wear and "image" of vacuum mechanisms /Deulin E.A., Nevchoupa R.A., Peressadko A.G., Roy R. //Communication on the International Conference on Wear of Material - 99. - Atlanta (USA), 1999.- P.79.

11. Computer system of predicting of mechanical elements failures of high vacuum equipment based on pressure measuring /Deulin E.A., Nevchoupa R.A., Peressadko A.G. et al. //10th International Conference on Thin Films/5th European Vacuum Conference: Book of Abstracts. - Salamanca (Spain), 1996. - P.168.

12. Diagnosing system of mechanisms of vacuum equipment /Deulin E.A., Peressadko A.G. et al. //ECASSIA'97. – Götteborg (Sweden), 1997.- P.95.