

На правах рукописи

Безмен Глеб Владимирович

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ
СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО АНАЛИЗА

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2011

Работа выполнена в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» –
Государственный научный центр Российской Федерации

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Колесов Николай Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Осипов Андрей Владимирович

кандидат технических наук,
доцент
Подкопаев Борис Павлович

Ведущая организация: Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения

Защита состоится 20 декабря 2011 г. в 15 час. на заседании диссертационного
совета ДС 411.007.01 при ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по
адресу: 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, д. 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОАО «Концерн «ЦНИИ
«Электроприбор».

Автореферат разослан _____ 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

Колесов Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Для навигационных систем (НС), как и для любых информационно-управляющих систем, важное значение имеет качество применяемых средств диагностирования, поскольку от этого зависит их надежность и эффективность применения. При этом, как правило, НС оснащается целым спектром разнообразных средств диагностирования, среди которых важное место занимают средства функционального диагностирования (ФД), применяющиеся в процессе работы системы по прямому назначению и не требующие перерывов в ее работе. Исходя из вышесказанного, представляются актуальными вопросы совершенствования методов ФД для НС.

Известно, что как сами НС, так и составляющие их устройства, как правило, описываются моделью динамической системы, что позволяет считать целесообразным рассмотрение проблемы ФД именно в отношении этого класса моделей. Вопросам ФД динамических систем на протяжении последних десятилетий было посвящено достаточно много публикаций. Среди наиболее известных авторов можно назвать Willsky A.S., Patton R. J., Frank P. M., Clark R. N., Isermann R., Koscielny J.M., Mendouca L., Мироновского Л.А., Шумского А.Е., Жирабка А.Н., Бассвиль М., Никифорова И.В., Гришина Ю.П., Дмитриева С.П., Осипова А.В., Подкопаева Б.П. и многих других. Тем не менее, несмотря на многочисленность и многоплановость публикуемых работ, исследования в данной области продолжаются. В литературе задача ФД рассматривается в разных постановках, которые, прежде всего, определяются использованием для системы моделей различного типа – детерминированных, стохастических, нечетких и др. Выбор той или иной постановки, как правило, определяется содержанием прикладной задачи, решаемой динамической системой, и, конечно, имеющейся в распоряжении разработчика средств диагностирования априорной информацией о свойствах системы и возникающих в ней отказах. Так, если разработчик располагает

статистической информацией о поведении системы и ее отказах, то может быть применен стохастический подход. Если такой информации нет, то можно прибегнуть к услугам детерминированного подхода, где информация о неопределенностях сведена к минимуму. Статистический подход находит применение при диагностировании так называемых информационных отказов. При решении задачи ФД аппаратурных отказов статистическая информация, как правило, полностью отсутствует, что безальтернативно приводит разработчика к применению детерминированных методов или усиливающих их методов, применяющих нечеткие правила анализа и принятия решений об отказе. В настоящее время в центре внимания исследователей находится проблема повышения точности диагностирования и учета различного рода неопределенностей, сопровождающих решение задачи ФД аппаратурных отказов. Именно этим вопросам посвящена настоящая работа.

Цель работы и задачи исследования. Цель исследований состоит в совершенствовании методов диагностирования аппаратурных отказов навигационных систем в направлении повышения точности диагностирования.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- анализ современных методов ФД динамических систем;
- анализ особенностей решения задач диагностирования в НС;
- разработка методов ФД динамических систем, учитывающих особенности НС;
- разработка программных средств, для реализации диагностирования в НС;
- подтверждение эффективности разработанных методов и программных средств по результатам их моделирования и практического использования.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы теории управления, теории диагностирования динамических систем, теории нечеткого анализа.

Научная новизна

1. Предложен метод функционального диагностирования НС, использующий нечеткие правила анализа и принятия решений об отказе и учитывающий нечеткость границы между работоспособным и неработоспособным техническими состояниями. Метод основан на использовании банка взаимодействующих наблюдателей, соотносимых либо с техническими состояниями системы, либо с переходами между ними.

2. Предложена модификация алгоритма диагностирования и правила принятия решения об отказе в случае, когда отказы НС находятся в отношении эквивалентности или доминирования.

3. Произведено исследование предложенного метода функционального диагностирования и установлено, что метод сохраняет работоспособность при более низком уровне отказов, нежели известные методы, использующие нечеткие правила анализа и принятия решений об отказе и основанные на использовании независимых наблюдателей.

4. Разработана имитационная программная модель платформенной ИНС, для исследования чувствительности наблюдаемых параметров ИНС к возможным отказам.

Практическая ценность

1. Предложенный метод функционального диагностирования НС позволяет получать на практике более эффективные варианты средств диагностирования, нежели известные методы.

2. На основе предложенного метода функционального диагностирования НС разработано и применено программное обеспечение для диагностирования ИНС в составе испытательного стенда.

Основные положения, выносимые на защиту:

- метод функционального диагностирования НС;

- модификация алгоритма функционального диагностирования НС для случая, когда отказы НС находятся в отношении эквивалентности или доминирования;
- результаты исследования предложенного метода функционального диагностирования;
- имитационная программная модель платформенной ИНС для исследования чувствительности наблюдаемых параметров ИНС к возможным отказам.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на международной научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии XXI века» (Воронеж, 2007), на XI, XII и XIII Международных конференциях по мягким вычислениям и измерениям (Санкт-Петербург, 2008 – 2010г.г.), на 2-ой – 4-ой Российских мультikonференциях по проблемам управления (Санкт-Петербург, 2008, 2010, 2011 г.г.), на Российской конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (Москва, 2010г.), на VII, IX – XII конференциях молодых ученых «Навигация и управление движением» (Санкт-Петербург, 2005, 2007-2010г.г.).

Публикации. По материалам диссертации имеется 16 опубликованных работ, из них 3 статьи в научно-технических журналах («Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика» и «Информационно-управляющие системы», «Известия РАН. Теория и системы управления»), рекомендуемых ВАК Минобразования и науки РФ, 11 докладов и 2 реферата докладов на международных и всероссийских конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников, содержащего 77 наименований, и приложение. Объем работы составляет 138 страниц, включая 40 рисунков и 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы – ее актуальность, научная новизна, практическая ценность и апробация. Формулируются основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе диссертации проводятся особенности разработки и организации средств диагностирования в навигационных системах. При этом отмечается, что диагностированию подлежат как аппаратурные, так и информационные отказы, что средства диагностирования организуются и разрабатываются на основе иерархического многоуровневого подхода, обозначается место средств ФД среди прочих применяемых средств. Кроме того, в первом разделе приводится аналитический обзор работ в области ФД динамических систем, где обсуждаются известные современные подходы, среди которых детерминированный, стохастический и нечеткий, обсуждаются условия применимости для каждого из подходов.

Во втором разделе приводится постановка задачи и основные положения метода ФД динамических систем с использованием нечеткого анализа.

В работе вводится понятие нечеткого технического состояния объекта по параметру Θ как лингвистической переменной, характеризующейся, например, двумя термами (нечеткими множествами) – работоспособное и неработоспособное технические состояния, которые описываются соответствующими функциями принадлежности μ_i^0 и μ_i^1 . В результате при любом значении определяющего параметра $\Theta = \Theta'$ техническое состояние объекта может быть соотнесено как с нечетким множеством работоспособных, так и с нечетким множеством неработоспособных состояний. В настоящей работе рассмотрение ограничено использованием трапециидальных функций принадлежности:

$$\mu_i^0 = \begin{cases} 1, & 0 \leq \Theta_i \leq a, \\ \frac{b - \Theta_i}{b - a}, & a \leq \Theta_i \leq b, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad \mu_i^1 = \begin{cases} 0, & 0 \leq \Theta_i \leq a, \\ \frac{\Theta_i - a}{b - a}, & a \leq \Theta_i \leq b, \\ 1, & \text{иначе} \end{cases}$$

Задача ФД динамических систем рассматривалась в диссертации в следующей постановке.

1. Объектом диагностирования является стационарная, устойчивая линейная

$$\dot{x}(t) = F(\Theta)x(t) + G(\Theta)u(t), \quad y(t) = Hx(t) \quad (1)$$

или нелинейная

$$\dot{x}(t) = \varphi(x(t), u(t), \Theta), \quad y(t) = Hx(t)$$

динамическая система, где x – n -мерный вектор состояния, u – m – мерный вектор входа, y – p – мерный вектор выхода, F – $n \times n$ – матрица динамики, G – входная $n \times m$ – матрица, H – выходная $p \times n$ – матрица, φ - функция динамики, Θ - вектор параметров.

2. Структура средств диагностирования включает банк наблюдателей состояния, каждый из которых настроен на конкретное техническое состояние или переход между техническими состояниями.

3. Наблюдатели состояния описываются уравнениями для линейных систем

$$\dot{x}_i^*(t) = F_i^*x_i^*(t) + G_i^*u(t) + L_i(y - y_i^*), \quad i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

для нелинейных систем

$$\dot{x}_i^*(t) = \varphi_i(x_i^*(t), u(t)) + L_i(y - y_i^*), \quad i = \overline{1, N}.$$

4. Класс отказов: аппаратные отказы элементов системы.

5. Модели отказов: отказы скачкообразного и перемежающегося видов, например, для линейной системы

в пространстве сигналов

$$\dot{x}(t) = Fx(t) + Gu(t) + \delta, \quad y(t) = Hx(t),$$

в пространстве параметров

$$\dot{x}(t) = F(\Theta + \Delta\Theta)x(t) + G(\Theta + \Delta\Theta)u(t), \quad y(t) = Hx(t).$$

6. Нечеткие характеристики модели системы диагностирования – нечеткие множества невязок $\mu_{v_i}^0$ и $\mu_{v_i}^1$ $i = \overline{0, N}$. и отказов $\mu_{\delta_i}^0$ и

$\mu_{\delta_i}^1$ $i = \overline{1, N}$.

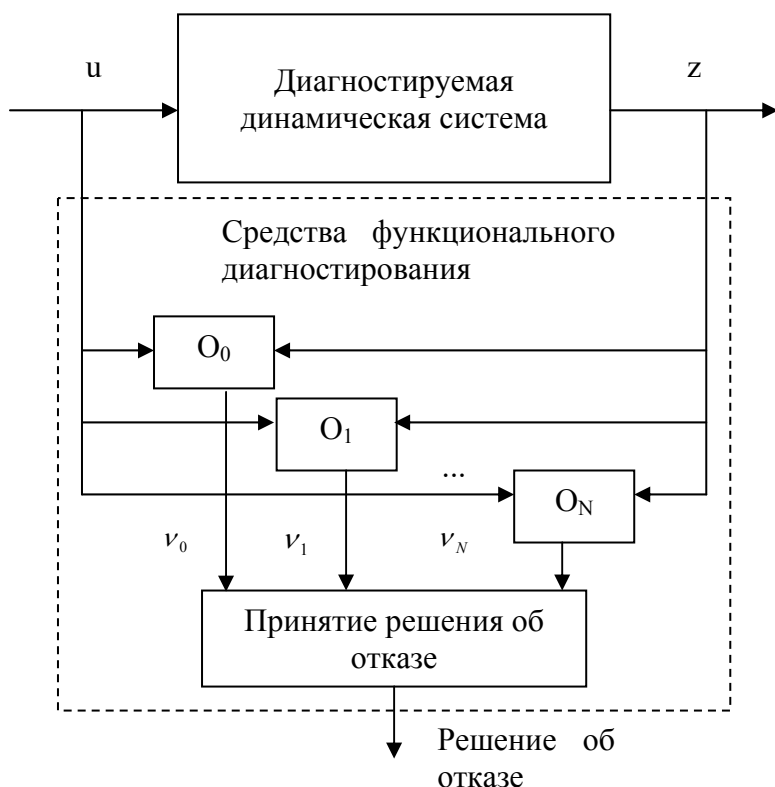


Рис. 1. Структура системы диагностирования.

используется банк независимых наблюдателей O_i ($i = \overline{0, N}$) (рис. 1), а решение принимается в результате нечеткого анализа невязок. В работе предполагается, что в рассматриваемой модели системы отсутствуют возмущения и что процедуры построения устойчивых наблюдателей известны.

Правило принятия решения об отказе основано на определяемом понятии коэффициента уверенности K_i в i -м техническом состоянии. Оно требует достижения заданного уровня A коэффициентом уверенности K_i для доминирующего по значению этого коэффициента технического состояния, т.е. должно выполняться

$$K^* = \max_i \{K_i\} \geq A. \quad (3)$$

Процедура вычисления коэффициентов уверенности опирается на две группы параметров, определяющих техническое состояние динамической системы, – невязки v_i $i = \overline{0, N}$, формируемые при сопоставлении выходов системы с выходами наблюдателей, а также оценки уровней отказов

В диссертации предлагается и исследуется ряд структур средств ФД, различающихся организацией используемого банка наблюдателей и правилами принятия решений. Предлагаемые структуры сопоставляются с известным и наиболее распространенным вариантом построения средств ФД, когда

$\hat{\delta}_i, \hat{\Delta}_i \quad i = \overline{0, N}$ при диагностировании в пространстве сигналов и параметров соответственно. Предполагается, что невязка $v_i \quad i = \overline{0, N}$, формируемая при сопоставлении выходов системы и i -го наблюдателя, может быть представлена лингвистической переменной, например, с двумя термами – «малая» и «большая», для которых заданы функции принадлежности $\mu_{v_i}^0$ и $\mu_{v_i}^1 \quad i = \overline{0, N}$.

Терм «малая» соответствует ситуации, когда модель, использованная при синтезе наблюдателя, адекватна текущему техническому состоянию диагностируемой системы. Появление хотя и малого, но не нулевого значения этой невязки объясняется переходными процессами, сопровождающими оценивание, отсутствием на практике полной адекватности используемой при синтезе наблюдателя модели диагностируемой системы, неучтенными возмущениями ее динамики или выхода. Терм «большая» соответствует ситуации, когда модель, использованная при синтезе наблюдателя, существенно неадекватна текущему техническому состоянию диагностируемой системы. Так бывает, если, например, диагностируемая система находится в i -м техническом состоянии, а наблюдатель настроен на j -е техническое состояние. При этом параметры $\{a_i, b_i \mid i = \overline{0, N}\}$ функций принадлежности определяются равенствами: $a_i = \min_i \{v_i \mid S_j, j \neq i\}$, $b_i = \max_i \{v_i \mid S_j, j = i\}$.

В отношении переменных $\hat{\delta}_i, \hat{\Delta}_i \quad i = \overline{0, N}$, моделирующих отказ, будем также предполагать, что они описывается лингвистическими переменными с двумя термами – «работоспособно» и «неработоспособно», для которых заданы соответствующие функции принадлежности $\mu_{\hat{\delta}_i}^0$ и $\mu_{\hat{\delta}_i}^1 \quad i = \overline{1, N}$ или $\mu_{\hat{\Delta}_i}^0$ и $\mu_{\hat{\Delta}_i}^1 \quad i = \overline{1, N}$.

Для получения коэффициентов уверенности $\{K_i \mid i = \overline{0, N}\}$ предварительно определяются характеристики, которые названы обобщенными степенями

принадлежности $\{\tilde{\mu}_i | i = \overline{0, N}\}$ технического состояния диагностируемой системы к каждому из возможных нечетких технических состояний. Эти характеристики обобщают информацию о техническом состоянии системы по всем наблюдателям и формируются на основе множеств значений $\{v_i | i = \overline{0, N}\}$. Значение обобщенной степени принадлежности $\tilde{\mu}_i$ формируется в соответствии со следующим выражением:

$$\tilde{\mu}_i = \mu_{v_i}^0 \mu_{\delta_i}^1 \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \mu_{v_j}^1.$$

Объяснение этого выражения очевидно. Действительно, наблюдатель, адекватный техническому состоянию системы, будет формировать малую невязку, остальные же наблюдатели – большую. При этом говорить о соответствующем отказе можно лишь в том случае, когда величина δ_i – большая. Пока исключим из рассмотрения ситуации, когда среди рассматриваемых отказов присутствуют эквивалентные или малоразличимые.

Далее коэффициент уверенности K_i для каждого технического состояния S_i вычисляется по правилу «весовых коэффициентов» путем определения вклада обобщенной степени принадлежности $\tilde{\mu}_i$ в сумму этих степеней для всех состояний:

$$K_i = \frac{\tilde{\mu}_i}{\sum_{j=0}^N \tilde{\mu}_j}.$$

В третьем разделе рассмотрены два частных, но наиболее широко распространенных на практике случая ФД – ФД в пространстве сигналов и ФД в пространстве параметров.

При диагностировании в пространстве сигналов число типов N однократных отказов равно размерности n вектора состояния диагностируемой системы. Первый тип моделируется дополнительным слагаемым в первом уравнении динамики для первой компоненты вектора x , второй тип – во втором уравнении для первой компоненты вектора x и т.д.

Отказы внутри типа различаются уровнем слагаемого δ . При этом вектор x_i^* состояния наблюдателя O_i ($i = \overline{0, N}$) образуется путем добавления в вектор x состояния диагностируемой системы переменной δ_i , моделирующей отказ, т.е. $x_i^{*T} = [x^T \delta_i^T]$. Причем с учетом предположения о постоянстве значения δ_i уравнение для нее имеет вид: $\dot{\delta}_i = 0$. При этом если в диагностируемой системе в процессе работы возникает i -й отказ, то в наблюдателе формируется оценка этого составного вектора, в том числе формируется и оценка $\hat{\delta}_i$ значения переменной δ_i .

В диссертации анализируются различные способы взаимодействия наблюдателей при диагностировании. Под этим понимаются способы формирования оценки вектора состояния системы в каждом из наблюдателей. Если она формируется автономно в соответствии с уравнениями (2) и рис. 1, то говорим о независимых наблюдателях и рассматриваем получаемые оценки как условные к некоторому техническому состоянию. Если при формировании оценки учитываются также и оценки, получаемые в других наблюдателях, то говорим о взаимодействующих наблюдателях. Далее рассматриваются два алгоритма диагностирования, предполагающие использование банка взаимодействующих наблюдателей. При этом применяется описанное в предыдущем разделе правило принятия решения об отказе. Как будет показано ниже, в общем случае эффективность рассматриваемых алгоритмов выше, нежели в случае независимых наблюдателей.

Определяющая особенность первого алгоритма заключается в том, что на каждом очередном шаге вычислений каждый из наблюдателей опирается не на автономно сформированную им частную оценку $\hat{x}_i(t)$ вектора состояния, а на оценку состояния $\hat{x}(t)$, полученную в результате осреднения по всем наблюдателям сформированных на предыдущем шаге частных оценок. Причем в качестве весовых коэффициентов при осреднении выступают

текущие значения вычисленных на данном шаге коэффициентов уверенности:

$$\hat{x}(t) = \sum_i K_i \hat{x}_i(t). \quad (4)$$

В результате организуется нелинейная обратная связь по состоянию, и невязка (ошибка оценивания), формируемая адекватным наблюдателем, будет стремиться к нулю, а соответствующий коэффициент уверенности будет возрастать при уменьшении коэффициентов уверенности для других технических состояний. Таким образом, в выражении (4) относительный вес оценки, формируемой в адекватном наблюдателе, будет возрастать. При этом обеспечивается более адекватное техническим состояниям формирование коэффициентов уверенности.

Второй рассматриваемый алгоритм, будучи похожим на предыдущий, отличается от него, прежде всего, тем, что наблюдатели сопоставляются не с техническими состояниями, а с переходами между ними. При этом будем говорить, что наблюдатель настроен на переход $S_i \rightarrow S_j$, если он опирается на оценку состояния, полученную при условии S_i , а синтезирован на основе модели системы в состоянии S_j . При этом среди анализируемых переходов учитываются также и переходы типа $S_i \rightarrow S_i$, т.е. сохраняющие техническое состояние. В результате коэффициенты уверенности (обозначим их $-K_{ij}$), вычисляемые в данном алгоритме по правилу из предыдущего раздела, будут соответствовать не техническим состояниям, а переходам $S_i \rightarrow S_j$ между ними. В связи с этим на каждом шаге для каждого технического состояния S_j необходимо формировать условную к нему оценку $\hat{x}_j(t)$, что будем делать по правилу:

$$\hat{x}_j(t) = \sum_i K_{ij} \hat{x}_i(t).$$

Для принятия решения по правилу (3) должны быть определены коэффициенты уверенности K_i ($i = \overline{0, N}$) и для технических состояний:

$$K_i = \sum_{j=0}^N K_{ij}.$$

Очевидно, что используемый во втором алгоритме анализ поведения диагностируемой системы оказывается более детальным, в связи с чем от этого метода можно ожидать и большей эффективности. Это в общем случае и подтверждают результаты моделирования, приводимые ниже.

Рассмотренные выше алгоритмы применимы при диагностировании в пространстве параметров. Пусть параметр Θ принадлежит к числу диагностируемых. Разделим интервал значений параметра на подынтервалы $\{\Theta_i + \Delta\Theta \mid i = \overline{1, m}\}$. С каждым из подынтервалов соотнесем наблюдатель, основанный на модели системы при значении параметра $\{\Theta_i \mid i = \overline{1, m}\}$. Будем учитывать, что в рассматриваемом случае наблюдатели не формируют оценку величины отказа $\hat{\Lambda}$ непосредственно, однако она может быть получена в соответствии с выражением: $\hat{\Lambda} = \Theta_{i^*} - \Theta_{ном}$, где $i^* = \arg \min_i V_i$, $\Theta_{ном}$ - номинальное значение параметра Θ .

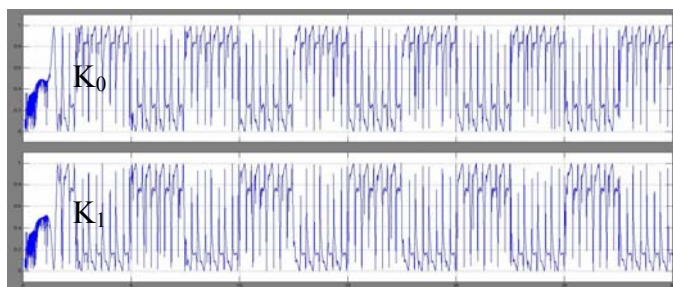
Дополнительно в диссертации исследован случай, когда среди рассматриваемых отказов присутствуют отказы, находящиеся в отношении эквивалентности или доминирования. В этом случае в работе средств диагностирования могут возникать ошибки второго рода (небраковка неисправной системы). Для этого случая предложено уточнение алгоритма диагностирования и правила принятия решения об отказе.

В четвертом разделе диссертации представлены результаты исследования и апробации предлагаемого метода ФД. С его использованием разработаны средства диагностирования платформенной ИНС в составе контрольно-испытательного стенда. В основу стенда были положены следующие принципы:

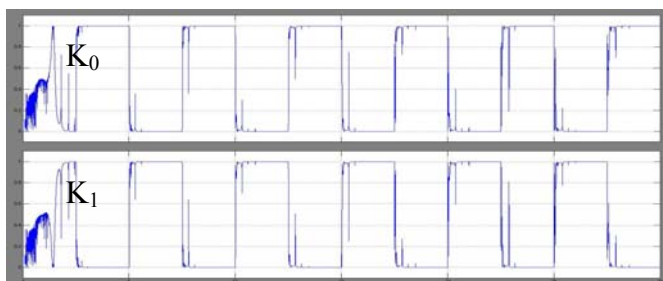
- нечеткое диагностирование аппаратных отказов;
- диагностирование в реальном времени;
- анализ неисправных состояний посредством имитационного моделирования.

Разработка средств диагностирования состояла из трех этапов – разработка моделей для устройств ИНС и средств их диагностирования, исследование работы средств диагностирования путем моделирования в среде Simulink, разработка программ, реализующих средства диагностирования, с последующей апробацией их на практике.

В диссертации приведена разработанная для контура управления гиросtabilизированной платформой ИНС нелинейная математическая модель размерности 13. Нелинейность модели связана с использованием нелинейных описаний для возмущений ИНС (трение, дисбаланс и др.). На основе этой модели был произведен анализ возможных отказов ИНС, в



а)



б)

Рис. 2. Временные диаграммы коэффициентов уверенности в случае независимых (а) и взаимодействующих (б) наблюдателей.

результате которого установлено, что многие из них могут быть смоделированы либо дополнительным слагаемым в уравнении динамики системы, либо отклонениями параметров системы от номинальных значений. Этот факт подтверждает целесообразность принятых в диссертации в качестве базовых постановок задачи – ФД в пространстве сигналов и ФД в пространстве параметров.

На рис. 2 приведен один из результатов моделирования задачи диагностирования контура управления гиросtabilизированной платформой. Здесь представлены временные диаграммы для значений коэффициентов уверенности в случае одиночного перемежающегося отказа в пространстве параметров. Моделировалась последовательность отклонений

величины коэффициента усиления выходного усилителя гироскопа от номинального значения и возвращения к нему. Диагностирование осуществлялось с использованием двух алгоритмов – известного алгоритма на основе независимых наблюдателей и предложенного алгоритма на основе взаимодействующих наблюдателей, соотносимых с техническими состояниями. На вход системы подавался синусоидальный сигнал с амплитудой 0,5. Наибольшую эффективность продемонстрировал второй алгоритм. На рис. 2б приведены соответствующие ему результаты моделирования (коэффициенты уверенности K_0 и K_1 для работоспособного и неработоспособного технических состояний) задачи диагностирования. Видно, что в отличие от случая независимых наблюдателей (рис. 2а) средства диагностирования формируют значения коэффициентов уверенности, адекватные реальным техническим состояниям. Чтобы количественно оценить степень адекватности результатов в обоих случаях, по полученным реализациям были рассчитаны вероятности правильного диагностирования. В результате для метода с независимыми наблюдателями были получено значение $P = 0,09$, а для метода с взаимодействующими наблюдателями - $P = 0,8$. Кроме приведенных характеристик, по результатам моделирования для обоих методов были определены минимальные величины диагностируемых отказов, которые определялись в зависимости от величины входного сигнала. Эти результаты, как и предыдущие, обозначили существенное преимущество предлагаемого метода.

Среди прочих средств диагностирования в состав контрольно-испытательного стенда вошла разработанная автором программная имитационная модель ИНС, предназначенная для формирования эталонных сигналов при контроле ИНС и для исследования чувствительности ИНС к различным отказам. Некоторые результаты этих исследований приведены в диссертации. Исходный текст модели приведен в приложении к диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В настоящей диссертационной работе рассмотрены теоретические и практические аспекты функционального диагностирования навигационных систем. При этом основные результаты состоят в следующем.

1. Предложен метод функционального диагностирования навигационных систем, использующий нечеткие правила анализа и принятия решений об отказе и учитывающий нечеткость границы между работоспособным и неработоспособным техническими состояниями. Метод основан на использовании банка взаимодействующих наблюдателей, соотносимых либо с техническими состояниями системы, либо с переходами между ними.

2. Предложена модификация алгоритма диагностирования и правила принятия решения об отказе в случае, когда отказы НС находятся в отношении эквивалентности или доминирования.

3. Произведено исследование предложенного метода функционального диагностирования с нечеткими правилами анализа и принятия решений об отказе и установлено, что метод сохраняет работоспособность при более низком уровне отказов, нежели известные методы, основанные на независимых наблюдателях.

4. Разработана имитационная программная модель платформенной ИНС, с использованием которой произведено исследование чувствительности наблюдаемых параметров ИНС к возможным отказам.

5. Определена структура средств диагностирования ИНС в составе испытательного стенда и с использованием предложенного метода разработано соответствующее программное обеспечение.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендуемых ВАК

1. Безмен Г.В. Диагностирование систем реального времени / Колесов Н.В., Соколов А.А., Толмачева М.В. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика – 2008 – № 6. – С. 35 – 39.

2. Безмен Г.В., Колесов Н.В. Функциональное диагностирование линейных динамических систем с использованием нечеткого анализа // Информационно-управляющие системы – 2009 – № 6. – С.67 – 73.

3. Безмен Г.В., Колесов Н.В. Функциональное диагностирование динамических систем с использованием нечетких правил анализа и принятия решений об отказе // Известия РАН. Теория и системы управления – 2011 - № 3. – С. 3 – 12.

Публикации в прочих изданиях

4. Безмен Г.В., С.Б.Антонов, Гасников А.И., Глыбин П.С., Котов Р.В. Результаты разработки и практического применения контрольно-испытательной аппаратуры для навигационной системы. // Материалы докладов VII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2006г., С. 206 – 210.

5. Безмен Г.В., Колесов Н.В., Толмачева М.В. Экспертная оболочка для диагностирования навигационных систем //VIII международная конференция «Кибернетика и высокие технологии XXI века». Воронеж 2007 г. С.456 – 464.

6. Безмен Г.В., Толмачева М.В. Специализированная экспертная оболочка для диагностирования навигационных систем Материалы докладов IX конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2007г. С.249-256.

7. Безмен Г.В., Колесов Н.В., Соколов А.А., Толмачева М.В. Экспертная оболочка для диагностирования систем реального времени // XI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, Санкт-Петербург, 2008 г. С. 73 – 76.

8. Безмен Г.В., Колесов Н.В. Функциональное диагностирование динамических систем с использованием модели нечеткого технического состояния // Рефераты 2-й Российской мультиконференции по проблемам управления, 14-16 октября, Санкт-Петербург, 2008 г. С. 34 – 35.

9. Безмен Г.В. Программная модель полуаналитической ИНС для исследования чувствительности по параметрам // Материалы докладов X конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2009г. С.267-272.

10. Безмен Г.В. Функциональное диагностирование динамических систем в пространстве сигналов // Материалы докладов XI конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2010г. С.141-148.

11. Безмен Г.В., Колесов Н.В. Нечеткий алгоритм функционального диагностирования динамических систем // XII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, Санкт-Петербург, 2009 г. С. 193 – 196.

12. Безмен Г.В. Нечеткое функциональное диагностирование нелинейных динамических систем в пространстве параметров / Г.В. Безмен Н.В. Колесов // XIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, Санкт-Петербург, 2010 г., С.202-206.

13. Безмен Г.В. Функциональное диагностирование динамических систем в пространстве параметров // 12 конференция молодых ученых «Навигация и управление движением», СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2011г. С.141-196.

14. Безмен Г.В. Функциональное диагностирование навигационных систем с использованием нечеткого анализа / Безмен Г.В., Колесов Н.В. // Рефераты 3-й Российской мультиконференции по проблемам управления, СПб. – 2010. –С. 41.

15. Безмен Г.В. Функциональное диагностирование динамических систем с использованием нечетких правил принятия решений об отказе /

Безмен Г.В., Колесов Н.В. // Труды Российской конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» СПб. – 2010. –С. 149 – 158.

16. Безмен Г.В., Колесов Н.В. Диагностирование мехатронных систем с учетом эквивалентности и доминирования отказов // Доклады 4-й Российской мультikonференции по проблемам управления, Дивногорск, - 2011. -т.2 С.28-30.