

УДК (004.4'236:004.424.2): 629.78.018

М.А. ЕЛЕНЕВИЧ, И.Б. ТУРКИН

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрены требования к точности данных в системах управления и диагностики двигателей, для обеспечения которых необходимы методы верификации данных. Показано, что для решения практических задач диагностирования авиационных двигателей необходимо построение моделей объектов, содержащих большое количество параметров и ограничений. Показано, что для обеспечения точности моделей объектов необходим переход от неструктурированных недоопределенных моделей к структурным. Доказана целесообразность применения недоопределенных моделей и программирования в ограничениях в решении данной задачи. Сформулированы основные теоретические сведения недоопределенных моделей и методов. Приведены примеры применения данного метода.

Ключевые слова: диагностика двигателя, верификация данных, n-модель, структурная n-модель, HE-фактор, программирование в ограничениях

Введение

В последнее время развитие и совершенствование авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) сопровождается повышением требований к надежности и эффективности бортовых системы контроля и диагностики. Современные ГТД являются сложными комплексными техническими устройствами, которые отличаются многообразием протекающих в них физических процессов и характеризуются многомерностью, многосвязностью, нестационарностью рабочих процессов, влиянием режимов работы и внешних условий на характеристики их функционирования. Данные особенности приводят к формированию устойчивой тенденции в развитии систем автоматизированного управления ГТД, а также бортовых систем контроля и диагностики, характеризующейся постоянным ростом сложности и числа решаемых с их помощью задач. Одной из важных задач является интеллектуализация процессов обработки информации, направленных на повышение эффективности бортовых информационных технологий контроля состояния ГТД. Для решения данной задачи предложено применение недоопределенных моделей (Н-моделей) и, как следствие, переход от неструктурированных Н-моделей к структурным Н-моделям.

1. Анализ исследований и публикаций

Требования высокой эффективности авиационной транспортной системы в целом приводит к росту нагрузки на авиационный ГТД и на его основные

узлы, что негативно сказывается на безопасности полетов [1]. В условиях повышенной нагрузки на узлы и агрегаты ГТД повышение безопасности его функционирования достигается на основе использования стратегии управления эксплуатацией по фактическому техническому состоянию [2].

Бортовые системы контроля и диагностики (БСКД) современных авиационных двигателей постепенно выделяются в самостоятельные системы, обладающие высокой сложностью, многопроцессорностью, способные решать комплексные задачи с высоким качеством и эффективностью в темпе реального времени. Следует отметить и то обстоятельство, что современные БСКД взаимодействуют с системами управления ГТД, позволяя последним, плавно и своевременно воздействуя на исполнительные механизмы, с одной стороны, повышать качество управления авиационным двигателем и его подсистемами, а с другой – повышать надежность ГТД в процессе его эксплуатации.

В БСКД ТВВ Д-27 [3] решаются следующие задачи контроля большого числа параметров двигателя:

- температуры и давления газов за и перед турбиной;
- частоты вращения ротора компрессора низкого и высокого давления;
- работоспособности системы смазки и суфлирования ГТД по предельным значениям параметров маслосистемы двигателя;
- расхода масла по изменению уровня в маслобаке ГТД;
- работоспособности топливной системы ГТД;

- уровня вибраций;
- температуры в полостях двигателя;
- температуры подшипника;
- массового расхода топлива;
- температуры и давления воздуха за компрессором;
- технического состояния проточной части двигателя по его термогазодинамическим параметрам.

В процессе управления эксплуатацией авиационного двигателя как восстанавливаемого сложного технического объекта осуществляется непрерывный мониторинг его параметров для принятия решения о его фактическом состоянии. Известно, что в процессе полёта, блок синхронизации данных осуществляет непрерывную запись и анализ шестидесяти параметров, характеризующих динамику силовой установки летательного аппарата (СУЛА) и около двухсот дискретных параметров [4]. За час полета в бортовую базу данных (БД) записывается более 3500 параметров.

Выделим 2 направления интеллектуализации процессов обработки информации, направленных на повышение эффективности бортовых информационных технологий контроля состояния ГТД [5].

1. Использование нейросетевых методов, которые способны обеспечить повышение качества бортовых алгоритмов контроля параметров ГТД, при этом нейронная сеть используется в качестве математической модели ГТД, полученной в процессе идентификации характеристик авиационного двигателя.

2. Экспертные системы решают задачи автоматизации процедур поддержки оперативного и специального контроля и информационной поддержки проведения полного контроля [6, 7, 8]. Полный контроль зависит от задач проверки и должен проводиться экспертами, которые могут получать информацию от диагностированной системы в виде справок по тем или иным параметрам.

Однако наличие факторов неопределенности, а также необходимость принятия оперативных решений в реальном времени создают дополнительные проблемы в процессе контроля и диагностики в рамках БСКД. В этих условиях достоверность и качество информационных потоков определяет точность диагностирования авиационных двигателей и систем его управления [9], поэтому наряду с классическими подходами и новыми интеллектуальными методами, позволяющими эффективно и качественно осуществлять процесс контроля параметров авиационного двигателя необходим учет так называемых «НЕ-факторов»: неполноты измеряемой информации, шумов измерений, наличия конструктивной, параметрической и экспертной

неопределенности при оценке параметров ГТД и т.д. Термин НЕ-факторы был предложен А.С. Нариньяни [10] для обозначения комплекса свойств, характерных для человеческой модели мира, но плохо представленных в формальных системах (неполнота, неточность, недоопределенность, некорректность и т.п.). Общее имя НЕ-факторы было выбрано в связи с тем, что каждое из этих свойств получило наименование, лексически и содержательно отрицающее одно из традиционных свойств формальных систем - точность, полноту, корректность и т.п.

Наиболее часто встречающимся НЕ-фактором является неточность. Неточное значение есть величина, которая может быть получена с точностью, не превышающей некоторый порог, определенный природой соответствующего параметра.

Другим видом НЕ-факторов является неполнота, которая характеризуется отсутствием необходимой для решения задачи информации. При приобретении знаний неполнота связана, в основном, с тем, что эксперт не знает (не отметил) какой-либо факт, необходимый для решения задачи. В этом случае возможны следующие альтернативы преодоления неполноты: либо проведение нескольких сеансов приобретения знаний с одним экспертом и сравнение результатов, либо привлечение нескольких экспертов и корреляция их мнений.

Нечёткость возникает в случае, когда эксперт пытается количественно охарактеризовать качественные понятия и отношения, которые он использует в своих рассуждениях [11].

Недоопределенное значение является приближительной, но корректной оценкой некоторой реальной величины, более точной по своей природе, чем позволяет нам установить текущую информацию. Таким образом, интервал, представляющий недоопределенное числовое значение, содержит внутри себя представляемую им реальную величину, которая остается пока неизвестной (вернее, известной с точностью до данного интервала) ввиду грубости измерений и/или недостатка информации. При поступлении дополнительных данных недоопределенный интервал может стягиваться, отражая представляемую величину все с большей определенностью. Это означает, что в отличие от неточной переменной, для недоопределенной переменной следует различать два значения: представляемое ею реальное (неизвестное нам) значение-денотат и ее текущее значение, являющееся доступной оценкой этого реального значения.

Применение недоопределённых моделей (Н-моделей) для решения практических задач диагностирования авиационных двигателей связано с построением моделей объектов, имеющих сложную

внутреннюю структуру, для описания которых требуется большое количество параметров и ограничений.

Важнейшим шагом для обеспечения таких возможностей является переход от неструктурированных H -моделей к структурным H -моделям [12]. При этом модель представляется в виде совокупности подмоделей, связанных деревом транзитивных отношений вложенности. Каждая подмодель может включать в себя произвольное число других подмоделей (в том числе, ни одной).

2. Цель исследований

Целью этой статьи является анализ возможности использования программирования в ограничениях как метода автоматической верификации данных в БСКД.

3. Результаты исследований

Основные положения концепции недоопределенности. Способ представления недоопределенного значения влияет как на качество полученных результатов, так и на вид ограничений, связывающих это значение. В зависимости от характера представляемой информации недоопределенные значения могут быть представлены в виде целочисленных и вещественных интервалов, множеств, перечислений и других, более специальных, конструкций [13].

Определение 1. Задачей удовлетворения ограничений называется пара (V, C) , где V — совокупность переменных, принимающих значения из некоторых универсальных множеств (универсумов), а C — совокупность ограничений, связывающих значения переменных из V .

Каждое ограничение из C имеет вид одной из следующих формул:

$$\begin{aligned} y &= x, \\ y &= c, \\ V &= f\{x_i, \dots, x_n\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где x, x_i, y — символы переменных из V ,

c — константный символ,

f — функциональный символ арности n .

Каждому константному символу приписывается некоторая константа из соответствующего универсума, каждому функциональному символу — некоторая функция, действующая на соответствующих универсумах.

Более сложные ограничения распадаются на множество более простых (вышеприведенных видов) после введения дополнительных переменных [14].

Определение 2. Решением задачи удовлетворения ограничений (V, C) называется такое приписывание каждой переменной из V некоторого определенного значения из ее универсума, при котором выполняются все ограничения из C .

В общем случае все точные решения задачи, если таковые существуют, должны лежать в декартовом произведении таких n -значений.

Определение 3. Недоопределенным расширением (n -расширением) универсума X называется любой конечный набор его подмножеств $*X$, содержащий \emptyset , и являющийся замкнутым относительно пересечения.

Под $SD(X)$ будем понимать совокупность всех n -расширений универсума X .

Для задания зависимостей между n -объектами строятся n -расширения функций над ними. Любая функция

$$f : X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m \rightarrow X_{m+1} \quad (2)$$

индуцирует набор функций из $m+1$ функций (одной прямой и m обратных):

$$\forall i \in 1..m+1; \quad (3)$$

$$f_i : P(X_1) \times \dots \times P(X_{i-1}) \times P(X_{i+1}) \times \dots \times P(X_m) \rightarrow P(X_i), \quad (4)$$

где $\forall j \in 1..m+1; P(X_j)$ — множество всех подмножеств X_j .

Определение 4. n -расширение функции f_i , $i = 1, \dots, m+1$, представляет собой функцию:

$$*f_i : *X_1 \times \dots \times *X_{i-1} \times *X_{i+1} \times \dots \times *X_{m+1} \rightarrow *X_i, \quad (5)$$

где $*X_i \in SD(X_i)$, такую, что

$$\begin{aligned} *f_i(\xi_1, \dots, \xi_{i-1}, \xi_{i+1}, \dots, \xi_{m+1}) &= \\ = *f_i(\xi_1, \dots, \xi_{i-1}, \xi_{i+1}, \dots, \xi_{m+1}). \end{aligned} \quad (6)$$

Определение 5. Для вычисления H -модели обобщенная вычислительная модель (n -модель) M состоит из четырех множеств:

$$M = (V, C, W, CORR), \quad (7)$$

где V — множество n -объектов v из заданной предметной области,

C — множество ограничений на n -объектах из V ,

W — множество функций присваивания,

$CORR$ — множество функций проверки корректности.

С каждым объектом из V связаны недоопределенный тип данных, начальное значение, функция присваивания и функция проверки корректности.

Функция присваивания — это двухместная функция, работающая при каждой попытке присваивания очередного значения n -объекту и определяющая его новое значение как пересечение текущего и присваиваемого значений. Функция проверки корректности — это унарный предикат, который проверяет непустоту значения n -объекта.

Интерпретацией ограничения называется вычисление результатов n -расширенных функций (прямой и обратных) на текущих значениях переменных с последующим вызовом функций присваивания и проверки корректности для каждой переменной, входящей в данное ограничение.

Алгоритм вычислений, реализованный в n -моделях, является высокопараллельным процессом, который управляется потоком данных. Изменение значений переменных, располагающихся в общей памяти, автоматически влечет интерпретацию тех ограничений, для которых эти переменные являются аргументами. Процесс останавливается, когда сеть стабилизируется (то есть исполнение ограничений не приводит к изменению объектов n -модели) или хотя бы один из n -объектов становится некорректным. В последнем случае устанавливается противоречивость исходной n -модели.

В работе [15] доказана справедливость следующих утверждений.

Теорема 1. Алгоритм удовлетворения ограничений в n -моделях заканчивает работу за конечное число шагов, а установление противоречивости n -модели не зависит от порядка интерпретации ограничений.

Теорема 2. В случае непротиворечивой n -модели при одних и тех же исходных значениях n -объектов их результирующие значения также не зависят от порядка интерпретации ограничений.

Теорема 3. Если установлена противоречивость n -модели ($V, C, W, CORR$), то задача удовлетворения ограничений (V, C) не имеет решений.

Теорема 4. Любое решение задачи удовлетворения ограничений (V, C) лежит в области выходных значений соответствующих объектов n -модели ($V, C, W, CORR$).

Рассмотрим теперь различные виды недоопределенных расширений произвольного универсума X .

Тривиальное n -расширение $*X = \{\emptyset, X\}$ содержит минимум информации о потенциальном значении объекта: противоречиво оно (\emptyset) или нет (X).

Ниже при рассмотрении других n -расширений $*X$ будем предполагать, что X_0 — конечное подмножество X .

Точное n -расширение $X^{Single} \in SD(X)$ имеет вид:

$$X^{Single} = \{\emptyset, X\} \cup \{\{x\} | x \in X_0\} \quad (8)$$

и добавляет к исходному универсуму X_0 два новых значения: «неопределенно» (X) и «противоречие» (\emptyset).

Очевидно, что для универсума X максимальным n -расширением является множество всех подмножеств $V(X)$. Его можно построить только в слу-

чае конечного X . В общем случае можно ввести перечислимое n -расширение

$$X^{Enum} = X \cup V(X_0) \quad (9)$$

В случае, когда X является решеткой (множеством с определенными на нем ассоциативными и коммутативными операциями, подчиняющимися законам поглощения и идемпотентности), можно задать n -расширения, основанные на интервалах [16] и мультиинтервалах [17]:

$$X^{Interval} = \left\{ \left[\underline{x}, \bar{x} \right] \mid \underline{x}, \bar{x} \in X_0 \cup \{-\infty, +\infty\} \right\},$$

$$X^{Multiinterval} = \left\{ \xi \mid \xi = \bigcup \xi_i, \xi_i \in X^{Interval}, i = 1, 2, \dots \right\}. \quad (10)$$

Структурное n -расширение основано на универсуме, заданном в виде декартова произведения множеств: $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$. Как и к любому множеству, к нему применимы n -расширения X^{Single} и X^{Enum} . Более того, если каждый из X_i является решеткой, то X тоже является решеткой (как декартово произведение решеток), поэтому к X применимы также n -расширения $X^{Interval}$ и $X^{Multiinterval}$.

Некоторые свойства обычных операций существенно меняются в соответствующих недоопределенных расширениях. Пусть в качестве N -расширения множества чисел рассматривается N -расширение Interval, а соответствующие N -расширения операций минус ($*-$) и плюс ($*+$) определены согласно известным правилам интервальной арифметики. Таким образом, N -расширение унарного минуса имеет вид

$$*- : [a^{Lo}, a^{Up}] = [-a^{Up}, -a^{Lo}], \quad (11)$$

а N -расширение сложения ($a = b *+ c$) вычисляется следующим образом:

$$*+ : [a^{Lo}, a^{Up}] = [b^{Lo} + c^{Lo}, b^{Up} + c^{Up}]. \quad (12)$$

В таком случае, N -расширение выражения (11) имеет следующий вид:

$$[a^{Lo}, a^{Up}] *+ (*-[a^{Lo}, a^{Up}]) = [a^{Lo}, a^{Up}] *+ [-a^{Up}, -a^{Lo}] = [a^{Lo} + (-a^{Up}), a^{Up} + (-a^{Lo})] = [a^{Lo} - a^{Up}, a^{Up} - a^{Lo}]. \quad (13)$$

Достаточно очевидно, что когда нижняя и верхняя границы N -числа не совпадают (т.е. число недоопределено), интервал $[a^{Lo} - a^{Up}, a^{Up} - a^{Lo}]$ всего лишь содержит нулевой элемент, но не равен в точности ему.

Такое изменение свойства унарного минуса приводит к тому, что закон дистрибутивности для обычных аддитивных и мультипликативных операций переходит в так называемый закон субдистрибутивности:

$$*\alpha * \times (*\beta *+ *\gamma) \subseteq *\alpha * \times *\beta *+ *\alpha * \times *\gamma. \quad (14)$$

Из сказанного выше можно сделать вывод, что в N -моделях существенно то, в каком виде представлены условия задачи: какие N -расширения выбраны для переменных и каким образом представлены ограничения (уравнения и неравенства).

Пример применения недоопределенных моделей и программирования в ограничениях.

При решении задачи с использованием недоопределенных моделей необходимо определить множество n -объектов из заданной предметной области и множество ограничений на n -объектах на этих объектах.

В отличие от известных подходов в работе предложено использовать недоопределенные модели и программирование в ограничениях для автоматической верификации данных в системах УДД.

Приведем примеры использования методов программирования в ограничениях.

Пусть требуется найти решение системы из двух линейных уравнений с двумя неизвестными:

$$y = x - 1; \quad (F_1)$$

$$2 * y = 3 * (2 - x). \quad (F_2)$$

Каждое уравнение можно рассматривать как неявную функцию (F_1 и F_2) от двух переменных (x и y). Графики этих функций изображены на рис. 1.

Предположим, что известна начальная оценка значения переменной x : где-то между -1 и 4 (такую оценку можно рассматривать как интервал $[-1, 4]$).

Идея недоопределенных вычислений состоит в том, что по текущей оценке поочередно вычисляются проекции функций F_1 и F_2 на x и y . Например, проекция F_1 на y для x равно $[-1, 4]$ равняется интервалу $[-2, 3]$.

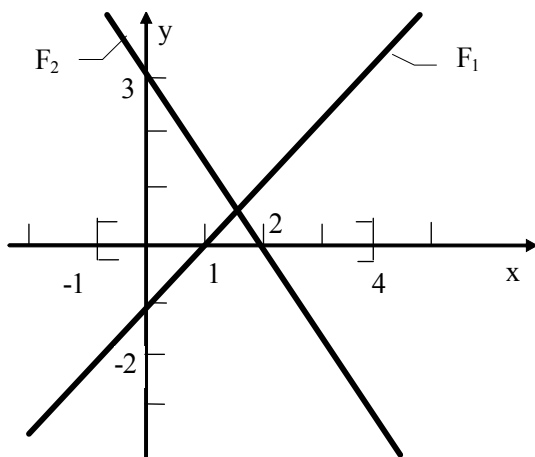


Рис. 1. Графики функций F_1 и F_2

Теперь, если по y вычислять проекцию F_2 на x , то получим новое значение x равно интервалу $[0, 10/3]$ (рис. 2).

Продолжая этот процесс мы постепенно приближаемся к искомому решению.

На рис. 3 показаны две спирали, которые показывают, каким образом мы приближаемся к решению снизу и сверху, соответственно.

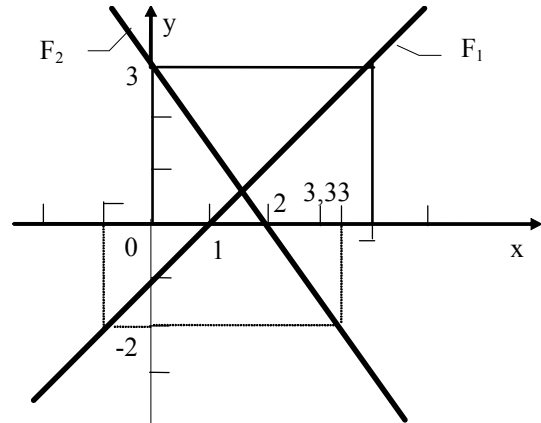


Рис. 2. Проекция F_2 на y

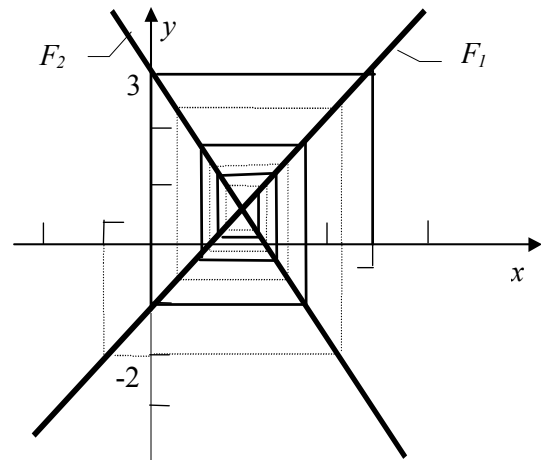


Рис. 3. Спирали

Стоит отметить, что параметры реальных задач всегда имеют начальные оценки их значений, поскольку даже в тех случаях, когда решающий задачу затрудняется в определении исходных ограничений на область значений того или иного числового параметра, оценка его значения от минус до плюс бесконечности будет представлена в машине конкретными числами.

Таким образом, в нашем примере в общем случае одновременно будут закручиваться четыре спирали - две от x и две от y .

Рассмотрим еще один пример, основанный на первом законе Кирхгофа: «Алгебраическая сумма токов в любом узле любой цепи равна нулю».

В результате измерений было получено:

$$I_1 = 3 \pm 0,1 \text{ A};$$

$$I_2 = -2,15 \pm 0,1 \text{ A};$$

$$I_3 = -1 \pm 0,1 \text{ A}.$$

Проведем итерации по сужению интервалов недоопределенности (табл. 1).

В процессе 2-й итерации изменений не последовало. Отсюда получаем систему ограничений для заданных условий:

Таблица 1

Итерации по сужению интервалов

№	Расчетный элемент	I1	I2	I3
0	Начальные условия	2,9 ÷ 3,1	- 2,25 ÷ - 2,05	- 1,1 ÷ - 0,9
1	I1	2,95 ÷ 3,1	- 2,25 ÷ - 2,05	- 1,1 ÷ - 0,9
	I2	2,95 ÷ 3,1	-2,05 ÷ -2,2	- 1,1 ÷ - 0,9
	I3	2,95 ÷ 3,1	-2,05 ÷ -2,2	0,9 ÷ 1,05
2	I1	2,95 ÷ 3,1	- 2,25 ÷ - 2,05	- 1,1 ÷ - 0,9
	I2	2,95 ÷ 3,1	2,05 ÷ 2,2	- 1,1 ÷ - 0,9
	I3	2,95 ÷ 3,1	2,05 ÷ 2,2	0,9 ÷ 1,05

$$I_1 = 2,95 \div 3,1 \text{ A,}$$

$$I_2 = 2,05 \div 2,2 \text{ A,}$$

$$I_3 = 0,9 \div 1,05 \text{ A.}$$

Таким образом, в данном примере за счет использования избыточности получено уточнение данных – уменьшение их недоопределенности.

Несложно представить ситуацию, когда система не содержит решения. Например,

$$I_1 = 3,2 \pm 0,1 \text{ A;}$$

$$I_2 = - 2,15 \pm 0,1 \text{ A;}$$

$$I_3 = - 1 \pm 0,1 \text{ A.}$$

Тогда все три переменные должны быть помечены как неудовлетворительные.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку прототипа ПО, реализующего предложенный метод автоматической верификации данных в системах управления и диагностики двигателей и доказательство его эффективности.

Выводы

В настоящее время сформировалась устойчивая тенденция в развитии систем автоматизированного управления ГДТ, а также бортовых систем контроля и диагностики, характеризующаяся постоянным ростом требований к точности измеряемых параметров и данных. Наличие факторов неопределенности, а также необходимость принятия оперативных решений в реальном времени создают дополнительные проблемы в процессе контроля и диагностики в рамках БСКД, в условиях чего достоверность и качество информационных потоков определяет точность диагностирования авиационных двигателей и систем его управления. Наряду с классическими подходами и новыми интеллектуальными методами, предложено применение недоопределенных моделей и методов программирования в ограничениях для решения задачи учета «НЕ-факторов» в БСКД и повышения точности данных.

Литература

1. Надежность, диагностика, контроль авиационных двигателей [Текст] / В.Т. Шепель,

М.Л. Кузьменко, С. В. Сарычев и др. – Рыбинск : РГАТА, 2001. – 351 с.

2. Епифанов, С.В. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей [Текст] / С.В. Епифанов, Б.И. Кузнецов, И.Н. Богаченко. – К. : Техника – 1998. – 312 с.

3. Жернаков, С. В. Алгоритмы контроля и диагностики авиационного ГТД в условиях бортовой реализации на основе технологии нейронных сетей [Текст] / С.В. Жерников // Авиационная и ракетно-космическая техника. – 2010. – Т. 14, № 3 (38). – С. 42 – 56.

4. Жернаков, С.В. Парирование отказов датчиков газотурбинных двигателей с помощью нейронных сетей [Текст] / С.В. Жернаков, И.И. Муслухов // Вычислительная техника и новые информационные технологии. – 2003. – № 3. – С. 35 – 41.

5. Дубровин, В.И. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей [Текст] / В.И. Дубровин. – Запорожье: Мотор – Сич, 2003. – 279 с.

6. Экспертная система контроля и документирования в авиации [Текст] / В.И. Волчихин, Д.В. Пащенко, Н.Н. Коннов, А.Н. Токарев // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: Международная науч.-техн. конф., Пенза, 22–24 апр., 2007, – Пенза, 2007. – С. 170 – 175.

7. Кузнецов, Н. Принципы построения экспертной системы инженерного обеспечения технической эксплуатации силовых установок самолета [Текст] / Н. Кузнецов // Proceedings 6th International Conference "Reliability and statistics in transportation and communication. Session 4. Reliability in Application. – 2006. – P. 200 – 208.

8. Пащенко, Д.В. Организация хранимой информации в авиационной диагностической системе [Текст] / Д.В. Пащенко // Проблемы, автоматизации и управления в технических системах: Международная науч.-техн. конф., Пенза, 22-24 апр., 2007. – Пенза, 2007. – С. 58 – 60.

9. Кузьмичева, А.О. Формирование информационных потоков, используемых для управления и диагностирования авиационных ГТД [Текст] / А.О. Кузьмичева, Н.С. Мельникова, В.Б. Коротков // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 2. – С. 189 – 192.

10. Нариньяни, А.С. Недоопределенные модели

и операции с недоопределенными значениями [Текст] / А.С. Нариньяни. – Препринт ВЦ СО АН СССР, N 400, 1982.

11. Новак, В. Математические принципы нечеткой логики. [Текст] / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с.

12. Гофман, И.Д. Структурные модели планов в интеллектуальной системе управления проектами [Текст] / Д.А. Инишев, Д.А. Шурбаков // Time-EX, 9-я национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ'2004. – М.: Физматлит, 2004. – С. 67 – 71.

13. Нариньяни, А.С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний [Текст] / А.С. Нариньяни // Изв. АН СССР, Техниче-

ская кибернетика. – 1986. – № 5. – С. 3 – 28.

14. ISO/IEC 13211-1:1995. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к стандарту: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue.htm. – 11.05.2012 г.

15. Телерман, В.В. Удовлетворение ограничений в задачах математического программирования [Текст] / В.В. Телерман, Д.М. Ушаков // Вычислительные технологии. – 1998. – Т. 3, N 2. – С. 45 – 54.

16. Шокин, Ю.И. Интервальный анализ [Текст] / Ю.И. Шокин. – Н-ск: Наука, 1981. – 125 с.

17. Яковлев, А.Г. Компьютерная арифметика мультиинтервалов [Текст] / А.Г. Яковлев // Пробл. кибернетики. Проблемно-ориентированные вычисл. системы. – 1987. – С. 66–81.

Поступила в редакцию 1.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. зав. каф. экономико-математического моделирования В.М. Вартамян, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АВТОМАТИЧНА ВЕРИФІКАЦІЯ ДАНИХ В БОРТОВИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

М.О. Єленевич, І.Б. Туркін

Розглянуто вимоги до точності даних в системах управління і діагностики двигунів, для забезпечення яких необхідні методи верифікації даних. Показано, що для вирішення практичних задач діагностування авіаційних двигунів необхідна побудова моделей об'єктів, що містять велику кількість параметрів і обмежень. Показано, що для забезпечення точності моделей об'єктів необхідний перехід від неструктурованих недовизначених моделей до структурованих. Доведено необхідність застосування недовизначених моделей і програмування в обмеженнях у вирішенні даного питання. Сформульовано основні теоретичні відомості недовизначених моделей і методів. Наведено приклади застосування даного методу.

Ключові слова: діагностика двигунів, верифікація даних, n-модель, структурована n-модель, не-фактор, програмування в обмеженнях.

AUTOMATIC DATA VERIFICATION IN THE BOARD DIAGNOSTIC AND CONTROL SYSTEMS OF THE AIRCRAFT ENGINES

M.O. Ielenevych, I.B. Turkin

The requirements for the data accuracy in systems for management and diagnostic of the engines, which require data verification methods, are considered. The existent methods of the data verification in systems for management and diagnostic of the engines are considered. It is shown, that for the solution of practical problems of diagnosis of aircraft engines it is necessary to create models of the objects with large number of parameters and constraints. It is shown, that it requires a transition from unstructured to structured models of underdetermined to ensure the accuracy of object models. The necessity of using the n-models and constraint programming in the decision of this task is well-proven. Basic theoretical information of the n-models and methods are formulated. The examples of application of this method are resulted.

Keywords: engine diagnostic, data verification, n-model, structural n-model, no-factor, constraint programming.

Єленевич Марія Александровна – аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний аэрокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків, Україна, e-mail: mari.yelen@rambler.ru

Туркін Ігорь Борисович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний аэрокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків, Україна, e-mail: nikrutrogi@mail.ru