

УДК 629.7.064:519.246.87

Е.А.Вакулич, В.В.Выборнов, С.В.Гамов, Е.Ю.Мордвинцев

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОСИСТЕМ ПО ПУЛЬСАЦИОННОМУ СОСТОЯНИЮ

Проблема обеспечения надежности работы гидросистемы (ГС) и проблема безразборного контроля являются в настоящее время в практике машиностроения одними из наиболее актуальных. В полной мере это относится к эксплуатации современных летательных аппаратов, обладающих гидросистемами большой сложности.

Высокая степень готовности ГС для заданной надежности осуществляется при переходе от традиционной системы эксплуатации по ресурсу к прогрессивной системе эксплуатации по техническому состоянию, что возможно только при наличии эффективных методов диагностирования.

Среди методов контроля за техническим состоянием ГС перспективны разработки в области акустической диагностики, отличительная особенность которой состоит в использовании в качестве источника информации динамических параметров. Это позволяет обеспечить быстрое принятие решений в аварийных ситуациях, способствует успешному обнаружению зарождающихся дефектов. Наиболее широко в данной области представлена вибродиагностика, в основном рассматривающая диагностирование машин циклического действия.

Наряду с вибродиагностикой получение информации о техническом состоянии агрегатов ГС возможно путем анализа пульсации рабочей среды. Плодотворность этого пути обусловлена следующими факторами: элементы агрегатов непосредственно взаимодействуют со средой, влияя на параметры пульсации, пульсации обладают большой энергией и хорошо различимы на фоне случайного шума, имеют общесистемный характер. Кроме того, измерение пульсации проводится с помощью комплекса, обеспечивающего высокую достоверность зарегистрированной информации, так как измерительный канал имеет стабильные динамические характеристики всех входящих элементов, в том числе и трубопроводной линии, измене-

ни давления в которой непосредственно воспринимается перепад давления преобразователем.

Пульсация давления при использовании ее в качестве информативного сигнала может рассматриваться как детерминированный и как случайный процесс. Наиболее известен первый подход. Например, в работе [1] возможность обнаружения дефектов в качающем узле аксиально-плунжерного насоса связывается с детерминированной постановкой задачи и в качестве диагностического параметра рассматривается амплитуда пульсации давления в ГС за насосом. Однако в случае выявления зарождающихся дефектов эффективность детерминированного подхода мала. Это связано с тем, что обусловленная переходом к новому техническому состоянию вариация регулярной составляющей сигнала оказывается соизмеримой с уровнем помехи. Последняя объясняется наличием шума измерительного канала, конструктивными особенностями конкретной ГС и является случайной на совокупности однотипных объектов. В этих условиях выделение информативных с точки зрения диагностики детерминированных возмущений пульсации возможно лишь применением статистических методов, что явилось посылкой к принятию в задачах рассматриваемого типа модели пульсации давления в виде случайного процесса.

Далее, исходя из постановки задачи диагностики, рассматриваются две ситуации. В первом случае дефект в элементе ГС проявляется на конечных временных интервалах, повторяющихся с периодичностью, что приводит к локальным возмущениям структуры пульсации. Во втором случае дефект после возникновения способствует перестройке структуры пульсации на всем интервале функционирования ГС. Ситуации отличаются с точки зрения подходов к обработке сигнала, так как традиционное вычисление характеристик случайного процесса путем осредняющих реализацию процедур может привести в первом случае к потере диагностической информации, что потребует разработки алгоритмов, ориентированных на выделение информации по указанным интервалам.

К первому из указанных случаев отнесем задачу определения технического состояния аксиально-плунжерного насоса по наличию дефекта, состоящего в увеличении относительно нормативной величины осевого зазора к шарнирным соединениям плунжерных пар насоса. Этот дефект по [1] является частным из совокупности неисправностей, приводящих к отказам насосов, кроме того, он один из основных, допускаемых при сборке.

Экспериментальное исследование, проведенное для совокупности насосов типа ИПЗМ-1Т, отличающихся распределением осевых зазоров, показало следующее. Амплитудно-частотные характеристики, построенные для зафиксированной на выходе из насоса пульсации, расслоились. Однако непосредственное рассмотрение характеристик как диагностических параметров было отклонено вследствие малого расхождения кривых на уровне суммарной средней квадратической погрешности эксперимента, достигающей 10%. Во временной области для разных изделий наблюдались структурные отличия осциллограмм пульсации на основных режимах штатного интервала скоростей.

Для объяснения выявленных отличий временного сигнала (из-за присутствия случайной помехи при обработке информации или из-за наличия регулярной составляющей, внесенной варьируемым люфтом) применен статистический анализ, включающий наиболее простые приемы обработки пульсации как одномерного случайного процесса (определение четырех основных моментов случайной величины и автокорреляционной функции).

Оценки среднего значения сигнала, асимметрии, эксцесса оказались близки и статически неразличимы для исследованной группы насосов.

В работе /1/ предложена зависимость, отражающая связь амплитуды пульсаций и суммарного осевого зазора δ в соединениях плунжерных пар насосов, причем амплитуда растет с увеличением зазора. Учитывая, что среднее квадратическое отклонение δ и амплитуда сигнала имеют сходный физический смысл, проведен анализ наличия зависимости $\sigma(\delta)$. Установлено, что значительное увеличение зазора приводит к росту δ , однако при малых зазорах (отклонения близки к норме, что соответствует уровню зарождения дефекта) отношение $\delta - \sigma$ неустойчиво.

К возможным диагностическим параметрам относится функция автокорреляции $R(\tau)$, обладающая свойством выделения периодичностей сигнала, устойчивая к случайным помехам.

Проведенные расчеты показали отличие оценок $R(\tau)$ для насосов, имеющих качающий узел с разной степенью изношенности, причем более ярко оно проявляется на режимах с меньшими частотами вращения. При значительном возрастании зазора график качественно меняется.

Примером сказанному служат графики нормированной $R(\tau)$, представленные на рис. 1 для режима 1333 об/мин (основная плунжерная частота $f = 200$ Гц). Лучшее техническое состояние соответствует

насосу с большим номером. Насос Н1 имеет дефектный качающий узел, близки к допустимым люфты в сопряжениях качающего узла насоса Н2, насос Н3 рассматривается как эталонный.

Численная оценка различия $R(\tau)$ проведена с помощью параметра $D = \sqrt{\sum R^2(kh)}$ по смыслу сходного с нормой вектора, где в качестве компоненты рассмотрены отсчеты нормированной функции $R(\tau)$ во временных точках $\tau =$

$= kh$. Число n в расчетах предполагается взять соответствующим длине наименьшего периода в оценке $R(\tau)$. Расчеты показали, что параметр D верно отражает наличие зависимости: величина зазора - величина D для больших δ . С ростом δ отмечена тенденция к росту D ($D_{Н1} = 1,85$; $D_{Н2} = 1,75$; $D_{Н3} = 1,46$). Вместе с тем, в указанном виде D недостаточно чувствителен к зарождающимся дефектам, его величина зависит от режима работы насоса.

Выполненный анализ подтвердил предположение о недостаточной чувствительности рассмотренных характеристик пульсации для выявления зарождающегося дефекта данного типа при выполнении расчета по длине реализации с помощью процедур осреднения.

В данной ситуации предлагается связать диагностический параметр с характеристиками пульсации на отдельных интервалах. Длина интервала $\Delta T_l = 1/f$ (l - номер интервала и соответствующего плунжера) зависит от скорости вращения вала, число интервалов равно количеству плунжеров. Отдадим предпочтение среди числовых характеристик процесса параметру σ , исходя из факта соответствия физической сущности задачи (большой разброс зазоров вызывает переходные процессы с большей амплитудой колебаний).

На интервалах ΔT_l вычислим оценки σ , их совокупность представим как дискретную случайную величину. Величину охарактеризуем оценкой функции плотности вероятности (гистограмма), числовыми оценками распределения: среднее величины $M(\sigma_l) = \sigma_{co}$; среднее квадратичное отклонение $G(\sigma) = s$. В результате получаем прос-

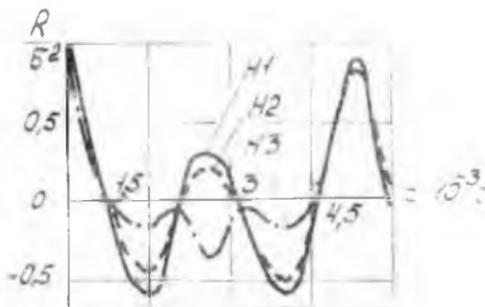


Рис. 1. Оценки автокорреляционной функции пульсации для режима $f = 200$ Гц

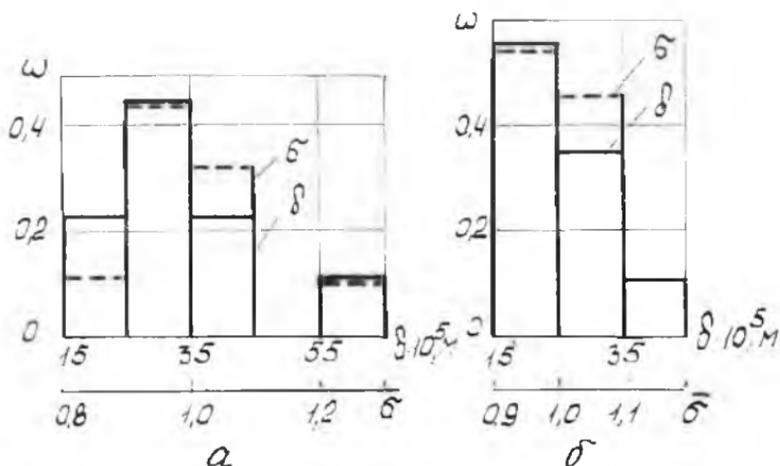
тейлун двухпараметрическую оценку распределения в виде вектора $(\bar{G}_{cp}; \bar{S})$, которую можно рассматривать как диагностический параметр. Состояние качающего узла диагностируемого насоса удобно связать при таком подходе с опорными значениями для эталонного насоса $(\bar{G}_{cp}^0; \bar{S}^0) = (\alpha_1 \bar{G}_{cp}^0; \alpha_2 \bar{S}^0)$, где $(\alpha_1; \alpha_2)$ - коэффициенты разложения вектора в базисе опорных значений $(\bar{G}_{cp}^0; \bar{S}^0)$.

По аналогии с выполненным рассмотрим как случайную величину характеристику дефекта δ . Анализ показал, что гистограммы для величин G и δ имеют сходную конфигурацию, что является посылкой к установлению связи между ними на основании числовых векторных оценок $(\bar{G}_{cp}; \bar{S})$ и $(\bar{\delta}_{cp}; \bar{S})$. Определив $\bar{\delta}_{cp}^0$ и \bar{S}^0 по нормативным технологическим документам и пересчитав эти значения к соответствующим \bar{G}_{cp}^0 и \bar{S}^0 , получаем возможность дать оценку технического состояния качающего узла насоса величиной α_1, α_2 . Насос считается исправным, если $\alpha_1 \leq 1, \alpha_2 \leq 1$ совместно, что соответствует граничной оценке $\alpha_1^2 + \alpha_2^2 \leq 1$.

В качестве примера на рис. 2 представлены гистограммы распределения осевых зазоров и оценок интервальных G . Насос И2 относится к дефектным насосам (граничное допустимое значение равно $0,06 \cdot 10^{-2}$ м), насос И3 к исправным. С целью наглядности при сравнении гистограмм величины G_i пронормированы S_i , разбиение проведено на то же количество разрядов, что и для δ_i , результаты расчетов построены на одном графике.

Удовлетворительное качественное совпадение результатов позволяет сделать вывод о возможности реализации контроля за техническим состоянием качающего узла насоса по рассмотренному дефекту в рамках вопроса "в допуске - нет", причем при наборе статистики появится возможность прогнозировать и число значительных зазоров в шпундерных парах.

Проявление неисправности в ГС типа "течь трубопровода", "засорение фильтра" отличается от рассмотренного тем, что при этом меняются свойства системы и формирование пульсации происходит в новых условиях. Экспериментальное исследование, проведенное на участке ГС при варьировании степени дефектов, показало наличие перестройки спектра сигнала, изменение уровня. В условиях данной ситуации для выделения диагностического параметра возможно применять традиционные подходы, одним из которых является моделирование.



Р и с. 2. Гистограммы распределения осевых зазоров δ и оценок σ для случаев качающихся узлов насосов: а - Н2; б - Н3

Для рассматриваемого класса систем высокая достоверность обеспечивается применением метода электродинамических аналогий, включающего составление электрической модели. Модели, построенные по подобной методике, позволяют исследовать чувствительность характеристик сигнала к вариациям параметров системы, имитировать расположение точек съема информации.

Применение подобной методики [2] для исследования участка авиационной ГС позволило сделать вывод о наличии чувствительности амплитудного спектра сигнала к перечисленным выше дефектам. Анализ зависимостей $\Delta A(f, x)$ (модуля разности амплитуды в номинальном и возмущенном состояниях от частоты и линейной координаты x , приравнанной к оси трубопровода) показал существование сочетаний параметров f_x, x_x , обладающих диагностическим свойством. В этих точках чувствительность амплитуды оказывается выше по отношению к конкретной неисправности. Подобный подход допускает реализацию при единичных некротных дефектах. Увеличение числа дефектов влечет необходимость построения диагностических матриц, являющихся исходной базой для применения решающих правил, например, основанных на известной формуле Байеса. Следует отметить, что данный этап исслед-

дованы дает в основном качественную информацию, позволяющую формировать далее количественные зависимости.

Предложенные подходы и выработка диагностических признаков могут быть объединены в алгоритм, реализующий методику диагностики ГС по типовым дефектам. На начальном этапе фиксируется X (место отбора информации), далее вычисляются оценки $\sigma_{\text{ср}}, \sigma_{\text{д}} / (\bar{f}_k)$, характеризующие техническое состояние элементов ГС.

Библиографический список

1. Загребельный В.И. Некоторые вопросы диагностики технического состояния деталей качающего узла аксиально-поршневых насосов // Вопросы расчета и контроля гидросистем самолетов гражданской авиации: Сб. науч. тр. /РКИИГА. - 1970. - Вып. 2. - С. 40-50.

2. Артюхов А.В. и др. О возможности диагностирования качества сборки аксиально-плунжерных насосов по параметрам пульсации давления рабочей жидкости /Артюхов А.В., Вакулич Е.А., Выборнов В.В., Жуковский А.Е. - Куйбышев. авиац. ин-т. - Куйбышев 1985. - 13 с. - Деп. в ВИНТИ II.09.85, № 6872.

УДК 629.7.036

В.Е.Годлевский, Л.Я.Шумихина

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

При проектировании малоразмерных газогенераторов (ГГ) на химическом топливе для различных систем (наддува, электроснабжения и ряда других) энергетических установок (ЭУ) необходимо учитывать не только их статические, но и динамические характеристики. Это связано с тем, что параметры непрерывного режима ГГ определяются по максимальной нагрузке ЭУ, а при режимах с меньшей нагрузкой ГГ работает в импульсных режимах, что позволяет упростить конструкцию ЭУ и уменьшить теплоснабженность ее элементов. Ниже рассматривается метод выбора оптимальных параметров ГГ, учитывающий реальную многорежимную циклограмму его работы.

необходимость использования методов оптимального проектирования