УДК 004.414.23

Н.З. Султанов, Н.М. Айкожаев

МОДУЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Султанов Наиль Закиевич, доктор технических наук, профессор, окончил факультет самолетостроения Ташкентского политехнического института, аспирантуру Московского авиационного института, докторантуру Оренбургского аграрного университета по эксплуатации сельскохозяйственной авиации. Профессор кафедры «Летательные аппараты», заведующий кафедрой систем автоматизации производства Оренбургского государственного университета (ОГУ). Имеет монографии, справочные и учебные пособия, статьи в области интеллектуальных технологий и автоматизированных систем авиационной и ракетно-космической техники. [e-mail: sultanov@mail.osu.ru].

Айкожаев Нурислам Муратович, магистрант ОГУ, бакалавр, окончил факультет «Испытания летательных аппаратов» филиала «Восход» Московского авиационного института. Инженер филиала АО «ЦЭНКИ» – КЦ «Южный». Имеет научные статьи в области математического моделирования и информационных технологий автоматизированных систем управления. [e-mail: nurislam.aykozhaev@mail.ru].

Аннотация

В данной работе описывается разработка математической модели системы автоматизации технологического процесса приема и передачи производственной информации предприятия ракетно-космической отрасли для программного модуля выбора наилучшего источника телеметрической информации. Обосновывается выбор критериев оптимизации при привлечении экспертов, работающих на предприятии. Оценивается степень согласованности мнений экспертов с помощью расчета коэффициентов конкордации (Кендалла), вариации, ранговой корреляции Спирмена. Описываются ограничения, накладываемые на критерии оптимальности, перечень решаемых задач, необходимых для осуществления оптимизации, этапы решения задачи оптимизации. Рассматриваемая задача подробно классифицируется для выбора наиболее подходящего алгоритма автоматизации. Подробно описывается алгоритм работы модуля оценки качества телеметрической информации и приводятся результаты работы разработанного программного продукта по выбору наилучшего источника телеметрической информации. В рассматриваемом математическом аппарате использовались элементы таких разделов математики, как теория множеств и линейная алгебра.

Ключевые слова: телеметрическая информация, устройство сбора и декоммутации, математическая модель, многокритериальная оптимизация.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-4-62-75-84

MODULE FOR EVALUATION THE QUALITY OF TELEMETRY INFORMATION

Nail Zakievich Sultanov, Doctor of Sciences in Engineering, Professor; graduated from the Aircraft Construction Faculty at Tashkent Polytechnic Institute; completed his postgraduate studies at Moscow Aviation Institute and doctoral studies at Orenburg Agrarian University in the operation of agricultural aviation; Professor at the Aircraft Department; Head of the Department of Production Automation Systems at Orenburg State University; an author of monographs, guides, tutorials, articles in the field of the intelligent technologies and automated systems of aviation and rocket-and-space technologies. e-mail: sultanov@mail.osu.ru.

Nurislam Muratovich Aikozhaev, a candidate for a master's degree of Orenburg State University, Bachelor; graduated from the Aircraft Trial Faculty of the Voskhod Branch at the Moscow Aviation Institute; an engineer of the Yuzhny Space Center of FSUE TsENKI; an author of articles in the field of the mathematical modeling and information technology of automated control systems. e-mail: nurislam.aykozhaev@mail.ru.

Abstract

The article deals with the development of a mathematical model of a system for automating the technological process of receiving and transmitting production information of an enterprise in the rocket and space industry for a software module for selecting the best source of telemetry information. The choice of optimization criteria is substantiated with the involvement of experts working at the enterprise. The degree of consistency of experts' opinions is estimated by calculating the coefficients of concordance (Kendall), variation, Spearman's rank correlation. The restrictions imposed on the optimality criteria, the list of tasks to be solved necessary for the optimization, the stages of solving the optimization problem are described. The problem under consideration is classified in detail to select the most appropriate automating algorithm. The algorithm of operation of the module for evaluating the quality of telemetry information is described in detail and the results of developed software module for choosing the best source of telemetry information are presented. In the considered mathematical apparatus, elements of such branches of mathematics as the set theory and linear algebra were used.

Keywords: telemetry information, acquisition and decommutation device, mathematical model, multicriteria optimization.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной статьи является описание математической модели системы автоматизации технологического процесса приема и передачи производственной информации предприятия ракетно-космической отрасли.

Актуальность темы заключается в том, что на сегодняшний день ни одна из существующих систем приема и передачи телеметрической информации (ТМИ), не позволяет в полной мере решить задачу автоматизации технологического процесса приема и передачи производственной информации предприятия ракетно-космической отрасли, т. е. не позволяет в полной мере автоматизировать работу оператора устройства сбора и декоммутации (УСД) ТМИ [1]. Работа оператора УСД ТМИ заключается в оценке и выборе лучшего по качеству источника ТМИ. В данной статье предлагается автоматизировать работу оператора УСД ТМИ с помощью программного модуля оценки качества ТМИ, построенного на математическом аппарате, рассматриваемом в данной статье. Разработанный модуль позволит оценивать и выбирать наилучший источник ТМИ без участия человека, с заранее заданными настройками. Ожидаемый эффект от использования математического аппарата – повышение точности оценки качества ТМИ, уменьшение времени оценки качества ТМИ, исключение ошибок, связанных с «человеческим фактором».

Программный модуль выбора наилучшего источника ТМИ является «сердцем» системы автоматизации и является самым главным отличием разрабатываемой системы от существующей.

Разрабатываемая система предназначена для автоматизации деятельности оператора УСД ТМИ. Пользователем системы будет сотрудник отдела математического обеспечения и обработки телеметрической информации.

Жизнь человека всегда напрямую связана с постоянным выбором в той или иной области. В то время как выбор определяется одним единственным критерием, совершить «правильный» выбор не составляет труда. Тем не менее на практике чаще всего возникают зада-

чи, связанные с выбором лучшего решения при наличии нескольких критериев оптимальности. Стоит отметить, что не всегда удастся найти решение, оптимальное по всем критериям.

1 ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Математически альтернативные варианты представляют область допустимых решений, где две или более целевые функции, которые должны получить свой максимум или минимум (в зависимости от решаемой задачи), в данной области описываются формулой (1).

$$f(\vec{x}) = \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_n(\vec{x})\} \rightarrow \max(\min). \quad (1) \\ \vec{x} \in X$$

Векторы решений $\vec{x}$ – допустимое решение в области X , а $f_1(\vec{x})$ – целевая вектор-функция, $n \geq 2$.

В реальных задачах неизбежно возникают связи между целевыми функциями, критериями:

- 1) критерии могут согласовываться друг с другом;
- 2) критерии могут противоречить друг другу;
- 3) критерии могут быть независимы.

Предварительная экспертная оценка выбранных критериев позволит решить задачу оптимизации наиболее простыми, но иногда максимально эффективными способами.

Для системы автоматизации технологического процесса приема и передачи производственной информации предприятия ракетно-космической отрасли выявлены шесть критериев, влияющих на качество ТМИ:

- 1) Отклонения калибровочных каналов – x_1 .
- 2) Процент четных слов – x_2 .
- 3) Станционное время кадра – x_3 .
- 4) Длина кадра – x_4 .
- 5) Маркеры основного коммутатора – x_5 .
- 6) Маркеры локального коммутатора – x_6 .

Данные критерии выявлены на стадии предварительного изучения объекта исследования. Были опрошены семь специалистов, непосредственно работающих на предприятии ракетно-космической отрасли и

знакомых с системой автоматизации технологического процесса приема и передачи производственной информации.

В качестве специалистов были выбраны: инженер 2 категории, инженер 1 категории, ведущий инженер, специалист 1 категории, главный специалист, начальник группы, начальник отдела математического обеспечения и обработки ТМИ.

Опросы использованы для априорного ранжирования факторов с целью выделения наиболее существенных из них [2]. Проводился опрос с помощью анкеты, содержащей шесть факторов, было необходимо расставить ранги с учетом их влияния на выходной параметр – качество ТМИ. В результате обработки результатов опроса экспертов была построена диаграмма рангов, представленная на рисунке 1.

Рис. 1. Диаграмма рангов

Исходя из рисунка 1 видно, что распределение равномерное (значения суммы рангов возрастают при переходе от одного критерия к другому). Это означает, что все выделенные критерии влияют на выходной параметр и будут использованы для построения математической модели. Необходимо отметить, что наиболее существенное влияние на качество ТМИ системы оказывает станционное время кадра источника ТМИ, длина (количество слов) кадра. Четыре оставшихся критерия влияют на качество ТМИ в равной степени. Выполнена проверка полученных результатов с помощью расчета коэффициентов конкордации (Кендалла), вариации, ранговой корреляции Спирмена. Степень согласованности мнений экспертов высокая, эксперты ранжируют критерии практически одинаково.

Так как два критерия в наибольшей степени влияют на качество ТМИ, то по двум данным критериям будет проведено лексикографическое упорядочение (по двум данным критериям будет выполнена последовательная оптимизация).

Наиболее подходящим математическим методом решения поставленной задачи является многокритериальная оптимизация. Многокритериальная оптими-

зация позволяет получить наилучшее значение для заданного множества характеристик рассматриваемого объекта [3].

Критериями оптимальности являются критерии, влияющие на качество ТМИ.

В качестве целевой функции для каждого критерия выбирается значение его расхождения с эталонным значением.

На критерии оптимальности накладываются следующие ограничения:

- 1) значения отклонений калибровочных каналов $x_1 \in Z^+$;
- 2) процент четных слов кадра $0\% \leq x_2 \leq 100\%$;
- 3) станционное время кадра $x_3 \in R^+$;
- 4) длина кадра $x_4 \in Z^+$;
- 5) количество маркеров основного коммутатора $x_5 \in Z^+$;
- 6) количество маркеров локального коммутатора $x_6 \in Z^+$.

Основные этапы решения задачи оптимизации:

1) Текст поставленной задачи: необходимо выбрать наилучший источник ТМИ из множества доступных.

2) Исходные данные. В качестве исходных данных выступают критерии качества, полученные от модуля разбора ТМИ, который в свою очередь получает ТМИ от модуля приема udr-пакетов. Для изображения исполняемых модулей, библиотек, классов, процедур и стандартных графических интерфейсов используются UML-диаграммы компонентов.

Процесс формирования исходных данных для модуля оценки качества ТМИ представлен на UML-диаграмме компонентов системы автоматизации (рис. 2), стрелочками указаны отношения зависимости (от клиента к источнику).

3) Расчетная модель, включая параметры оптимизации.

4) Математическая модель:

- а) критерии оптимальности;
- б) целевые функции;
- в) ограничения в виде равенств или неравенств.

5) Математический аппарат оптимизации:

- а) метод оптимизации;
- б) схема алгоритма;
- в) реализация алгоритма (программа и её реализация).

6) Результат (оптимальное инженерное решение).

Таким образом, для решения задачи оптимизации необходимо:

- составить математическую модель объекта оптимизации;
- выбрать критерий оптимальности и составить целевую функцию;
- установить возможные ограничения, которые должны накладываться на переменные проектирования;
- выбрать метод оптимизации, который позволит найти экстремальные значения искомых величин.

Рис. 2. UML-диаграмма компонентов системы автоматизации

2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ

Применяемые в настоящее время методы решения многокритериальных задач сводят их к однокритериальным. Решение задачи многокритериальной оптимизации по выбору наилучшего источника ТМИ будет осуществляться с помощью метода скаляризации (метода введения весовых коэффициентов).

Под скаляризацией в контексте многокритериальной оптимизации понимают широкий класс алгоритмов, позволяющих для любой многокритериальной задачи построить такую однокритериальную, чтобы ее глобальный оптимум являлся Парето-оптимальным решением для исходной задачи.

По определенному правилу составляют новую интегральную (обобщенную) целевую функцию, например, в виде средневзвешенной суммы локальных (частных) целевых функций в соответствии с формулой (2) [4]. Метод, при котором составляется новая интегральная целевая функция, также называют методом свертки критериев.

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \omega_i f_i(x), \quad \omega_i \in [0,1], \quad (2)$$

где ω_i – неотрицательные весовые коэффициенты (множители), отражающие важность соответствующего критерия.

Интегральный минимаксный критерий минимизируется известными методами в соответствии с формулой (3).

$$f(x) = \min \left[\max \omega_i f_i(x) \right], \quad 1 \leq i \leq m. \quad (3)$$

На практике существует два способа решения задачи многокритериальной оптимизации. Первым способом является точное решение, то есть такой подбор критериев, которые в полной мере соответствуют необходимым условиям. Второй способ рассматривается, если выполнение точного решения неосуществимо и требуется выбрать оптимизированный набор критериев.

Исходя из этого, задача отбора множества элементов (критериев) рассматриваемой системы должна решаться следующим видом:

1. Выполнение поиска подмножества, полностью подходящего предъявляемым условиям.
2. Если первое не достигнуто и возможно применение подмножества, частично подходящего предъявляемым условиям, то выполнение поиска подмножества, наиболее подходящего предъявляемым условиям.

Данный способ наилучшим образом подходит для решения рассматриваемой задачи, так как модуль оценки качества ТМИ работает в реальном масштабе времени (РМВ) и выходным параметром работы модуля выступает индекс хотя бы одного (наилучшего) источника ТМИ из имеющихся.

Решение задачи в такой постановке – выбор оптимального подмножества объектов, частично соответствующих критериям, – в значительной степени определяется способом вычисления соответствия объекта той или иной роли, для которых он может быть использован.

При такой постановке задачи необходимо ввести понятие расстояния, определяющего степень различия рассматриваемого объекта от заданного требования (эталона) или набора требований.

Метод вычисления расстояния, или метрика, играет важнейшую роль в решении описываемой задачи, так как от правильности алгоритма его определения зависит правильность выбора подмножества объектов.

Задача отбора подмножества элементов, свойства которых минимально отклоняются от требуемых значений, рассматривается как задача многокритериальной оптимизации и может быть сформулирована формулой (4).

$$\{D_{ik}\} \rightarrow \min \forall k \in 1, \dots, K, \quad (4)$$

где D_{ik} – «расстояние» между существующим объектом и требуемым набором свойств, то есть значение, характеризующее степень несоответствия данного объекта данному критерию.

Используется метод свертки критериев, и задача сводится к виду (5):

$$F = \sum_{i=1}^K D_{ik} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где F – целевая функция, определяющая оптимальность выбранного решения.

Как было сказано выше, способы вычисления расстояний могут быть разные. Используется наиболее простой и универсальный способ – расстояние, определяемое как сумма взвешенных расхождений значений свойств объектов и соответствующих требуемых значений. Расчет расстояния осуществляется по формуле (6).

$$D_{ik} = \sum_{j=1}^J b_j d_{ikj} = \sum_{j=1}^J b_j |c_{kj} - p_{ij}|, \quad (6)$$

где b_j – коэффициент важности свойства,

d_{ikj} – расхождение свойства объекта и требуемого значения,

c_{kj} – «требуемые» (эталонные) значения у соответствующего критерия,

p_{ij} – существующие значения соответствующего критерия.

При множественном выборе объекта для получения решения необходимо выбрать минимальные элементы в каждом столбце матрицы $Z^{(2)} = \|D_{ik}\|$.

Выбранные для оценки критерии представляют собой разнородные величины, и напрямую суммировать их расхождения нельзя. Поэтому вместо абсолютного значения расхождения для каждого критерия вычисля-

ется приведенное расхождение, выраженное в процентах от 0 до 100% и более.

3 АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ

Алгоритм работы модуля оценки качества ТМИ:

1) Расчет приведенного расхождения калибровочных каналов. Суть данного этапа в том, что заранее известны ожидаемые двоичные значения на определенных позициях (каналах) телеметрического кадра (например, на калибровочных каналах). Модуль разбора ТМИ сравнивает реальные значения на этих позициях и формирует массив отклонений вида «Имя канала» – «Отклонение от ожидаемого значения». Модуль оценки качества ТМИ оценивает каждый элемент этого массива. За каждый канал, на котором зафиксировано небольшое отклонение (менее десяти), данному критерию добавляется 0,5 балла расхождения. За каждый канал, на котором зафиксировано значительное отклонение (десять и более), критерию добавляется 1 балл расхождения. Максимально возможное количество баллов расхождения равно количеству оцениваемых каналов – 3.

Приведенное расхождение данного критерия рассчитывается по формуле (7).

$$D = \frac{k_n}{k_{\max}} \times 100\%, \quad (7)$$

где k_n – количество набранных баллов расхождения, $k_{\max}$ – максимально возможное количество баллов ($k_{\max} = 3$).

2) Расчет приведенного расхождения четных слов. Для контроля качества передаваемой ТМИ бортовая радиотелеметрическая система изменяет младший бит каждого слова таким образом, чтобы общее число бит в слове, выставленных в «1», оказалось чётным. Такие слова называются чётными. Нечётные слова считаются недостоверными, а информация в них – испорченной зашумлениями в радиоканале.

Приведенное расхождение данного критерия рассчитывается по формуле (8).

$$D = c_o - c_r, \quad (8)$$

где c_o – ожидаемый процент четных слов ($c_o = 100\%$), c_r – реальный процент четных слов.

3) Расчет приведенного расхождения длины кадра. Для каждого поступившего кадра ожидаемая длина кадра равна 512 словам. Приведенное расхождение данного критерия рассчитывается по формуле (9).

$$D = \frac{ABS(L - l)}{512} \times 100\%, \quad (9)$$

где L – ожидаемая длина кадра, l – реальная длина кадра. Данный критерий не оценивается для источника (не используется для расчета суммарного расхождения критериев), если на шаге выбора источников ТМИ

по маркерной структуре у него ожидаемая (эталонная) длина кадра.

4) Расчет приведенного расхождения маркеров основного коммутатора. Для каждого поступившего кадра ожидаемое количество маркеров основного коммутатора равняется 64. Приведенное расхождение данного критерия рассчитывается по формуле (10).

$$D = \frac{ABS(M_o - m_o)}{64} \times 100\%, \quad (10)$$

где M_o – ожидаемое количество маркеров основного коммутатора, m_o – реальное количество маркеров основного коммутатора.

5) Расчет приведенного расхождения маркеров локального коммутатора. Для каждого поступившего кадра ожидаемое количество маркеров локального коммутатора равняется 8. Приведенное расхождение данного критерия рассчитывается по формуле (11).

$$D = \frac{ABS(M_l - m_l)}{8} \times 100\%, \quad (11)$$

где M_l – ожидаемое количество маркеров локального коммутатора, m_l – реальное количество маркеров локального коммутатора.

6) Оценка времени источников ТМИ. Выполняется фильтрация по станционному времени кадра. Сравнивается текущее время со станционным временем кадра конкретного источника, с учетом допустимого отклонения (минимальное значение допустимого отклонения 0,001). Данный фильтр проходят источники ТМИ, которые соответствуют текущему времени или если не найден ни один источник ТМИ, время которого соответствует текущему, выбираются источники ТМИ, время которых наиболее близко к текущему. Минимальное значение текущего времени 0, а максимальное – 86400 секунд, что соответствует количеству секунд в сутках.

7) Оценка маркерной структуры источников ТМИ. Выполняется фильтрация по маркерной структуре кадра. Сравнивается количество слов кадра конкретного источника с ожидаемой длиной кадра, содержащего 512 слов. Данный фильтр проходят источники ТМИ, количество слов в кадре которых соответствует ожидаемой длине кадра (512 слов) или если не найден ни один источник ТМИ, кадр которого содержит 512 слов, выбираются все источники ТМИ.

8) Многокритериальный выбор источника. На этапе многокритериального выбора модуль оценки качества ТМИ оценивает каждый кадр по 5 критериям. При этом для каждого источника вычисляется суммарное расхождение критериев качества. На выходе выбирается тот источник, суммарное расхождение критериев качества которого имеет наименьшее значение. Суммарное расхождение критериев качества для каждого источника ТМИ рассчитывается по формуле (6).

Программный модуль выбора наилучшего источника ТМИ реализован в среде быстрой, интегрированной

разработки приложений Embarcadero RAD Studio на языке программирования Delphi.

Как было сказано ранее, модуль оценки качества ТМИ работает в РМВ и выходным параметром работы модуля является индекс хотя бы одного (наилучшего) источника ТМИ. Входными данными для модуля оценки качества ТМИ являются значения массива отклонений вида «Имя канала» – «Отклонение от ожидаемого значения», которые формируются модулем разбора ТМИ.

В качестве исходных данных для примера, иллюстрирующего работу алгоритма оценки качества ТМИ и имитирующего работу программного модуля, были созданы файлы с расширением «fqc» (frame quality criteria). В каждом файле (для каждой станции) свои значения критериев качества ТМИ.

Все файлы имеют одинаковую структуру:

- 1) Название станции.
 - 2) Первый критерий качества – четность.
 - 3) Значение четности.
 - 4) Второй критерий качества – станционное время кадра.
 - 5) Значение станционного времени кадра.
 - 6) Третий критерий качества – маркерная структура кадра.
 - 7) Количество слов в кадре.
 - 8) Количество маркеров основного коммутатора.
 - 9) Количество маркеров локального коммутатора.
 - 10) Четвертый критерий качества – отклонения каналов от нормальных значений.
 - 11) Значение отклонения на калибровочном канале ЛКЗ_0%.
 - 12) Значение отклонения на калибровочном канале ЛКЗ_50%.
 - 13) Значение отклонения на калибровочном канале ЛКЗ_100%.
- Значения критериев качества для всех источников ТМИ, использованных в качестве примера работы алгоритма, приведены в таблице.

Расшифровка аббревиатур, используемых для названий источников (станций) ТМИ:

- 1) МПРС – малогабаритная приемно-регистрирующая станция.
- 2) МПТС – малогабаритная передвижная телеметрическая станция.
- 3) ПРА-МК – приемно-регистрирующая аппаратура модернизированного комплекса.

Для МПРС-11(1) суммарное расхождение критериев равно 16,667%. Имеется расхождение только для одного критерия – отклонения калибровочных каналов, а для данного критерия расхождение считается, как процентная доля расхождения от максимально возможного количества баллов. Максимально возможное количество баллов расхождения равно количеству оцениваемых каналов, т. е. 3 (ЛКЗ_0%, ЛКЗ_50%, ЛКЗ_100%). За каждый канал, на котором зафиксировано небольшое отклонение (менее десяти), данному критерию добавляется 0,5 балла расхождения. За каждый канал, на ко-

Таблица

Значения критериев качества

Наименование источника ТМИ	Процент четных слов, %	Станционное время кадра, с	Длина кадра, количество маркеров основного и локального коммутаторов	Отклонения значений каналов от калибровочных (нормальных) значений
МПРС-11(1)	100	123,456	512, 64, 8	0, 0, 1
МПРС-12(1)	100	123,456	512, 64, 8	0, 0, 0
МПРС-15(1)	100	123,456	511, 62, 5	2, 1, 5
МПТС-24(2)	99,999	123,456	512, 64, 8	1, 1, 0
ПРА-МК	89,564	123,456	512, 63, 8	122, 3, 18

тором зафиксировано значительное отклонение (десять и более), критерию добавляется 1 балл расхождения. У МПРС-11(1) на калибровочном канале ЛКЗ_100% значение отклонения равно 1, следовательно, данному критерию добавляется 0,5 балла расхождения (так как отклонение небольшое, менее десяти). Таким образом расхождение равно $\frac{0,5}{3} \times 100\% = 16,667\%$, расхождение

остальных критериев равно 0 и коэффициенты важности критериев равны 1, следовательно, суммарное расхождение для данного источника будет равно 16,667%.

Для МПРС-12(1) суммарное расхождение критериев равно 0%, так как значения критериев качества для данного источника ТМИ имеют эталонные значения.

Для МПРС-15(1) суммарное расхождение критериев равно 90,820%. Имеются расхождения для четырех критериев – отклонения калибровочных каналов, длина кадра, количество маркеров основного и локального коммутаторов. Расхождение для отклонения кали-

бровочных каналов равно $\frac{0,5 + 0,5 + 0,5}{3} \times 100\% = 50\%$.

Расхождение по длине кадра: $\frac{|512-511|}{512} \times 100\% = 0,195\%$.

Расхождение по количеству маркеров основного коммутатора: $\frac{|64-62|}{64} \times 100\% = 3,125\%$. Рас-

хождение по количеству маркеров локального коммутатора: $\frac{|8-5|}{8} \times 100\% = 37,5\%$. Суммарное расхож-

дение с учетом важности для каждого критерия рассчитывается по формуле (6) (в представленном примере важность критериев одинакова и равна 1): $((1 \times 50) + (1 \times 0,195) + (1 \times 3,125) + (1 \times 37,5))\% = 90,82\%$.

Для МПТС-24(2) суммарное расхождение критериев равно 33,334%. Имеются расхождения для двух критериев – отклонения калибровочных каналов, процент четных слов. Расхождение для отклонения калибровочных каналов равняется: $\frac{0,5 + 0,5}{3} \times 100\% = 33,333\%$. Расхождение для процен-

та четных слов: $(100 - 99,999)\% = 0,001\%$. Суммарное

расхождение с учетом важности для каждого критерия: $((1 \times 33,333) + (1 \times 0,001))\% = 33,334\%$.

Для ПРА-МК суммарное расхождение критериев равно 95,332%. Имеются расхождения по трем критериям – отклонения калибровочных каналов, процент четных слов, количество маркеров основного коммутатора. Расхождение для отклонения калибровочных каналов: $\frac{1 + 0,5 + 1}{3} \times 100\% = 83,333\%$. Расхождение

для процента четных слов: $(100 - 89,564)\% = 10,436\%$. Расхождение по количеству маркеров основного ком-

мутатора: $\frac{|64-63|}{64} \times 100\% = 1,563\%$. Суммарное рас-

хождение с учетом важности для каждого критерия: $((1 \times 83,333) + (1 \times 10,436) + (1 \times 1,563))\% = 95,332\%$.

Выполняется оценка времени источников ТМИ. Фильтр проходят источники, которые соответствуют текущему времени с учетом допустимого отклонения, или, если не найден ни один источник ТМИ, время которого соответствует текущему, выбираются источники ТМИ, время которых наиболее близко к текущему. У всех источников ТМИ станционное время кадра 123,456 с, что соответствует текущему времени, поэтому на следующем этапе рассматриваются все источники ТМИ.

Осуществляется оценка маркерной структуры источников ТМИ. Фильтр проходят источники, количество слов в кадре которых соответствует ожидаемой длине кадра (512 слов), или, если не найден ни один источник ТМИ, кадр которого содержит 512 слов, выбираются все источники ТМИ. У всех источников, кроме МПРС-15(1), количество слов в кадре 512, что соответствует ожидаемой длине кадра, поэтому на этапе многокритериального выбора рассматриваются все источники ТМИ, кроме одного – МПРС-15(1).

На этапе многокритериального выбора выбирается тот источник, суммарное расхождение критериев качества которого является наименьшим. В качестве наилучшего источника ТМИ определен источник № 2 – МПРС-12(1), так как суммарное расхождение критериев качества для данного источника имеет наименьшее значение среди всех имеющихся источников ТМИ – 0%.

Результаты работы программного модуля, выполняющего оценку качества ТМИ от разных источников,

Рис. 3. Результат работы программы (1)

Рис. 4. Результат работы программы (2)

представлены на рисунках 3, 4. Данный модуль выполняет все расчеты, описанные выше, и позволяет автоматизировать работу оператора УСД ТМИ.

4 Анализ результатов

Разработанный алгоритм оценки качества ТМИ обладает всеми основными свойствами алгоритмов:

1) Дискретность – алгоритм оценки качества ТМИ состоит из восьми этапов, описанных в разделе 4.

2) Детерминированность (определенность) – каждый этап алгоритма строго определен и не может быть истолкован по-разному.

3) Массовость – алгоритм оценки качества работает и позволяет получить эффективное решение (наилучший источник ТМИ) для множества допустимых исходных данных. Множество допустимых исходных данных формируется исходя из ограничений, накладываемых на критерии оптимальности. Данные ограничения описаны в разделе 1.

4) Результативность – алгоритм оценки качества за конечное число шагов для допустимого множества исходных данных позволяет получить эффективный результат. Особенностью данного алгоритма является то, что при любых исходных данных из множества допустимых он позволяет получить оптимальное решение, что связано со спецификой предметной области решаемой задачи.

5) Формальность – алгоритм строго выполняется компьютером в виде последовательности инструкций (программы).

Ограничением разработанного алгоритма является множество допустимых исходных данных, которое формируется исходя из предметной области решаемой задачи. Стоит отметить, что программный модуль выдаст ошибку при вводе буквенных значений в соответствующие поля критериев качества вместо допустимого множества численных значений, но при этом в тексте программы не будет выполняться обработка исключительных ситуаций, с прерыванием программы и выдачей соответствующего сообщения. Это связано с тем,

что в реальной ситуации входными данными для модуля оценки качества ТМИ являются значения массива отклонений, формируемые модулем разбора ТМИ, что исключает поступление априорно неверных исходных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средства телеметрии являются мощным инструментом познания мира. Контроль самых разнообразных явлений, процессов и объектов, определение условий их функционирования, испытания новых образцов техники и вооружения стали возможны на основе использования средств телеметрии. Особенно возрастает роль телеметрии в связи с реализацией широких планов и программ автоматизации производства, внедрением автоматизированных методов и средств контроля качества продукции. Необходимость решения поставленных задач привела к массовому применению средств телеметрии в современной технике [5].

Ведущую роль играет телеметрия при управлении автоматизированными техническими системами в процессе решения целевых задач [6]. Сложность технических объектов приводит к необходимости контроля большого числа параметров, характеризующих состояние и режимы работы отдельных агрегатов и объектов в целом. Вместе с этим в процессе совершенствования техники к средствам телеизмерений предъявляются все более возрастающие требования в отношении точности, надежности данных и оперативности их получения. Именно эти вопросы и находятся в центре проблем современной телеметрии [7].

Программный модуль выбора наилучшего источника ТМИ основан на математическом аппарате многокритериальной оптимизации и лексикографическом упорядочении по критериям оптимальности.

Созданный модуль системы автоматизации технологического процесса приема и передачи производственной информации предприятия ракетно-космической отрасли необходим для автоматизации деятельности оператора УСД: оценки и выбора наилучшего по качеству источника информации. Автоматизация позволит снизить влияние «человеческого фактора» на процесс приема/передачи производственной информации, что в то же время сократит частоту появления ошибок, уменьшит риск потери информации и увеличит достоверность получаемой и передаваемой информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айкожаев Н.М., Султанов Н.З. Автоматизация деятельности оператора устройства сбора и декоммутации телеметрической информации // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : Электрон. сб. ст. по матер. LXVIII студ. Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск : Изд. АНС «СибАК», 2019. № 1 (72). С. 38–42. URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/1\(72\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/1(72).pdf) (дата обращения: 20.09.2020).

2. Хамканов К.М., Дондоков Ю.Ж. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Планирование эксперимента» для студентов специальности 072000 – Стандартизация и сертификация (в пищевой промышленности) и 190800 – Метрология и метрологическое обеспечение дневной и заочной форм обучения. Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, 2002. URL: <http://window.edu.ru/resource/440/18440/files/Mtdukm10.pdf> (дата обращения: 20.09.2020).

3. Задачи многокритериального выбора при синтезе технических систем / Д.В. Киселев, Ч. Тин, М.Н. Пущин, М.С. Све // Наукоедение. Июль–август 2014. Вып. 4(23). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/121TVN414.pdf> (дата обращения: 20.09.2020).

4. Грунюшкин А.Н. Разработка метода многокритериальной оптимизации процессов листовой штамповки в САЕ : магистерская диссертация. Тольятти : ТГУ, 2018. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/8084/1/Грунюшкин%20А.Н._МСм-1602a.pdf (дата обращения: 20.09.2020).

5. Айкожаев Н.М., Султанов Н.З. Разработка системы автоматизации технологического процесса приема и передачи производственной информации предприятия ракетно-космической отрасли // Наука среди нас. 2019. Вып. № 5 (21). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39244268> (дата обращения: 20.09.2020).

6. Шпаков А.А., Бурмака А.А. Современные телеметрические системы в медицинской технике. Перспективы развития // Архив научных публикаций. Курск: ЮЗГУ, 2014. URL: http://www.rusnauka.com/27_PAS_2014/Biologia/11_177306.doc.htm (дата обращения: 20.09.2020).

7. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс / А.В. Назаров [и др.]. СПб. : Наука и Техника, 2007. 672 с.

REFERENCES

1. Aikozhaev N.M., Sultanov N.Z. Avtomatizatsiia deiatel'nosti operatora ustroistva sbora i dekommutatsii telemetriceskoi informatsii [Automation of the Operator's Activity Working on a Telemetric-Data Acquisition Device]. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletii. Tekhnicheskie nauki. Elektron. sb. st. po mater. LXVIII stud. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [E-Proc. of the 73th Int. Sci. Pract. Conf. Student Scientific Body of the 21th Century]. Novosibirsk, ANS SibAK, 2019, no. 1 (72), pp. 38–42. Available: [http://www.sibac.info/archive/Technic/1\(72\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/1(72).pdf) (accessed 20.09.2020).

2. Khamkanov K.M., Dondokov Iu.Zh. *Metodicheskie ukazaniia k prakticheskim zaniatiim po distsipline "Planirovanie eksperimenta" dlia studentov spetsialnosti 072000 – Standartizatsiia i sertifikatsiia (v pishchevoi promyshlennosti) i 190800 – Metrologiia i metrologicheskoe obespechenie dnevnoi i zaochnoi form obuchenii* [Instructional Guidelines for Practicum on the Design-of-Experiments Subject for Students by Professions No. 072000

(Standardization and Certification in Food-Processing Industry) and No. 190800 (Metrology and Metrological Support in Resident and Distant Education)]. Ulan-Ude, Izdatelstvo VSGTU Publ., 2002. Available at: <http://window.edu.ru/resource/440/18440/files/Mtdukm10.pdf> (accessed 20.09.2020).

3. Kiselev D.V., Tin Ch., Pushchin M.N., Sve M.S. *Zadachi mnogokriterialnogo vybora pri sinteze tekhnicheskikh sistem* [Problems of Multicriterion Selection when Synthesis of Engineering Systems]. Naukovedenie [Science of Science]. Iul–avgust 2014, iss. 4 (23). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/121TVN414.pdf> (accessed: 20.09.2020).

4. Gruniushkin A.N. *Razrabotka metoda mnogokriterialnoi optimizatsii protsessov listovoi shtampovki v CAE*. Masterskaia dissertatsiia [The Development of the Method for the Multicriterion Optimization of Sheet-Metal Forming Processes in CAE. Master's Thesis]. Togliatti, TGU Publ., 2018. Available at: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/8084/1/Grunyushkin%20A.N._MSm-1602a.pdf (accessed 20.09.2020).

5. Aikozhaev N.M., Sultanov N.Z. *Razrabotka sistemy avtomatizatsii tekhnologicheskogo protsessa priema i peredachi proizvodstvennoi informatsii predpriatiia raketno-kosmicheskoi otrasli* [Development of the System of Automation of Technological Processes of Reception and Transfer of Production Information of the Enterprise of the Rocket-Space Industry]. *Nauka sredi nas* [Science Inter Nos], 2019, iss. 5 (21). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39244268> (accessed 20.09.2020).

6. Shpakov A.A., Burmaka A.A. *Sovremennye teletricheskie sistemy v meditsinskoj tekhnike. Perspektivy razvitiia* [Modern Telemetric Systems in Medicine Technology. Development Prospects]. *Arkhiv nauchnykh publikatsii* [Archive of Scientific Publications]. Kursk, IuZGU Publ., 2014. Available at: http://www.rusnauka.com/27_PAS_2014/Biologia/11_177306.doc.htm (accessed 20.09.2020).

7. Nazarov A.V. *Sovremennaja telemektriia v teorii i na praktike*. Uchebnyi kurs [Modern Telemetry in Theory and Practice. Course of Study]. St. Petersburg, Nauka i Tekhnika Publ., 2007. 672 p.