



УДК 512.2

А. В. Васильев, Н. А. Жукова

Методы оценивания информативности результатов опытной эксплуатации сложных многопараметрических объектов в условиях неопределенности

Предлагается метод оценивания информативности результатов испытательных работ, реализуемых на этапе опытной эксплуатации сложных технических объектов, в условиях различного уровня неопределенности информации о параметрах объектов и степени их влияния на оценку информативности работы в целом.

Интеллектуальный анализ данных, символьное представление, телеметрические параметры

Эксплуатация сложных технических объектов сопровождается непрерывным контролем, осуществляемым на основе обработки и анализа передаваемой с объектов телеметрической информации (ТМИ) [1]. С помощью анализа телеметрической информации решается широкий круг задач, включающий задачи исследования поведения телеметрируемого объекта, определения его технического состояния, а также локализации возникающих неисправностей. К группе задач исследования поведения объекта относятся определение характеристик и идентификация объекта. В набор определяемых по ТМИ характеристик входят в том числе характеристики, определяющие основные функциональные и технические возможности объекта. Ценность телеметрической информации определяется объектом, функциональные возможности которого она раскрывает.

В области эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ) имеет большое значение определение информативности, полученной в ходе проведенных пусков объектов различных типов. В связи с высокой сложностью объектов РКТ они характеризуются большим количеством разнородных плохо формализуемых параметров, имеющих различную информационную ценность. Оценка информативности ТМИ, полученной в результате проведения пуска, на основе совокупности заре-

гистрированных параметров без использования специализированных методов и средств требует существенных временных затрат и может привести к формированию ошибочных результатов. Дополнительная сложность, возникающая при оценке информативности пусков РКТ, связана с отсутствием методов и алгоритмов определения информативности отдельных параметров. Оценки одной ТМИ, получаемые разными экспертами, могут существенно различаться, при этом ни один из результатов не может считаться обоснованным, поскольку построен на экспертных знаниях – нечетких и, как следствие, плохо формализуемых.

В статье предлагается метод оценивания информативности результатов пусков РКТ, реализуемых на этапе их опытной эксплуатации, в условиях различного уровня неопределенности информации о параметрах объектов и степени их влияния на оценку информативности пуска в целом.

Анализ состава и характеристик параметров, получаемых в результате проведения пуска. Оценка информативности пусков РКТ может проводиться на различных этапах испытаний. Так, может оцениваться информативность планируемого испытания, при этом полученные результаты сравниваются с ранее накопленными характеристиками информативности, что позволяет

выделить составляющие показатели испытываемого образца РКТ, наиболее важные для общей оценки результатов испытаний, и правильно поставить задачу персоналу на предстоящий пуск.

Оценка результатов проведенных испытаний с точки зрения интегральной характеристики информативности позволяет определить степень реализации задач пуска и дополнить общую статистику информационного обеспечения испытаний. Такие интегральные оценки информативности также позволяют корректно спланировать задачи последующих испытаний для повышения значимости планируемого испытания. Так, мало-значительные для общей оценки характеристик объекта испытаний показатели информативности могут быть исключены из целей предстоящего испытания, а наиболее ценным показателям может быть уделено дополнительное внимание.

Показателями информативности могут, например, служить:

- 1) тип ракеты;
- 2) цель полета (испытание вооружений или вывод полезной нагрузки);
- 3) количество ранее проведенных испытаний подобных ракет;
- 4) является ли данная ракета самостоятельной разработкой или модернизацией существующего типа;
- 5) наличие нового типа бортовой аппаратуры ТМИ;
- 6) отличие циклограммы полета ракеты от типовой;
- 7) отличие реализованной траектории полета от типовой;
- 8) отличие района запуска от типового;
- 9) отличие района прицеливания от типового;
- 10) отличие времен отделения ступеней от типового;
- 11) факт отработки модернизированного оснащения;
- 12) факт отработки модернизированных ступеней;
- 13) наличие аварийной ситуации на борту;
- 14) объем и качество полученной измерительной информации.

Состав показателей может меняться и дополняться в зависимости от хода испытаний и их конкретных текущих задач.

Получив характеристики интегральной информативности планируемого испытания и проведя сравнение ее с оценками ранее проведенных

пусков, становится возможно корректировать программы испытания с целью исключения задач, получение результатов по которым мало изменит общие оценки характеристик испытываемого образца РКТ. Это позволит снизить материальные и людские затраты на проведение дорогостоящих летных испытаний РКТ и повысит общую эффективность этого этапа создания новых образцов.

Обобщенный метод оценивания информативности результатов (ИР) опытной эксплуатации сложных многопараметрических объектов в условиях неопределенности. В соответствии с типовыми ситуациями, возникающими при решении практических задач, выделяют три уровня неопределенности:

– первый уровень соответствует наличию у эксперта предметной области информации о составе параметров, характеризующих объект испытаний, информативности параметров, значениях всех параметров объектов, полученных в результате проведения испытательных работ;

– второй уровень говорит о наличии информации о составе параметров, характеризующих объект испытаний, их информативности и значениях, полученных при выполнении работ, при этом степень влияния отдельных параметров на формируемый результат четко не определена;

– третий уровень свидетельствует только о наличии информации о составе параметров и их значениях. Данные об информативности параметров и степени их влияния на информативность пуска отсутствуют.

Для каждого уровня неопределенности предлагается применять специализированный алгоритм, учитывающий объем информации, имеющийся у эксперта соответствующего уровня.

Метод оценки информативности результатов опытной эксплуатации в условиях наличия полной информации о результатах проведенных работ. При наличии полной информации о результатах испытательных работ и степени информативности отдельных параметров для оценки работы в целом достаточно учесть имеющиеся данные.

Метод 1. Метод оценки информативности результатов опытной эксплуатации в условиях наличия полной информации.

Вход: $K = k_1, \dots, k_n$ – множество параметров объектов испытаний; $V = v_1, \dots, v_n$ – весовые коэффициенты параметров объектов; $O = o_1, \dots, o_m$ – множество объектов испытаний; $Q = \{q_{ij}\}$, $i = 0, \dots, m$, $j = 0, \dots, n$ – значения параметров объектов.

Выход: $I = \{i_i\}$, $i = 0, \dots, m$ – показатели информативности работ.

1: для $i = 1$ до n

2: $V' \leftarrow$ выполнить нормализацию весовых коэффициентов

$Q' \leftarrow$ выполнить нормализацию значений параметров

3: для $i = 1$ до m

4: вычислить информативность каждой из работ в соответствии с выражением

$$I_j = \sum_1^n Q_{ij} \times V_i$$

5: выполнить ранжирование работ в соответствии с информативностью I

Входные данные, необходимые для работы метода, представлены в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Перечень испытательных работ	Перечень параметров объекта испытаний							Показатель информативности испытательной работы	
	K_1	K_2	K_3	...	K_i	...	K_{n-1}		K_n
	Показатели информативности (весовые коэффициенты) параметров								
	V_1	V_2	V_3	...	V_i	...	...	V_n	
ИР 1 / Объект 1	Q_{11}	Q_{21}	Q_{31}	...	Q_{i1}	...	...	Q_{n1}	I_1
ИР 2 / Объект 2	Q_{12}	Q_{22}	Q_{32}	...	Q_{i2}	...	...	Q_{n2}	I_2
ИР 3 / Объект 3	Q_{13}	Q_{23}	Q_{33}	...	Q_{i3}	...	...	Q_{n3}	I_3
...									
ИР K / Объект K	Q_{1j}	Q_{2j}	Q_{3j}	...	Q_{ij}	...	...	Q_{nj}	I_j
...									
ИР M / Объект M	Q_{1m}	Q_{2m}	Q_{3m}	...	Q_{im}	...	...	Q_{nv}	I_m

В таблице используются следующие основные обозначения: K_i – i -й параметр объекта испытаний; V_i – показатель информативности (весовые коэффициенты) i -го параметра объекта испытаний; Q_{i1} – значение i -го параметра j -го объекта испытаний, полученного при проведении j -й работы. При определении набора параметров объектов предусматривается возможность указать выделенные параметры K^* . Когда значение выделенного параметра равно единице, показателю информативности работы присваивается максимальное значение.

Метод предполагает выполнение трех основных этапов – нормирование исходных данных, задаваемых пользователем; вычисление информативности работ; ранжирование выполненных работ в соответствии с их информативностью.

Метод оценки ИР опытной эксплуатации в условиях отсутствия части информации о результатах проведенных работ. При отсутствии информации о степени влияния отдельных параметров на формируемый результат необходимо решить задачу определения функциональной зависимости значений каждого параметра и информативности результатов работ. Функциональные зависимости строятся для каждого параметра и представляются в виде отдельных показателей, описывающих их поведение.

Отдельный показатель g_i , описывающий параметр k_i , представляет собой невозрастающую или неубывающую функцию $g_i = g_i(k_i)$, $i = 1, \dots, m$. Отдельный показатель g_i характеризует степень проявления оцениваемого i -го отдельного параметра у объектов. При этом значение $g_i^{(j)} = g_i(k_i^{(j)}) = 0$ указывает на полное отсутствие проявления i -го параметра j -го объекта и, как следствие, параметр не оказывает влияния на информативность j -й работы, а значение $g_i^{(j)} = g_i(k_i^{(j)}) = 1$ – на максимально возможное проявление данного параметра у j -го объекта. Для задания функции $g_i = g_i(k_i)$ эксперт определяет значения MIN_i и MAX_i параметра k_i , указывающие верхние и нижние границы областей, в которых отдельный показатель q_i принимает значения 0 или 1 соответственно, а также определяет вид функции $g_i(k_i)$. Для описания отдельных показателей рекомендуется использовать степенную функцию, в этом случае эксперт указывает степень функции P_i , задающую направление и степень вогнутости функции $g_i(k_i)$ на отрезке $[\text{MIN}_i, \text{MAX}_i]$. Для работы с бинарными и качественными параметрами объектов формируется единая порядковая шкала, к которой приводятся значения всех параметров.

Далее приводится описание метода оценки информативности результатов опытной эксплуатации в условиях отсутствия части информации, основанного на формировании отдельных показателей для параметров объектов.

Метод 2. Метод оценки информативности результатов опытной эксплуатации в условиях отсутствия части информации.

Вход: $K = k_1, \dots, k_n$ – множество параметров объектов испытаний; $V = v_1, \dots, v_n$ – весовые коэффициенты параметров объектов; $O = o_1, \dots, o_m$ – множество объектов испытаний; $Q = \{q_{ij}\}$, $i = 0, \dots, m$, $j = 0, \dots, n$ – значения параметров объектов.

Выход: $I = \{i_i\}$, $i = 0, \dots, m$ – показатели информативности работ.

- 1: для $i = 1$ до
- 2: определить $g_i(k_i)$
- 3: для $i = 1$ до n
- 4: для $i = 1$ до m
- 5: если значение q_{ij} не определено
- 6: $q_{ij} = g_i(k_i^{(j)})$
- 7: $I \leftarrow$ результаты выполнения метода 1

В состав метода входят два этапа: формирование отдельных показателей и выполнение метода 1.

Метод оценки ИР опытной эксплуатации в условиях отсутствия части информации о результатах проведенных работ, а также информации об информативности отдельных параметров. Значения весовых коэффициентов в условиях отсутствия априорной информации об информативности параметров предлагается определять с использованием метода оценки весовых коэффициентов, основанных на рандомизированном выборе коэффициентов. Метод предложен в рамках метода вычисления сводных показателей [2].

Предполагается, что компоненты вектора весовых коэффициентов $v = (v_1, \dots, v_n)$ отсчитываются дискретно с шагом $h = 1/w$, где w – число градаций значимости отдельных показателей, т. е. весовые коэффициенты принимают значения из множества $\{0, 1/h, 2/h, \dots, (h-2)/h, (h-1)/h, 1\}$. Неопределенность выбора вектора $v = (v_1, \dots, v_n)$ из множества вариантов $W(m, n)$ моделируется рандомизацией этого выбора.

Для сокращения множества $W(m, n)$ всех возможных векторов весовых коэффициентов в [2] предлагается учитывать нечисловую и неточную информацию о весовых коэффициентах, которая задается пользователем с помощью системы равенств и неравенств вида $v_i = v_j$, $v_r > v_s$, $i, j, r, s \in \{1, \dots, n\}$, а также неравенств вида $a_i \leq v_i \leq b_i$, $i = 1, \dots, n$, где $0 \leq a_i \leq b_i \leq 1$. При

наличии дополнительной информации весовые коэффициенты представляют собой случайные величины $\tilde{v}_1(I), \dots, \tilde{v}_m(I)$, имеющие совместное равномерное распределение на множестве допустимых с точки зрения информации I весовых векторов $W(m, n; I)$. В качестве числовых оценок $\bar{v}_i(I)$ весовых коэффициентов, удовлетворяющих равенствам и неравенствам системы I , рекомендуется использовать математические ожидания $E\tilde{v}_i(I)$ рандомизированных весовых коэффициентов $\tilde{v}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, образующих случайный весовой вектор $\tilde{v}(I) = (\tilde{v}_1(I), \dots, \tilde{v}_m(I))$. Точность оценок определяется при помощи стандартных отклонений $s_1(I), \dots, s_m(I)$, соответствующих случайным весовым коэффициентам.

При вычислении информативности выполненных работ на этапе оценки значений весовых коэффициентов возможно возникновение ситуации, при которой эксперт может задать значения для части весовых коэффициентов; при этом значения неизвестных коэффициентов необходимо доопределить, для чего применяется рассмотренный метод. При этом заданные экспертом коэффициенты рассматриваются как константные.

Метод оценки ИР опытной эксплуатации в условиях отсутствия части информации о результатах проведенных работ и отсутствии информации об информативности отдельных параметров предполагает вычисление весовых коэффициентов параметров объектов, а затем выполнение метода 2. Далее приводится описание рассмотренного метода.

Метод 3. Метод оценки информативности результатов опытной эксплуатации в условиях отсутствия части информации о результатах проведенных работ, а также информации об информативности отдельных параметров.

Вход: $K = k_1, \dots, k_n$ – множество параметров объектов испытаний; $O = o_1, \dots, o_m$ – множество объектов испытаний; $Q = \{q_{ij}\}$, $i = 0, \dots, m$, $j = 0, \dots, n$ – значения параметров объектов.

Выход: $I = \{i_i\}$, $i = 0, \dots, m$ – показатели информативности работ.

- 1: сформировать вектор весовых коэффициентов V
- 2: $I \leftarrow$ результаты выполнения метода 2

Предложенный метод позволяет обеспечить поддержку принятия решений экспертами при оценивании информативности результатов опытной эксплуатации сложных многопараметрических объ-

ектов в условиях различного уровня неопределенности. Применение метода позволяет формализовать и интегрировать неполные и нечеткие знания различных экспертов и использовать их для обоснования формируемых решений.

Рассмотренный метод был апробирован и показал свою эффективность при выполнении опытно-конструкторской работы, посвященной вопросам анализа информативности результатов пусков групп объектов различных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров А. В. Современная телеметрия в теории и на практике: Учеб. курс. СПб.: Наука и техника, 2007. 672 с.

2. Хованов Н. В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 1996. 196 с.

A. V. Vasiljev, N. A. Zhukova

METHODS FOR INFORMATIONAL CONTENT ESTIMATION OF RESULTS OF DIFFICULT MULTIPLE PARAMETER OBJECTS TRIAL OPERATION IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

The method for estimation of informational content of the test works results of difficult technical objects performed at a stage of trial operation for various levels of information uncertainty about objects parameters and extent of their influence on an assessment of informational content of the whole work is offered.

Information system architecture Intellectual data analysis, symbolic representation, telemetric parameters

УДК 004.41

А. А. Лисс, А. С. Скрипникова

Автоматизированная система архивирования и аудита электронного обмена в рабочих процессах таможенного дела

Приводится информация об автоматизированной системе, разработанной в рамках проекта модернизации информационно-технического обеспечения таможенных органов Российской Федерации. Обсуждаются функциональные возможности системы по архивированию и аудиту сообщений электронного обмена в процессах таможенной деятельности. Подчеркивается возможность использования системы для выявления закономерностей электронного обмена и выбора тактики реагирования на нестандартные ситуации.

Автоматизированная система таможенных органов, электронное представление сведений, электронное сообщение, информационный обмен, нестандартная ситуация, восстановление данных

С начала января 2011 по июнь 2013 г. Федеральной таможенной службой Российской Федерации (ФТС России) проводились работы по комплексной модернизации информационно-технического обеспечения таможенных органов Российской Федерации, предусматривающей совершенствование нормативно-правовой базы, рабочих процессов и информационных технологий. Проект был предпринят с целью развития внешней тор-

говли Российской Федерации, совершенствования таможенного администрирования, создания эффективной системы таможенного контроля, упрощения таможенных операций и, как следствие этого, увеличения внешнеторгового оборота и собираемости таможенных платежей. В результате модернизации создан единый комплекс функциональных систем и подсистем, взаимодействующих друг с другом и с внешними автоматизи-