

4. Жуковский А.Е., Малеев А.Ф. Моделирование динамических процессов в двигательных установках с ЖРД /Самар. аэрокосм. ун-т. Самара, 1992. 65 с.

УДК 629.7.064:519.246.87

Е.А.Вакулич, С.В.Гамов, Ю.В.Корнева,
А.М.Митлин, Е.Ю.Мордвинцев

ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ В СОСТАВЕ ГИДРОСИСТЕМЫ

Представлены материалы, в которых обсуждаются подходы к созданию системы диагностики насосной станции передвижных гидростанций аэродромного обслуживания летательных аппаратов. Рассматривается задача разладки, которая используется при построении диагностического алгоритма. Особое внимание уделяется вопросу эффективности разрабатываемого алгоритма.

Рассматриваемая задача является специфической с точки зрения построения схемы насосной станции и ее работы в составе гидросистемы. Особенностью задачи является отсутствие на первом этапе построения диагностической системы статистики по ресурсу.

В этих условиях необходимо разработать процедуры, отслеживающие не только достижение диагностическими параметрами величин, характеризующих предельно допустимое техническое состояние агрегата, но и динамику изменения параметров, определяющую саму возможность наступления предотказного состояния. Последнее позволяет отнести задачу к классу так называемых задач о разладке.

Наиболее известные методы решения задачи о разладке опираются на исследования стационарных случайных сигналов. Поэтому, чтобы использовать эти подходы, необходимо устранить нестационарную составляющую случайного процесса, опираясь на данном этапе работы на сложившиеся представления о физических моделях строения элементов гидроагрегатов.

Рассмотрим содержательную часть постановки задачи разладки, которую предполагается использовать при построении диагностического алгоритма.

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.

Остановимся на случае представления диагностического параметра одномерной случайной последовательностью $\{x_n\}$ незавершенных величин $x_1, x_2, \dots, x_t, \dots$. В момент t_0 последовательность скачком меняет свои свойства, однозначно определяемые вектором параметров $\bar{\theta}$, $\dim\{\bar{\theta}\} = r$, $r \in N$. Это значит, что до момента времени $t_0 = 1$ включительно $\bar{\theta} = \bar{\theta}_1$, а величина с $t > t_0$, вектор $\bar{\theta} = \bar{\theta}_2$. Очевидно, реальная картина уменьшения свойств $\{x_n\}$ может быть более емкой.

Далее будем считать, что алгоритм будет ориентирован на применение дискретной вычислительной техники (т.е. t_0 (или номер в ряду отсчетов) — целочисленная случайная величина). Будем считать t_0 неизвестным моментом времени, не придавая статической окраски его появлению.

Рассмотрим примеры конкретных подходов к решению задачи разладки в рассматриваемой постановке. Первый подход предложен Е.С.Пейджем и представляет собой многократно применяемый последовательный анализ А.Вальда и носит название алгоритма кумулятивных сумм. В его основу положено рассмотрение критерия отношения вероятностей для двух простых гипотез: гипотезы H_1 , $\theta = \theta_1$ и гипотезы $\theta = \theta_2$. В случае аппроксимации $\{x_n\}$ последовательностью гауссовских случайных величин $N(\theta, \sigma^2)$ под разладкой понимается изменение θ от θ_1 до θ_2 . Тогда для алгоритма кумулятивных сумм получим следующую рекуррентную запись:

$$g_t = g_{t-1} + \frac{\theta_2 - \theta_1}{\sigma^2} x_t - \frac{\theta_2 + \theta_1}{2}, \quad g_t = 0.$$

Полученная кумулятивная сумма на каждом шаге сравнивается с двумя порогами: E и h ($E, h > 0$). Если на текущем шаге $g_t \geq h$, то принимается гипотеза H_2 , если $g_t \leq -E$, то принимается H_1 , если $-E < g_t < h$ то выполняется наблюдение $t+1$.

При практической реализации подхода алгоритм обычно строится на отдельных временных интервалах. Тогда предлагается возобновить применение критерия с начала очередного интервала, при этом $g_t^k = 0$ при $k = 0$, где k — номер шага по времени в текущем цикле.

Применение указанного подхода проводится для достаточно гладкого физического сигнала (или после выполнения операции сглаживания). Укажем также здесь метод, в основе которого лежит экспоненциальное сглаживание. Он ориентирован на обнаружение изменения среднего уровня наблюдаемого процесса. Решающая функция имеет вид

$$g_t = (1 - \kappa) g_{t-1} + \kappa (x_t - m), \quad g_0 = 0,$$

где $0 < \kappa < 1$ — коэффициент сглаживания; m — среднее.

Сигнал о разрядке подается (в случае увеличения среднего) согласно первому:

$$t_a = \inf \{ t \geq 1 : g_t \geq h \}.$$

Здесь также возможен вариант наблюдения за процессом $\{x_t\}$.

При составлении рассматриваемого алгоритма применены простейшие процедуры выбора признаков и решающих правил. По мере накопления данных по ресурсу предлагается введение более сложных и, соответственно, более оптимальных процедур по критерию соотношения между ложноположительными и отрицательными выводами.

Сказанное нашло отражение при разработке алгоритма контроля технического состояния насосной станции, работающей в составе установки аэропромного обслуживания. Данный тип установок предназначен для проведения подготовительных и регламентных работ на судах Ил-76, Ту-154, Ту-134, их модификаций.

Анализ эксплуатационной надежности гидростанции показал следующее. Наиболее часто дефектные состояния возникают в гидросистеме, в которую входят бак и три подсистемы, включающие аксиально-поршневые насосы НИ-52. Так, все многообразие дефектов, возникающих в других функциональных фрагментах установки, составляет по объему менее 1%.

Дефекты, присущие гидросистеме, условно делятся на дефекты технологической и эксплуатационной природы. Первые возникают вследствие ошибок при сборке, дефектов комплектующих агрегатов и узлов. Из-за отсутствия входного контроля и недостаточно высокого уровня присосдаточных испытаний около 4% установок выходят из строя в первые 100 часов работы. Дефектация показывает, что в основном техническое состояние отлично от номинального у поршневых насосов (дефекты в закреплении кардана, в заделке пальцев в поршнях).

Эксплуатационные дефекты возникают в результате нештатной эксплуатации поршневых насосов (например, наличие нерастворенного воздуха в гидросистеме).

Таким образом, выявилась необходимость разработки в первую очередь контролируемых операций для гидросистемы (более узкопоршневых насосов). Учитывая условия сборки (комплектующие поставляются внешним предприятием) и эксплуатации, предпочтение при построении алгоритма

диагностики следует отдать операциям, реализующим наблюдение за текущими функциональными свойствами объекта и их анализ.

Эффективность разрабатываемого диагностического алгоритма зависит от рациональности выполняемых действий. В основу разработок следует положить максимализацию критерия успешности реализации диагностических операций (здесь обнаружение текущей разрядки при минимизации функции потерь, зависящей от времени между моментом появления разрядки и моментом ее обнаружения при назначенном уровне ложных тревог). В процессе разработки желательно минимизировать расходы, связанные с самой разработкой, минимальной должна быть и плата за создание системы и ее эксплуатацию в составе объекта.

Успешность реализации глобального критерия задачи связывается с выполнением ряда частных критериев, которые назначаются на основе декомпозиции глобального и реализуются поэтапно. Рассмотрим далее некоторые особенности этапов, ориентируясь на задачу создания диагностического алгоритма гидросистемы установки.

Первый (подготовительный) этап носит общий по отношению к объекту характер и включает операции анализа структурной схемы объекта, его функционирования, надежности, возникновения дефектов в элементах. Далее, в зависимости от характера дефекта, картины его проявления, организационных и экономических факторов, выбирается физический сигнал, выступающий в роли диагностического (ДС).

Направленность данной работы, выполненные разработки для типовых задач определили применение в качестве ДС пульсацию давления среды в трактах гидросистемы.

Второй этап свяжем с формированием ДС на уровне работы объекта в комплексе с измерительными цепями (гидравлическая часть) диагностической системы. Сформулируем критерии этапа:

ДС несет полную информацию о рассматриваемых дефектах гидросистемы;

присоединенные цепи измерительной системы не оказывают влияния на функционирование объекта.

Реализация первого критерия зависит от ряда факторов, к которым относится выбор конфигурации выделенного участка системы, режима работы установки (конкретно насоса), местоположения точки съема сигнала. В данном случае были выбраны участки циклограммы работы со стабильной скоростью вращения приводного вала насоса при фиксированном уровне номинального давления. Выполнение второго критерия осуществлялось путем установки первичного преобразования давления во ввертном варианте.

Третий этап включает операции по выбору конфигурации электрической части информационно-измерительного комплекса, параметров элементов комплекса. В качестве критерия эффективности этапа укажем следующее условие: передаточные свойства канала удовлетворяют требованиям, вытекающим из рассмотрения ДС в роли диагностического параметра.

Для достаточно широкого класса диагностических систем этому условию соответствует включение в состав комплекса первичных преобразователей давления, вторичной аппаратуры, магнитографа, аналого-цифрового преобразователя, параметры которых обеспечивают фиксацию в ПЭВМ ДС без потери диагностической информации. Следует иметь в виду, что критерий эффективности этапа имеет ограничение в части сохранения избыточной информации.

Четвертый этап подготовительных операций по разработке диагностического алгоритма направлен на формирование диагностических параметров (ДП) на основе ДС. Критерий этапа содержит следующие положения:

ДП обладает достаточной чувствительностью к рассматриваемому дефекту;

аппаратные средства позволяют надежно выделить ДП.

Этап реализуется путем выбора из множества предлагаемых для анализа ДП, удовлетворяющих сформулированному критерию. Решается вопрос о способе реализации ДП (на основе аналоговой или цифровой техники).

В рассматриваемой задаче предпочтение отдано с учетом экономической целесообразности аналоговому варианту диагностического устройства. Исходя из этого, ДП разумно подбирать в частотной области. Экспериментальные исследования позволили предложить в качестве ДП

$$D_1 = S(f_2) - S(f_1),$$

$$D_2 = S(f_3),$$

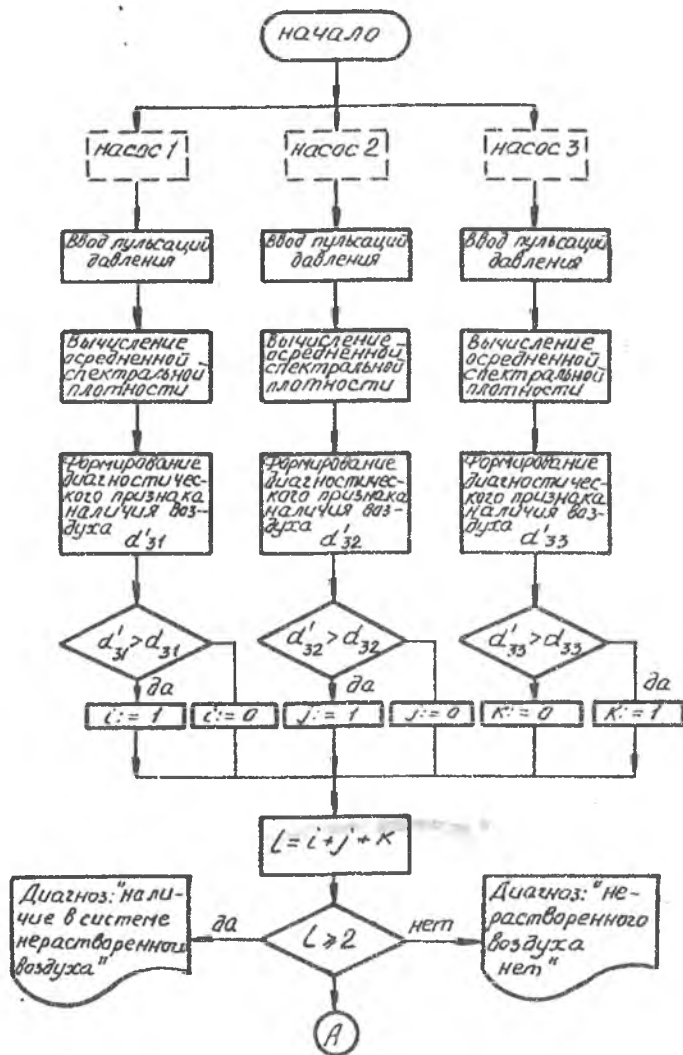
$$D_3 = S(f_{н.ч}),$$

$S(f_1), S(f_2), S(f_3), S(f_{н.ч})$ - амплитуды соответственно первой, второй, третьей плунжерных гармоник и роторной частоты.

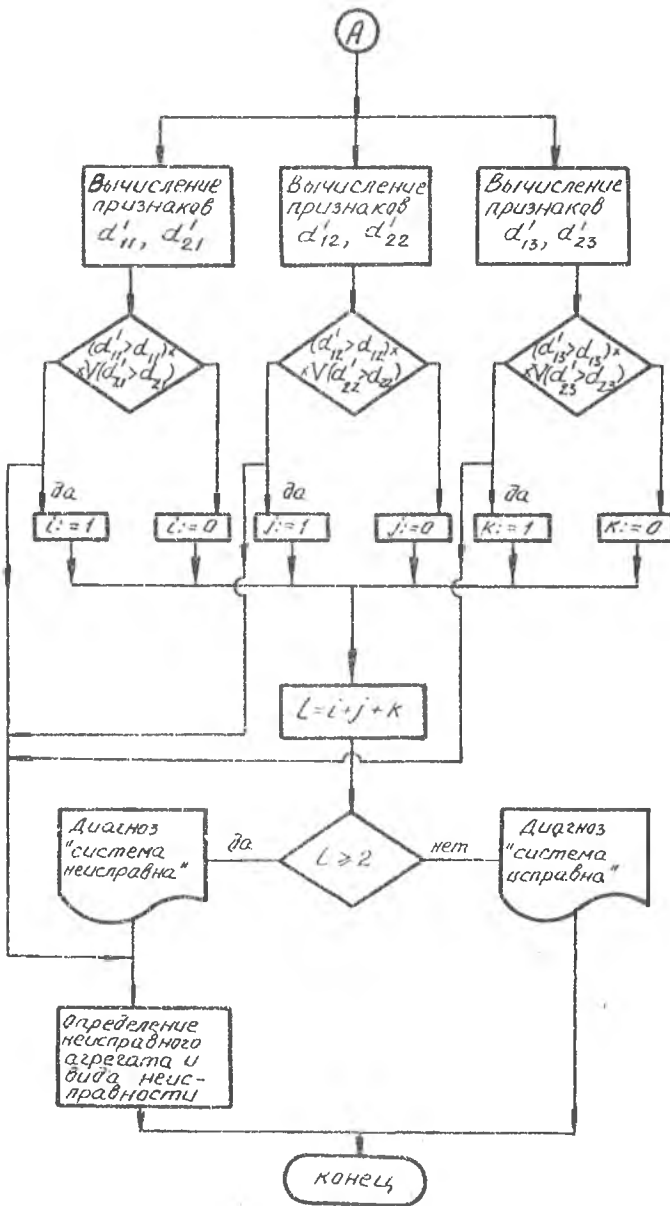
Параметры D_1 и D_2 характеризуют техническое состояние насоса,

D_3 - наличие в гидросистеме нерастворенного газа.

Пятый (заключительный) этап включает выбор диагностических при-



Р и с. I. Алгоритм диагностирования насосов НП52-2 установки аэродромного обслуживания



Р и с. I. Продолжение

наков наличия дефектов в гидросистеме. Критерием эффективности этапа является формирование решающих правил, позволяющих вести распознавание шкалированных технических состояний с минимальным (заданным) уровнем ошибок. Пороговые значения для признаков устанавливаются с помощью обучающих экспериментальных исследований или модельных расчетов.

Реализация указанных операций позволила разработать вариант алгоритма диагностической системы по контролю за текущим техническим состоянием гидросистемы установки (рис. 1), осуществляемый в настоящее время в виде аналогового диагностического устройства.

УДК 532.529.5

В.Г.Кинелев, П.М.Шкапов

ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС УЧАСТКА ГИДРОЛИНИИ С ОГРАНИЧЕННОЙ ГАЗОВОЙ КАВЕРНОЙ

На основе разработанной математической модели, описывающей динамику ограниченной газовой каверны в трубопроводе, определен входной импеданс участка гидролинии с ограниченной газовой каверной и исследована устойчивость течения жидкости в данной системе.

В гидравлических магистралях энергетических и технологических установок различного назначения возможна реализация течений, характеризующихся наличием в потоке развитой газовой каверны с четко выраженной границей раздела газ-жидкость. Такие каверны возникают преимущественно в отрывных зонах за плохо обтекаемыми элементами конструкции или специальными кавитаторами. Наличие стесняющих поток стенок, закрутка потока или поддув газа в зону отрыва интенсифицируют процесс формирования каверн такого рода [1-3], а присутствие в реальных магистралях ниже по потоку диафрагм, вентилях, сопел и других элементов типа местных гидросопротивлений, приводящих к перестроению структуры потока, вносит ограничение на их осевое развитие. Таким образом, полностью развитая газовая каверна оказывается локализованной на ограниченном по длине участке гидролинии.

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.
