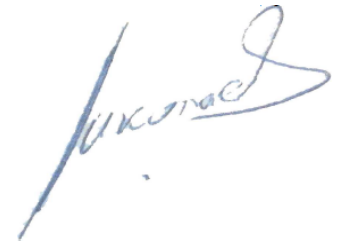


На правах рукописи



**НИКОЛАЕВ**  
Дмитрий Андреевич

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ОПЕРАТИВНОЙ  
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Специальность 05.13.01  
«Системный анализ, управление и обработка информации»  
(технические системы)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург — 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доцент кафедры «Информационные системы»

**Каргин Виктор Александрович**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, профессор, заведующий кафедрой «Информационные и вычислительные системы»

**Хомоненко Анатолий Дмитриевич**

кандидат технических наук, доцент,

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ», доцент кафедры «Информационно-измерительные системы и технологии»

**Королев Павел Геннадьевич**

Ведущая организация:

**Федеральное Государственное Автономное Образовательное Учреждение Высшего Образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»**

Защита диссертации состоится "25" мая 2017 г. в \_\_\_:\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 002.199.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН) по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14-а линия В.О., 39, комн. 401. Факс: (812)-328-44-50 тел: (812)-328-34-11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14-а линия В.О., 39 и на сайте <http://www.spiras.nw.ru/dissovet>

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 года

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.199.01

кандидат технических наук, доцент



**Фаткьева Р.Р.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Совершенствование старых и разработка новых видов космических средств и электронно-вычислительных устройств, расширение круга решаемых задач и развитие современных информационных технологий приводит к увеличению объема телеметрической информации, требующейся для оценивания технического состояния космических средств и прогнозирования его изменения как в целом, так и отдельных систем и агрегатов.

Существующие системы оперативной обработки телеметрической информации в большинстве своем автоматизированы, но для оценивания качества поступающей измерительной информации в них используется допусковой и маркерный контроль. Решение задачи оценивания технического состояния космических средств в реальном масштабе времени в основном производится вручную экспертом-оператором, при этом решение принимается на основе анализа поведения ограниченной группы параметров. Современные информационные технологии обеспечивают получение обобщенных характеристик, идентификацию состояния, выдачу рекомендаций по управлению, учет особенностей эксплуатации космических средств в реальном масштабе времени и интеграцию разрозненных систем в единую систему мониторинга. Для проведения мониторинга состояния космических средств на основе анализа полного потока телеметрической информации в реальном масштабе времени возникает необходимость разработки программно-аппаратных комплексов автоматизированного анализа телеметрической информации. В этих комплексах решение задачи оценивания технического состояния объекта космических средств проводится по формальным моделям и связано со сложностью и многопоточностью схем автоматизированного анализа, а также ограниченным временем на принятие решения о техническом состоянии космических средств.

Большинство отечественных и зарубежных результатов исследования измерительной информации применительно к задачам оперативного анализа телеметрической информации представляются весьма разрозненными и не базируются на едином подходе. На это накладывается и существенная неопределенность исходной телеметрической информации, вызванная неоднородностью, избыточностью и разнообразием смыслового содержания. Все это показывает актуальность исследований, направленных на создание алгоритмов оперативной обработки, учитывающих особенности телеметрической информации космических средств и позволяющих функционировать программно-аппаратным комплексам автоматизированного анализа телеметрической информации в реальном масштабе времени.

**Степень разработанности темы.** К настоящему времени по вопросам исследования, обработки и анализа телеметрической информации космических средств получены многочисленные результаты, выполнено большое число научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (ОКР «Плесецк», «Русь-М», НИР «Телеприбор» и др.) в организациях промышленности (РНИИ КП, ОАО «РКС», СКБ «Орион», ЦНИИ Машиностроения, РКЦ «Прогресс»), Российской академии наук (Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации) и высшей школы (Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Военно-воздушная инженерная академия им. Н.Е. Жуковского, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики). В последнее время наиболее интересные результаты и решения научно-практических задач в области обработки и автоматизированного анализа телеметрической информации получены научными школами, возглавляемыми профессорами А.К. Дмитриевым, В.Б. Мальцевым, П.В. Новицким, М.Ю. Охтилевым, Б.В. Соколовым, В.И. Тихоновым, В.И. Хименко, А.Ф. Фоминым, Р.М. Юсуповым.

**Цель и задачи исследования.** Обеспечить оперативное и достоверное получение оценок технического состояния космических средств в комплексах автоматизированного анализа, робастных к штатному и нештатному изменению режимов работы бортовых систем и агрегатов.

**Объектом исследования** являются существующие и перспективные технологии получения, обработки и анализа телеметрической информации космических средств, **предметом**

**исследований** являются методы и алгоритмы оперативной обработки телеметрической информации.

**Основные задачи.** В рамках проводимых диссертационных исследований были поставлены следующие задачи:

1. Системный анализ условий формирования, передачи и обработки телеметрической информации, поступающей от космических средств.
2. Исследование, выбор и обоснование модели телеметрируемых параметров со структурной неоднородностью.
3. Разработка алгоритма совместного оперативного оценивания моментных и спектрально-корреляционных характеристик телеметрической информации космических средств.
4. Разработка алгоритма оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации с неоднородностями типа «переключающаяся динамика» и «разрушение структуры».
5. Разработка специального программного обеспечения для реализации алгоритмов оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации в составе комплекса автоматизированного анализа технического состояния ракеты-носителя.

**Методология и методы исследования.** При выполнении диссертационных исследований использовались общие методы системного анализа, теории вероятностей, математической статистики, общей теории случайных процессов, теории выбросов случайных процессов и методы статистической обработки экспериментальных данных.

**Научная новизна** выполненных исследований заключается в следующем:

1. Вероятностная модель функциональных и функционально-диапазонных параметров космических средств, отличающаяся представлением телеметрической информации двухкомпонентной «смеси» гауссовых распределений, учитывающая ее структурную неоднородность и «разрушение структуры».
2. Алгоритм совместного оперативного оценивания моментных и спектрально-корреляционных характеристик телеметрируемого процесса с плотностью вероятности, аппроксимируемой рядом Эджворта, отличающийся уменьшением времени оперативной обработки телеметрической информации в 1.95 раза, за счет использования характеристик типа «превышения уровня».
3. Алгоритм оперативного обнаружения и исключения аномальных результатов измерений, отличающийся возможностью предварительной параметризации, учитывающей опыт эксплуатации ракет-носителей, и структурной перестройкой к изменяющимся моментным и спектрально-корреляционным характеристикам телеметрируемого процесса.
4. Специальное программное обеспечение, реализующее алгоритмы оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации, на фоне структурной неоднородности телеметрической информации, при штатном и нештатном изменении режимов работы систем и агрегатов, что позволило обеспечить своевременное получение достоверных заключений о техническом состоянии ракеты-носителя.

**Практическая значимость.** Результаты выполненных в диссертационной работе исследований позволили:

- повысить достоверность и оперативность заключений о техническом состоянии космических средств в условиях поступления на вход комплексов автоматизированного анализа от 2 до 13% результатов измерений, содержащих аномальную погрешность;
- повысить робастность алгоритмов структурно-параметрической оперативной обработки телеметрической информации при штатном и нештатном изменении режимов работы систем и агрегатов ракеты-носителя;
- реализовать макет специализированного программного обеспечения оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации в составе комплекса автоматизированного анализа технического состояния ракеты-носителя.

В целом, все полученные в работе результаты направлены на формирование единого системного подхода к обработке информационных процессов, характерных для телеметрических систем передачи, приема, преобразования и обработки информации.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Разработанная модель телеметрируемого процесса в виде двухкомпонентной «смеси» гауссовых распределений учитывает структурную неоднородность телеметрической информации космических средств.

2. Разработанный алгоритм совместного оперативного оценивания обобщенных спектрально-корреляционных характеристик и величины «загрязнения» телеметрической информации космических средств по характеристикам типа «превышения уровня» решает задачу учета влияния формы плотности вероятности и спектра на получаемые результаты.

3. Разработанный алгоритм оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации обеспечивает проведение автоматизированного анализа технического состояния космических средств в реальном масштабе времени.

4. Результаты использования разработанного специального программного обеспечения оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации космических средств, полученной в ходе летных испытаний и штатной эксплуатации семейства ракет-носителей типа «Союз-2», подтверждающие достоверность, оперативность и робастность заключений о техническом состоянии ракеты-носителя.

**Внедрение результатов.** Результаты диссертационной работы реализованы:

- на предприятии ЗАО «СКБ Орион» при разработке программно-аппаратных комплексов автоматизированного анализа телеметрической информации для оперативного оценивания технического состояния ракеты-носителя «Союз-2» на активном участке полета;

- на предприятии ОАО «НИО ЦИТ «Петрокомета» на этапе эскизного проектирования при обосновании необходимых методов обработки телеметрической информации для своевременного доведения информации о техническом состоянии космических средств;

- в учебном процессе, преддипломном проектировании и программе магистерской подготовки кафедры «Компьютерной математики и программирования» Санкт-Петербургского Государственного университета аэрокосмического приборостроения.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность сформулированных научных положений, основных выводов и результатов диссертации обеспечивается за счет анализа состояния исследований в данной области, согласованности теоретических выводов с результатами имитационного моделирования и экспериментальной проверки разработанных алгоритмов в ходе летных испытаний и штатной эксплуатации семейства ракет-носителей типа «Союз-2».

Основные результаты докладывались и обсуждались на постоянно действующем семинаре кафедры «Компьютерной математики и программирования», на ежегодных Научных сессиях Санкт-Петербургского Государственного университета аэрокосмического приборостроения (г. Санкт-Петербург 2009 - 2014 гг.), на Всероссийской научно-технической конференции ФГУП «РНТМИ КП» «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» (г. Москва 2009 г.) на семинарах кафедры «Информационных систем» Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

**Публикации.** Основные положения и результаты диссертационных исследований опубликованы в 14 печатных работах, из которых 7 в рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК.

**Личный вклад автора.** Теоретические выводы и практические решения, результаты тестирования. Основные научные положения сформулированы и изложены автором самостоятельно.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (125 наименований) и шести приложений. Объем основной части работы составляет 144 страницы машинописного текста.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность проводимых исследований, определены цели работы, основные задачи исследования, отражена научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** анализируются и систематизируются цели и задачи автоматизированного анализа телеметрической информации космических средств в реальном масштабе времени; проводится системный анализ особенностей процессов формирования и передачи поступающей телеметрической информации космических средств; проводится формальная постановка задач исследования.

Современный этап развития космической отрасли характеризуется увеличением объема и сложности решаемых ею научных и народнохозяйственных задач. Это приводит к росту объема телеметрической информации, необходимой для принятия решений, связанных с управлением и контролем технического состояния космических средств. Для повышения достоверности и оперативности принимаемых решений в настоящее время ведется разработка специализированных аппаратно-программных комплексов. Они предназначены для решения задач оценивания технического состояния космических средств, для оперативного получения заключений о контролируемых событиях, происходящих на борту, и визуализации полученных результатов на средствах отображения информации полигонного комплекса.

Одним из современных и перспективных представителей космических средств выведения является семейство ракет-носителей типа «Союз-2». Ракета-носитель представляет собой сложный динамический объект, состоящий из более 15 бортовых систем. Объем данных о функционировании ракеты-носителя составляет 30-40 миллионов значений, поступающих за 9-10 минут активного участка полета. Структурная сложность и экстремальность условий эксплуатации ракеты-носителя позволяют выводы о характере и свойствах его телеметрической информации распространить и на телеметрическую информацию, поступающую от разгонных блоков и космических аппаратов. Проведенные исследования полученной в ходе летных испытаний и штатной эксплуатации ракеты-носителя телеметрической информации (Рисунок 1) позволили выявить ее особенности:

- сложная изменяющаяся во времени структура;
- наличие одиночных и группирующихся аномалий;
- пропуск данных;
- избыточность;
- разнообразие смыслового содержания;
- сложность интерпретации;
- сложность в определении границ области изменения параметров.

Систематизация особенностей поступающей телеметрической информации вскрывает существенное противоречие между ее исходным качеством и требованиями к достоверности и оперативности автоматизированного анализа (Рисунок 1). Поэтому исходную телеметрическую информацию необходимо предварительно обработать, уменьшив ее неоднородность. Учитывая ее сложные и изменяющиеся во времени особенности, разрабатываемые алгоритмы должны быть структурно перестраиваемыми и иметь возможность предварительной параметризации, учитывающей весь опыт эксплуатации ракет-носителей в прошлом.

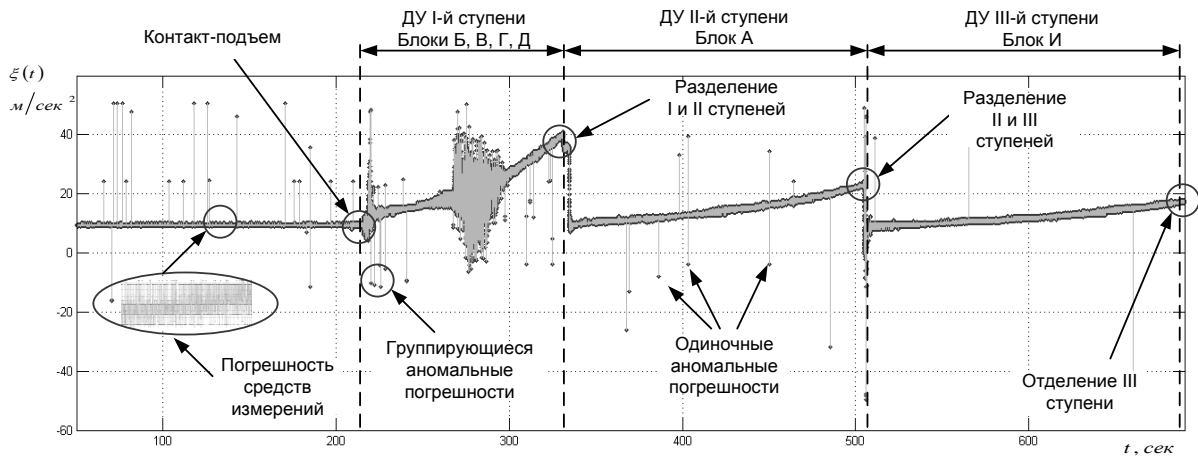


Рисунок 1 Телетрическая информация, поступающая с датчика осевого ускорения блока «И» ракеты-носителя «Союз-2»; частота опроса 200 Гц

Проведенный анализ различных методов и алгоритмов обработки неоднородной информации, с точки зрения достоверности, оперативности и робастности результатов, получаемых ими, показал невозможность их непосредственного применения в существующих комплексах автоматизированного анализа телетрической информации ракеты-носителя в реальном масштабе времени. Поэтому для разработки алгоритмов оперативной обработки был проведен системный анализ результатов исследования процессов испытания и управления объектами ракетно-космической техники, который позволил сформировать множество показателей качества:

$$W = \{W_{опер}, W_{дост}, W_{роб}\},$$

где  $W_{опер} = W_{опер}(t_{нв}/t_{об})$  - показатель оперативности обработки, характеризует быстрдействие алгоритма и оценивается как отношение времени поступления выборки  $t_{нв}$  ко времени ее обработки  $t_{об}$ ;

$W_{дост} = W_{дост}(P(|\xi - \xi^*| \leq \varepsilon) \geq P_{зад})$  - показатель достоверности обработки, характеризует меру отличия между оценочным и истинным значениями или вероятностью того, что результирующая погрешность оценивания не выходит за заданные пределы;

$W_{роб}$  - показатель робастности, характеризует устойчивость результатов оценивания информационных компонент телеметрируемых процессов при искажении измерительной информации за счет погрешностей измерений.

Анализ целей и задач оперативной обработки телетрической информации космических средств позволил описать сложившуюся проблемную ситуацию  $\Pi$  в виде следующих множеств, отношений и ограничений:

$$\Pi : \langle \Theta, W, \Omega, Q, G_o \rangle,$$

где  $\Theta$  - множество эвристической информации;

$$\Omega = \{\Omega_{рн}, \Omega_{тмс}, \Omega_{пом}, \Omega_{неоп}\}:$$

$\Omega_{рн}$  - множество факторов, характеризуемых техническим состоянием ракеты-носителя как в целом, так и отдельных его систем и блоков;

$\Omega_{тмс}$  - множество факторов, определяемых условиями и особенностями функционирования системы сбора, передачи и обработки телетрической информации;

$\Omega_{пом}$  - множество факторов, определяемых текущей помеховой обстановкой, к числу которых относится:

$\Omega_{неод}$  - фактор неоднородности, вызванный воздействием аномалий  $\xi_a(t)$  на измерительный процесс  $\xi_u(t)$ .

$\Omega_{проп}$  - фактор пропуска данных,  $\xi(t) \rightarrow \xi(t_{i \in 0 \dots N}) \mid \Delta t = t_j - t_{j-1} \neq const \quad j \in 1 \dots N$  ;

$\Omega_{неоп}$  - множество неопределенных факторов, не входящих в перечисленные группы.

$\mathcal{Q} = \{\mathcal{Q}_{огр}, \mathcal{Q}_{кон}\}$  - множество ограничений, накладываемых на применение алгоритмов из множества допустимых  $G_\delta$ , и свойства обрабатываемой информации, которое предварительно может быть сформировано следующим образом:

$\mathcal{Q}_{огр}$  - ограничение на время анализа обрабатываемой выборки  $T_a < \infty$  ;

$\mathcal{Q}_{кон}$  - ограничение на конечность энергии обрабатываемой выборки.

Задачу создания алгоритмов оперативной обработки телеметрической информации предлагается представить задачей сатисфакционного выбора алгоритма  $G^{stat}$  из множества допустимых  $G_\delta$ , характеризуемых множеством введенных ранее показателей качества  $W$  представить в виде следующих отображений:

$$\Pi \xrightarrow{\Theta} K : G_\delta(\Omega) \xrightarrow{W} G^{stat},$$

где  $K$  - критерий выбора алгоритма, сформированный с привлечением множества эвристической информации  $\Theta$ .

**Во второй главе** проводится формирование и уточнение элементов множества ограничений  $\mathcal{Q}$ , обосновывается модель телеметрической информации космических средств со структурной неоднородностью. Получены соотношения, позволяющие проводить совместное оценивание моментных и обобщенных спектрально-корреляционных характеристик с использованием статистики характеристик «превышения уровня» траектории телеметрической информации космических средств. Предложена метрика разделения информационных процессов с различными формами спектра.

С целью формирования множества ограничений  $\mathcal{Q}$  было проведено исследование телеметрической информации для наиболее информативных групп функциональных и функционально-диапазонных параметров с частотами опроса 50 – 200 Гц, полученных в ходе летных испытаний и штатной эксплуатации семейства ракет-носителей типа «Союз-2». При этом считалось, что мультипликативная составляющая погрешности исключена на этапе первичной обработки, а отсутствующие результаты измерений восстановлены сплайн-интерполяцией, порядок которой определялся коэффициентом вариации телеметрируемого параметра.

Для обеспечения требуемой точности оценивания были использованы аналитические зависимости между продолжительностью анализа  $T_a$ , среднеквадратическим отклонением  $\sigma_\xi$  и интервалом корреляции  $\tau_k$  телеметрируемого процесса. Минимальная дисперсия  $D[a_\xi^k]$  при оценивании моментной функции  $a_\xi^k$   $k$ -го порядка по выборочной функции  $\xi(t)$  на интервале  $[t_0, t_0 + T_a]$  фиксированной длительности  $T_a$  определялась как:

$$D[a_\xi^k] = \frac{4k\tau_k\sigma_\xi^{2k}}{T_a}, \quad (1)$$



за верхнюю оценку интервала корреляции было принято  $\tau_k^* = (F_0/4 + 1)/F_0$ ,  $F_0$  - частота дискретизации телеметрируемого процесса  $\xi(t)$ .

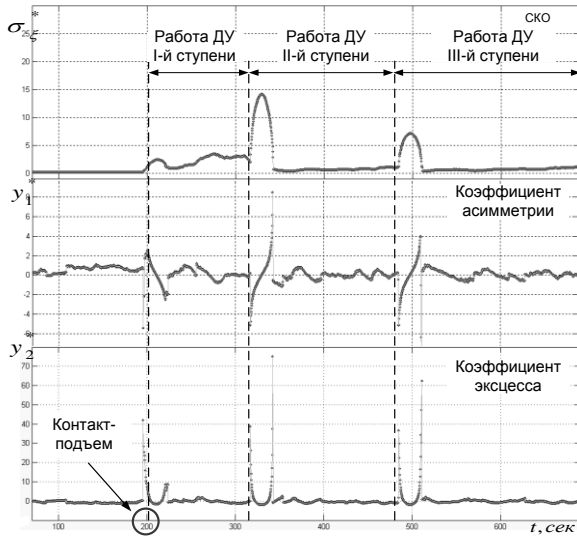


Рисунок 2 Графики изменения (сверху вниз) среднеквадратического отклонения  $\sigma_\xi$ , коэффициентов асимметрии  $\gamma_1$  и эксцесса  $\gamma_2$  телеметрической информации, полученной с датчика осевого ускорения

Проведенные расчеты для различных групп телеметрируемых параметров показали, что длительность анализа  $T_a$  должна находиться в пределах  $12 \tau_k - 17 \tau_k$ , при этом вероятность ошибки оценивания моментов четвертого порядка одномерных распределений, не превышает 0.1

На основании результатов исследований на уровне моментов одномерных распределений можно сделать вывод, что телеметрируемые параметры  $\xi(t)$  на участках со стабильной работой бортовых систем и агрегатов ракеты-носителя являются стационарными в широком смысле. На этих участках изменения полученных оценок дисперсии  $\sigma_\xi^{*2}$ , коэффициентов асимметрии  $\gamma_1^*$  и эксцесса  $\gamma_2^*$  близки к нулю (Рисунок 2).

На всех этапах формирования и передачи телеметрическая информация подвергается большому числу воздействий, поэтому результирующая плотность вероятности случайной составляющей погрешности  $\xi(t)$  близка к гауссовой.

В связи с этим можно утверждать, что значения телеметрируемого параметра  $\xi(t)$  и его производной  $\xi'(t)$  в совпадающие моменты времени статистически независимы  $p_2(\xi, \xi') = p(\xi)p_{(1)}(\xi')$ . Тогда число положительных пересечений  $n^+(H, T_a)$  заданного уровня  $H$  пропорционально значению одномерной плотности вероятности  $p^*(H)$ . Эта

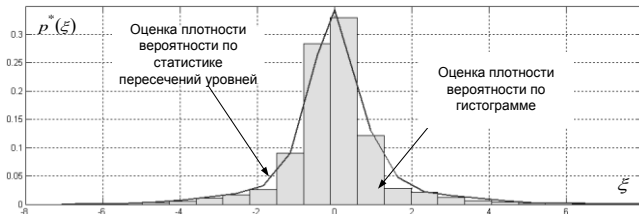


Рисунок 3 Оценка плотности вероятности по методу гистограмм и с помощью характеристик типа «превышений уровня»

зависимость была использована для оценивания значений функции  $p^*(\xi)$  путем регистрации числа положительных пересечений  $\xi(t)$  на различных уровнях:

$$p^*(H) = \frac{2\pi n^+(H, 1)}{\sigma_\xi \sqrt{-r''(0)}}, \tag{2}$$

где  $r(\tau)$  - нормированная корреляционная функция  $\xi(t)$ , как минимум однократно дифференцируемого на всем интервале анализа  $Q_{\text{оцф } 1} = Q_{\text{оцф } 1} \left( r(\tau) r_{\xi}'''(0) < \infty \Big|_{T_a} \right)$ .

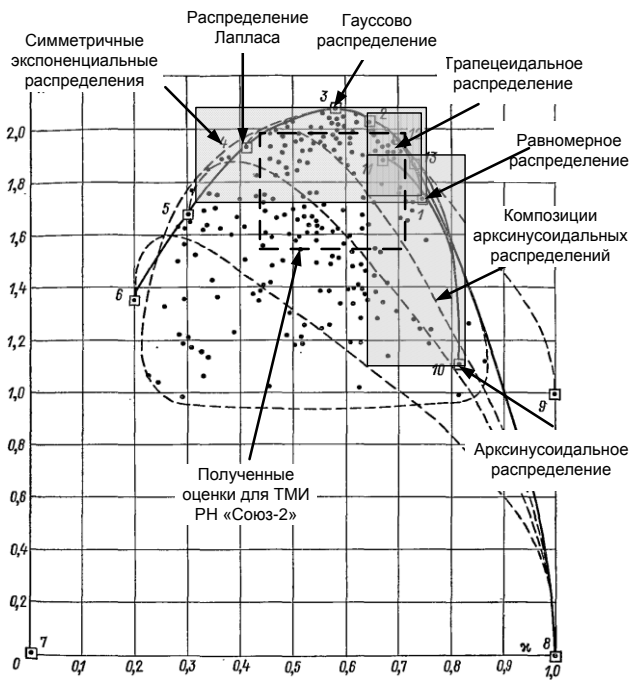


Рисунок 4 Результаты оценивания значения энтропии и коэффициента формы полученных оценок  $p^*(\xi)$

(Рисунок 4). Данный тип распределений может быть аппроксимирован моделью со структурной неоднородностью, в виде «смеси» имеющих гауссово распределение информационной  $p_u(\xi)$  и аномальной  $p_a(\xi)$ , компонент:

$$p^*(\xi) \approx (1 - \alpha)p_u(\xi) + \alpha p_a(\xi) = \frac{1 - \alpha}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_u^2}\right) + \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_a^2}\right), \quad (3)$$

где весовой коэффициент  $\alpha$  - представляет собой вероятность появления аномальной компоненты (по различным группам параметров ракеты-носителя «Союз-2» величина «загрязнения» достигает 0.03-0.1) и характеризует величину отклонения результирующего распределения от гауссова;  $\sigma_u^2$  и  $\sigma_a^2$  - дисперсии информационной и аномальной компоненты.

Результаты имитационного моделирования подтвердили согласованность структурно неоднородной модели (3) с реальными информационными процессами  $\xi(t)$ , протекающими на борту семейства ракет-носителей типа «Союз-2», и позволили уточнить ограничения:

- резкое различие статистических свойств информационной и аномальной компоненты:

$$Q_{\text{отл}} = Q_{\text{отл}}(\sigma_u^2, \sigma_a^2 | \sigma_u^2 \ll \sigma_a^2);$$

- количество результатов измерений, содержащих аномальную погрешность,  $N_{\text{ан}}$  много меньше остальных  $N_{\text{хор}}$ :

$$Q_{\text{аном}} = Q_{\text{аном}}(N_{\text{хор}}, N_{\text{ан}} | N_{\text{хор}} \gg N_{\text{ан}} \Rightarrow \alpha \ll 1).$$

Близость полученных оценок результирующей плотности вероятности  $p^*(\xi)$  к гауссовой позволяют аппроксимировать их рядом Эджворта:

$$p^*(\xi) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\xi} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_\xi^2}\right) \left[ 1 + \frac{\gamma_1}{3!} h_3\left(\frac{\xi}{\sigma_\xi}\right) + \frac{\gamma_2}{4!} h_4\left(\frac{\xi}{\sigma_\xi}\right) \right], \quad (4)$$

где  $h_3(x) = x^3 - 3x$  и  $h_4(x) = x^4 - 6x^2 + 3$ .

Таким образом, величина  $\alpha$  -«загрязнения» (отклонение результирующей плотности вероятности от гауссовой) телеметрической информации определяется значениями коэффициентов асимметрии и эксцесса результирующего распределения.

Совместное использование аналитических зависимостей (2) и (4) позволяет, при известном значении  $\sigma_\xi$ , проводить оценивание  $\gamma_1^*$ ,  $\gamma_2^*$  и  $-r''(0)$  путем подсчета числа превышений траектории телеметрируемых параметров на трех уровнях  $H$ .

С целью упрощения получаемых аналитических выражений значения  $H$  были выбраны таким образом чтобы  $h_3(H_1/\sigma_\xi^*) = 0$ ,  $h_4(H_2/\sigma_\xi^*) = 0$  и  $h_3(H_3/\sigma_\xi^*) = h_4(H_3/\sigma_\xi^*)$ , подставляя выбранные значения  $H$  в(2) и (4), получаем:

$$\gamma_1^* = \frac{15.74 n^+(0.74 \sigma_\xi, 1) - 6.91 n^+(0, 1)}{\sqrt{-r''(0)}}, \quad \gamma_1^* = \frac{2.17 n^+(0, 1) - 0.42 n^+(2.34 \sigma_\xi, 1)}{\sqrt{-r''(0)}}$$

$$\gamma_2^* = 8 \left( \frac{6.28 n^+(0, 1)}{\sqrt{-r''(0)}} - 1 \right). \quad (5)$$

Таким образом, получение оценок моментных и спектрально-корреляционных характеристик с использованием алгоритмов подсчета числа «превышений уровня» траекторией телеметрируемых параметров тесно связано между собой и позволяет решать задачу совместного оценивания характеристик телеметрической информации как во временной, так и в частотной области. Оценивание телеметрической информации на уровне спектрально-корреляционных характеристик позволит оценить  $\sqrt{-r''(0)}$  и довести аналитические зависимости до практической реализации.

Корреляционная функция  $r_\xi(\tau)$  и спектральная плотность  $S_\xi(f)$  с учетом (3) могут быть представлены в виде модели с  $\alpha$  -«загрязнением»:

$$r_\xi(\tau) \approx (1 - \alpha)r_u(\tau) + \alpha r_a(\tau) \quad S_\xi(f) \approx (1 - \alpha)S_u(f) + \alpha S_a(f).$$

Анализ результатов исследования формы полученных оценок  $s_\xi^*(f)$  показал, что наиболее близкими к ним являются спектры Гаусса, равномерный и близкий по форме к спектру Лоренца (Таблица 1). Эти модели спектров являются достаточно хорошо изученными и позволяют наиболее просто получать обобщенные спектрально-корреляционные характеристики телеметрической информации. Для оперативной классификации информационных процессов с различными формами спектра вводится метрика  $\nu^2$  следующего вида:

$$\nu^2 = 1 - (n^+(0, T_a)/n_{(1)}(0, T_a))^2 = 1 - (n^+(0, T_a)/n_{\max}(T_a))^2. \quad (6)$$

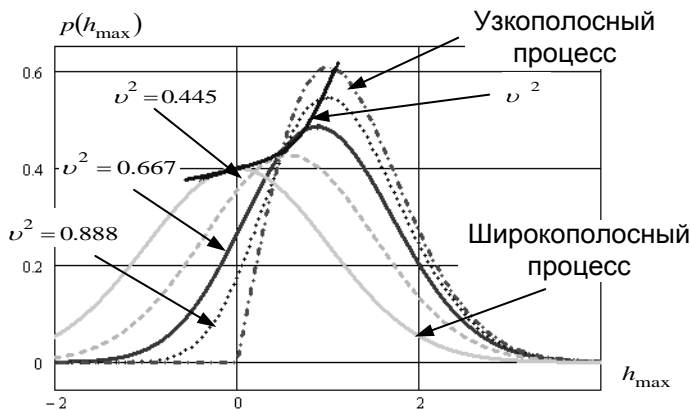


Рисунок 5 Плотность вероятности высоты локальных максимумов при различных значениях характеристики  $\nu^2$

Характеристика  $\nu^2$  определяется корреляционной зависимостью между  $\xi(t)$  и  $\xi'(t)$  в совпадающие моменты времени и содержит полную информацию о законе распределения высот локальных максимумов (Рисунок 5). Она позволяет проводить оценивание спектрально-корреляционных характеристик, используя характеристики «превышения уровня» (Таблица 1), но требует от телеметрируемых параметров как минимум дважды дифференцируемости на всем интервале анализа:

$$Q_{\text{диф } 2} = Q_{\text{диф } 2} \left( r_{\xi}(\tau) \Big|_{r_{\xi}^{(4)}(0) < \infty} \Big|_{T_a} \right).$$

Анализ результатов исследования зависимости функций плотности вероятности высот локальных максимумов от характеристики  $\nu^2$  позволил сделать вывод, что зависимость изменения  $\nu^2$  этих трех моделей (Таблица 1) близка к линейной, а сами значения равномерно перекрывают диапазон от узкополосного гармонического  $\nu^2 = 0$  до широкополосного  $\nu^2 = 1$  процессов (Рисунок 5).

Проведенные исследования телеметрической информации, полученной в ходе летных испытаний и штатной эксплуатации семейства ракет-носителей «Союз-2» позволили:

- уточнить множество ограничений  $Q$ , накладываемых на класс телеметрируемых параметров и алгоритмы их обработки, а именно: ограничение на время обработки, конечность дисперсии, дважды дифференцируемость, резкое отличие свойств информационной и аномальной компонент, количество результатов измерений, содержащих аномальную погрешность, много меньше остальных, обосновать двухкомпонентную модель информационных процессов в виде «смеси» распределений (3), разделять информационную и аномальную компоненты телеметрической информации, получать несмещенные оценки моментов одномерных распределений, используя соотношения (5), оперативно классифицировать телеметрируемые параметры по форме спектра и оценивать их обобщенные спектрально-корреляционные характеристики.

Таким образом, использование соотношений (5) и типовых спектральных плотностей (Таблица 1) дает возможность проводить совместное оценивание моментов одномерных распределений и обобщенных спектрально-корреляционных характеристик и позволяет разработать алгоритмы оперативной подготовки телеметрической информации, удовлетворяющие введенному множеству показателей качества  $w$ . При этом:

- достоверность ( $w_{\text{досто}}$ ) обеспечивается возможностью разделения информационной и аномальной компонент по критерию Неймана-Пирсона с заданным значением вероятности пропуска результатов измерений, содержащих аномальную погрешность (величина  $\alpha$  - «загрязнения» телеметрируемых параметров);
- робастность ( $w_{\text{роб}}$ ) оценивания моментных и обобщенных спектрально-корреляционных характеристик достигается использованием характеристик «превышения уровня», инвариантных к дисперсии телеметрируемых параметров;
- оперативность ( $w_{\text{оп}}$ ) достигается за счет совместного оценивания моментных и обобщенных спектрально-корреляционных характеристик телеметрируемых параметров.

Таблица 1 Характеристики «превышения уровня» и спектрально-корреляционные характеристики информационных процессов с различными формами спектра

№	$\kappa$	$\nu^2$	$S(\omega)$	$r(\tau)$	$-r''(0)$	$\Delta f_s^*$	$n^+(0,1)$	$n_{\text{max}}(1)$
1	0.399	0.667	$\sqrt{\frac{\pi}{\kappa}} \exp\left(-\frac{\omega^2}{4\kappa}\right)$	$\exp(-\kappa\tau^2)$	$2\kappa$	$\frac{2.508n^+(0,1)}{(1+\gamma_2/8)}$	$0.225\sqrt{\kappa}\left(1+\frac{\gamma_2}{8}\right)$	$0.39\sqrt{\kappa}\left(1+\frac{\gamma_2}{8}\right)$
2	0.289	0.445	$\begin{cases} 2\pi/k, &  \omega  \leq k/2 \\ 0, &  \omega  > k/2 \end{cases}$	$\frac{\sin(k\tau/2)}{k\tau/2}$	$\frac{\Delta\omega^2}{12}$	$\frac{1.748n^+(0,1)}{(1+\gamma_2/8)}$	$0.046\Delta\omega\left(1+\frac{\gamma_2}{8}\right)$	$0.247\Delta\omega\left(1+\frac{\gamma_2}{8}\right)$
3	0.869	0.888	$\frac{16k^5}{3(k^2 + \omega^2)^3}$	$\left(1+k \tau  + \frac{1}{3}(k\tau)^2\right) \times \exp(-k \tau )$	$\frac{\kappa^2}{3}$	$\frac{3.538n^+(0,1)}{(1+\gamma_2/8)}$	$0.092\kappa\left(1+\frac{\gamma_2}{8}\right)$	$0.276\kappa\left(1+\frac{\gamma_2}{8}\right)$

В третьей главе проводится разработка алгоритмов оперативной структурно-параметрической обработки, удовлетворяющих множеству ограничений  $Q = \{Q_{\text{оп}}, Q_{\text{кон}}, Q_{\text{отл}}, Q_{\text{аном}}, Q_{\text{диф } 2}\}$  и множеству показателей качества  $W = \{W_{\text{опер}}, W_{\text{досто}}, W_{\text{роб}}\}$ ,

учитывающих структурную неоднородность, переключающуюся динамику и «разрушение структуры» телеметрируемых параметров.

Проведенные исследования и практика обработки телеметрической информации ракеты-носителя показывают, что результаты первичной обработки содержат как одиночные, так и группирующиеся аномальные измерения. Использование большинства известных методов и алгоритмов для обнаружения результатов измерений, содержащих аномальную погрешность, связано с существенными ограничениями, накладываемыми на класс телеметрируемых параметров, и, как правило, сопряжено с большим объемом вычислений, что существенным образом отражается на их достоверности и оперативности.

Для оперативного обнаружения аномальных результатов измерений, предлагается использовать согласованную фильтрацию квазиоптимальными конечноразностными фильтрами. При этом параметрическая адаптация конечноразностного фильтра выполняется с учетом специфики модели (3) и форм спектра телеметрируемых параметров (Таблица 1). Таким образом, алгоритм обнаружения результатов измерений, содержащих аномальную погрешность, представляет собой алгоритм обнаружения полезного сигнала на фоне помех.

Анализ спектральных характеристик оптимального фильтра для телеметрируемых параметров с детектируемыми формами спектра (Таблица 1) показал, что реальным фильтром может являться вычислитель четвертой конечной разности:

$$\Delta^4 \xi(t_i) = \sum_{j=0}^4 (-1)^j \binom{j}{4} \xi\left(t_i - \frac{j}{F_0}\right), \quad (7)$$

при котором он имеет однотипную с оптимальным фильтром частотную характеристику, описываемую выражением:

$$\left|S(f_0^*)\right| = 16 \sin^4\left(\frac{\pi f_0^*}{F_0}\right); \quad \text{при} \quad \frac{2\pi f_0^*}{F_0} \leq \pi,$$

где  $\binom{j}{4} = \frac{24}{j!(4-j)!}$  - число сочетаний из 4 по  $j$ ,  $f_0^*$  - оценка центральной частоты,  $F_0$  - частота дискретизации телеметрируемого параметра  $\xi(t)$ .

Обнаружение результатов измерений, содержащих аномальную погрешность, заключается в проверке гипотезы о том, принадлежит ли проверяемый результат генеральной совокупности, либо нет. Поскольку вероятность наличия результата измерений, содержащего аномальную погрешность, неизвестна, то для определения величины порога их обнаружения  $H_{\text{нор}}$  был использован критерий Неймана-Пирсона. Решение об обнаружении аномального результата измерений принимается по результату сравнения значения четвертой конечной разности  $\Delta^4 \xi(t_i)$  проверяемого измерения с рассчитываемым в реальном масштабе времени порогом  $H_{\text{нор}}$ . Значения порога зависят от моментных и спектральных характеристик  $\xi(t)$ . Правильность решения определяется величиной соотношения «сигнал-шум»  $\Gamma(F_0/2f_0^*)$  на выходе фильтра.

Величина адаптивного порога обнаружения  $H_{\text{нор}}$  определялась при гауссовом законе распределения амплитуды аномальной погрешности и вероятности их ложного обнаружения  $p_{\text{л.о}} < 10^{-3}$ . Как показали проведенные исследования, аналитические выражения для оперативного расчета величины адаптивного порога  $H_{\text{нор}}$  сложны, поэтому предлагается использовать аппроксимацию:

$$H_{\text{нор}} \approx \sqrt{-1.5 \Gamma\left(\frac{F_0}{2f_0^*}\right) \ln\left(\frac{\sqrt{2\pi}}{3} p_{\text{нр}}\right)}, \quad (8)$$

где  $p_{\text{нр}}$  - вероятность пропуска результата измерения, содержащего аномальную погреш-

ность. При этом отклонение (8) от точного значения на всей области определения  $H_{\text{пор}}$  составляет менее 0.5%. Пример результатов работы алгоритма приведен на Рисунок 6.

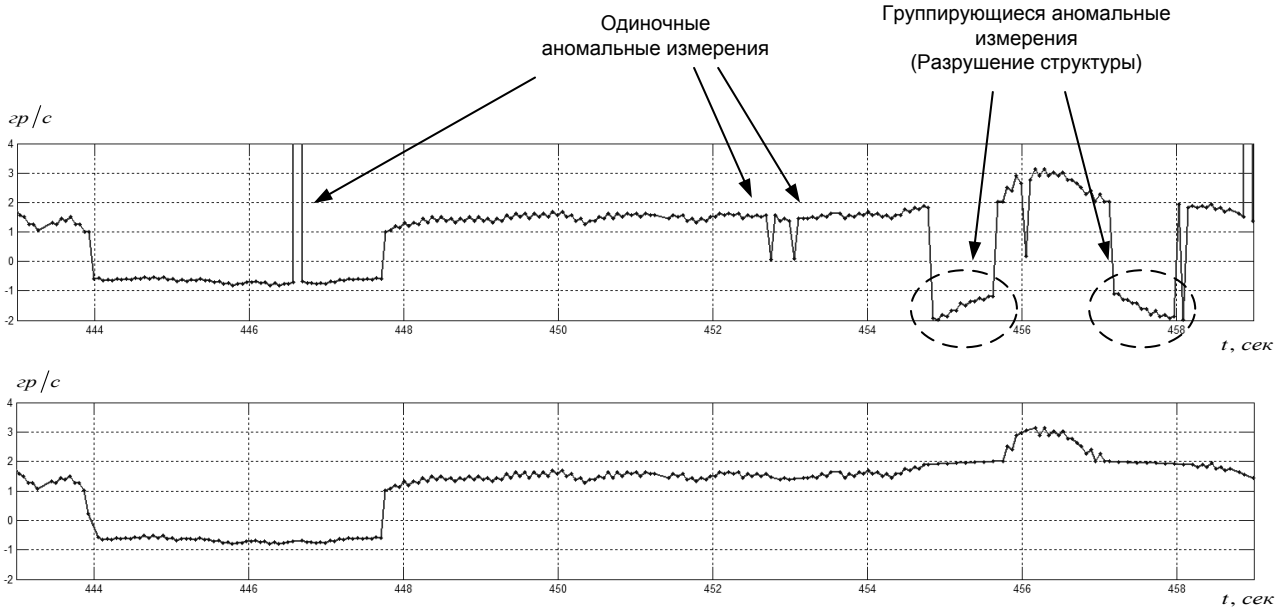


Рисунок 6 Телеметрическая информация, поступающая с датчика угловой скорости блока «И», ракеты-носителя «Союз-2»: *верхний* - до, *нижний* - после применения алгоритма обнаружения и исключения результатов измерений, содержащих аномальную погрешность

Достаточно распространенным алгоритмом получения оценки центральной частоты  $f_0^*$  телеметрируемого параметра  $\xi(t)$ , принимаемого на фоне шума, является подсчет числа пересечений «нулевого» уровня  $f_0^* = n^+(0, T_a) / T_a$ . Однако затягивание «хвостов» спектральной плотности  $\Delta f_s \neq 0$  и концентрация значений  $\xi(t)$  в окрестности математического ожидания приводит к смещению оценки  $f_0 = M \{f_0^*\} + \delta(f_0^*) = M \{n^+(0, T_a)\} / T_a + \delta(f_0^*)$ .

Для учета величины смещения воспользуемся взаимосвязью между вероятностными характеристиками, характеристиками «превышения уровня» (2) и аппроксимацией результирующей плотности вероятности телеметрируемых параметров рядом Эджворта (4). Учитывая, что  $r''(0) = 4\pi^2(f_0^2 + (\aleph \Delta f_s)^2)$ , число положительных пересечений  $n^+(0, T_a)$  «нулевого» уровня будет выражаться:

$$n^+(0, T_a) = \frac{T_a}{2\pi} \sqrt{2\pi(f_0^{*2} + (\aleph \Delta f_s)^2)} (1 + \gamma_2^*/8), \quad (9)$$

где  $\aleph$  - коэффициент формы спектра,  $\Delta f_s$  - оценка эффективной ширины спектра (Таблица 1). Таким образом, решая уравнение (9) относительно  $f_0^*$ , получаем оценку средней частоты с учетом смещения:

$$f_0^* = \sqrt{\left( \frac{n^+(0, T_a)}{T_a (1 + \gamma_2^*/8)} \right)^2 - (\aleph \Delta f_s)^2}, \quad (10)$$

Использование соотношения (10), с учетом (5), позволяет проводить оценивание центральной частоты  $f_0^*$  с учетом формы плотности распределения и формы спектра телеметрируемого параметра, не прибегая к быстрым преобразованиям Фурье.

Дисперсия полученной оценки  $f_0^*$ , при фиксированной форме спектра телеметрируемого параметра (Таблица 1) и малом  $\gamma_2^*$ , зависит только от дисперсии числа пересечений

$D[n^+(0, T_a)]$ , характеризуется гауссовым распределением при  $T_a \rightarrow \infty$  и составляет (с погрешностью не больше 1%):

телеметрируемые параметры с гауссовой формой спектра  $D[f_0^*] \leq 0.064 / T_a + 0.138 / T_a^2$ ,

телеметрируемые параметры с равномерной формой спектра  $D[f_0^*] \leq 0.033 / T_a$ ,

телеметрируемые параметры с формой спектра  $\aleph = 0.869$   $D[f_0^*] \leq 0.012 / T_a + 0.048 / T_a^2$ .

Для оперативного оценивания вероятности пропуска аномального результата измерений  $p_{np}$  в (8), используется зависимость  $\gamma_2^*(\alpha)$  (Рисунок 7), полученная в ходе имитационного моделирования различных «смесей» распределений (3). Тогда, задаваясь величиной вероятности появления аномалии на выходе фильтра  $p_{ан.вых}$ , вероятность пропуска составит

$$p_{np} = p_{ан.вых} / \alpha(\gamma_2).$$

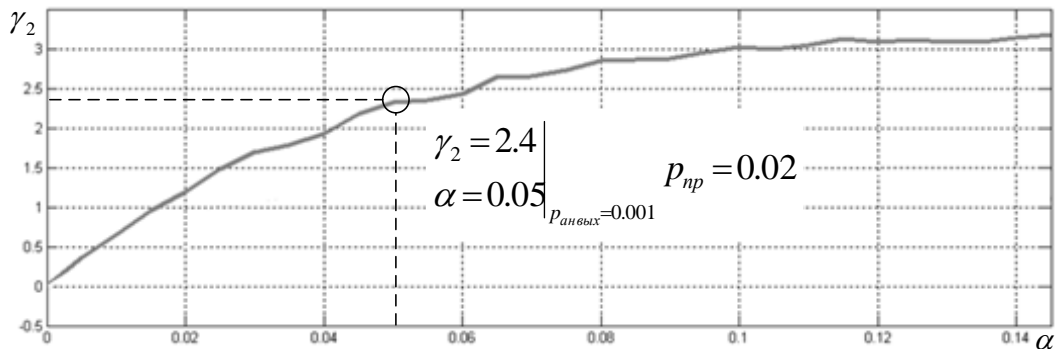


Рисунок 7 График зависимости эксцесса «смеси» гауссовых распределений от величины «загрязнения»

Использование специфики модели (3) и метрики  $v^2$  для классификации телеметрической информации по форме спектра (Таблица 1), позволило реализовать алгоритм структурно-параметрического оперативного обнаружения и исключения результатов измерений, содержащих аномальную погрешность, с постоянной структурой конечноразностного фильтра. Подсчет числа пересечений траектории телеметрируемых параметров на трех уровнях  $n^+(0, T_a)$ ,  $n^+(H, T_a)$ ,  $n^+(-H, T_a)$  и числа локальных максимумов  $n_{\max}(T_a)$  позволяет проводить оперативное оценивание его спектрально-корреляционных характеристик и величины  $\alpha$  - «загрязнения». Таким образом, значение порога обнаружения  $H_{пор}$  (8) результатов измерений, содержащих аномальные погрешности, адаптивно изменяется в зависимости не только от спектрально-корреляционных свойств телеметрической информации, но и от уровня его  $\alpha$  - «загрязнения».

**В четвертой главе** разрабатывается специальное программное обеспечение для оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации; производится настройка специального программного обеспечения и обработка экспериментальных данных, полученных в ходе летных испытаний и штатной эксплуатации семейства ракет-носителей типа «Союз-2»; проводится оценивание показателей качества обработки телеметрируемых параметров.

С целью реализации разработанных алгоритмов обобщенная схема оперативной подготовки телеметрической информации была представлена в виде ориентированного графа, вершины которого соответствуют модулям, реализующим базовые операции, а дуги – управляющие или информационные связи между ними. Этот подход позволил реализовать специальное программное обеспечение в составе комплекса автоматизированной подготовки исходных данных, разработанного в ЗАО «СКБ Орион». Разработанное специальное программное обеспечение позволяет пользователю, не знакомому с каким-либо языком программирования, в дружественной графической среде создавать, настраивать и тестировать

алгоритмы оперативной структурно-параметрической обработки телеметрируемых процессов, поступающих в реальном масштабе времени от ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов.

Экспериментальная проверка разработанных структурно-параметрических алгоритмов осуществлялась, с учетом введенного множества показателей качества  $w$ , путем обработки значений телеметрируемых параметров, полученных в ходе летных испытаний и штатной эксплуатации семейства ракет-носителей типа «Союз-2» в 2008-2016 годах. В качестве источников информации использовались функциональные и функционально-диапазонные параметры двигательных установок блоков «А», «И» и системы стабилизации углового движения ракеты-носителя с частотами опроса 50 – 200 Гц. Длительность динамически формируемой выборки, исходя из необходимой точности оценивания, была установлена равной 3.9 секунды.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что достоверность ( $w_{доct}$ ) получаемых результатов обеспечивается за счет разделения информационной и аномальной компонент по критерию Неймана-Пирсона.

Сравнение числа элементарных операций разработанного алгоритма совместного оценивания спектрально-корреляционных характеристик и величины загрязнения телеметрируемого процесса с использованием характеристик типа «превышений уровня» и алгоритмов с применением традиционных методов спектрального анализа показало увеличение показателя оперативности ( $w_{он}$ ) 1.95 раза (Таблица 2).

Таблица 2. Сравнение числа элементарных операций традиционных и разработанных алгоритмов

Алгоритм	Оценивание обобщенных спектрально-корреляционных характеристик и величины загрязнения с использованием характеристик превышения уровня	Оценивание обобщенных спектрально-корреляционных характеристик и величины загрязнения с использованием суммирования и БПФ
Количество операций	$9N$	$N(8 + \log_2 N)$
Количество операций на интервале анализа $T_a = 15\tau_k = 3.9$ сек Частота опроса 200 Гц	6759	13180

Проведенные экспериментальные исследования робастности получаемых результатов в соответствии с введенным показателем качества ( $w_{роб}$ ) выявили нечувствительности характеристик типа «превышения уровня» к дисперсии телеметрируемых процессов, что обуславливает робастность разработанных структурно-параметрических алгоритмов оперативной обработки к штатному и нештатному изменению режимов работы бортовых систем и агрегатов ракеты-носителя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предложено решение актуальной научно-технической задачи разработки модели и алгоритмов оперативной обработки телеметрической информации космических средств, учитывающие влияние формы плотности вероятности и обеспечивающие повышение достоверности, оперативности и робастности заключений о техническом состоянии ракеты-носителя на фоне флуктуационных помех, имеющей важное научное и практическое значение для развития космической отрасли, в том числе:

1. Обоснована и адаптирована вероятностная двухкомпонентная модель структурно неоднородных телеметрируемых процессов космических средств, в виде двухкомпонентной «смеси» гауссовых распределений.

2. Разработан алгоритм совместного оперативного оценивания моментов распределения, спектрально-корреляционных характеристик и уровня загрязнения телеметрируемых процессов с использованием характеристик типа «превышения уровня».



3. Разработан алгоритм оперативной структурно-параметрической обработки результатов измерений, содержащих аномальную погрешность, с адаптивно изменяемым порогом обнаружения, зависящим от формы плотности вероятности, спектрально-корреляционных характеристик и уровня «загрязнения», учитывающий переключающуюся динамику и «разрушение структуры» телеметрируемых процессов.

4. Разработан макет специального программного обеспечения оперативной структурно-параметрической обработки телеметрической информации семейства ракет-носителей типа «Союз-2» подтвердивший, что:

- достоверность получаемых результатов, обеспечивается за счет разделения информационной и аномальной компонент;
- повышение оперативности в 1.95 раза по сравнению с традиционными методами анализа;
- робастность получаемых результатов, при штатном и нештатном изменении режимов работы бортовых систем и агрегатов ракеты-носителя.

**Дальнейшие исследования** по данной тематике целесообразно проводить в следующих направлениях:

- уточнение перечня типовых форм спектра и оптимальности разбиения области определения обобщенной метрики  $\nu^2$  для оперативной классификации телеметрируемых процессов;
- исследование свойств модели результирующей плотности вероятности телеметрируемого процесса, отличной от смеси гауссовых компонент, а также исследование характеристик функционально-преобразованных процессов.

Полученные результаты соответствуют п. 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизация, управления, принятия решений и обработки информации» и п. 7 «Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем» паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» (технические системы).

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **В рецензируемых журналах из списка ВАК и изданиях, приравненных к ним:**

1. Николаев Д.А. Алгоритмы оценивания вероятностных характеристик информационных процессов по статистикам превышений уровней / Николаев Д.А., Каргин В.А., Скороходов Я.А., Шовкалюк А.П. // Труды МАИ. – 2015. - №84.
2. Николаев Д.А. Оценивание вероятностных характеристик телеметрируемых процессов ракет-носителей в реальном масштабе времени /Каргин В.А., Скороходов Я.А. //Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. - 2014.- № 644. - С. 161-168.
3. Николаев Д.А. Модель измерительной информации в системах мониторинга космических средств / Николаев Д.А., Каргин В.А., Россиев А.Ю, Бородько Д.Н. // Информационно-управляющие системы. – 2012. - №1. – С. 39-43.
4. Николаев Д.А. Особенности обработки телеметрической информации ракет-носителей в реальном времени / Николаев Д.А., Каргин В.А., Нездоровин Н.В., Самойлов Е.Б. // Информация и космос. - 2009 №4. – С. 77-82.
5. Николаев Д.А. Обнаружение и отбраковка аномальных результатов измерений для формирования исходной измерительной информации по ракете-носителю типа «Союз» / Николаев Д.А., Каргин В.А., Самойлов Е.Б. // Информация и космос. – 2008. - №4. – С. 83-87
6. Николаев Д.А. Унифицированная информационная технология мониторинга динамически изменяющихся состояний космических средств и средств НКУ на основе измерительной информации и представления его результатов на индивидуальных и коллективных средствах отображения / Николаев Д.А, Охтилев М.Ю., Ничипорович О.П. Чуприков А.Ю. и др.// Авиакосмическое приборостроение. – 2007. - №5. – С. 20-24
7. Николаев Д.А. Перспективные направления развития информационных технологий мониторинга состояния сложных космических объектов в реальном масштабе времени / Ни-

колаев Д.А., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Чуприков А.Ю. и др. // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. - № 11. С. 50-59.

**В других изданиях:**

1. Николаев Д.А., Обобщенная модель измерительной информации в системах телеметрии реального времени / Николаев Д.А., Каргин В.А., Майданович О.В., Россиев А.Ю. // Труды Международной научно-практической конференции «Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях», АИТА-2011, Москва, 4-8 апреля 2011 г.: ИПУ им. В.А. Трапезникова. – РАН 2011, С. 781-789.

2. Николаев Д.А., Каргин В.А., Фильтрация аномальных измерений при подготовке исходных данных для экспресс-анализа по ракете-носителю «Союз-2» / Николаев Д.А., Каргин В.А. // Труды Всероссийской НТК «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» под ред. Ю.М. Урличича, А.А. Романова. - М: Физматлит, 2009. – С. 215-220.

3. Николаев Д.А. Алгоритм многокритериального обнаружения и отбраковки выбросов по критерию Неймана-Пирсона с применением разностных фильтров / Николаев Д.А., Каргин В.А. // Труды всеармейской НТК «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». – СПб, 2008. – С. 252-253.

4. Николаев Д.А. Разработка средств повышения достоверности и уменьшения избыточности измерительной информации / Николаев Д.А. // Научная сессия ГУАП: Сб. докладов: В 4 ч., Ч. II. Технические науки. – СПб: Изд-во СПб ГУАП, 2009. – С. 207-210.

5. Николаев Д.А. Оценивание и аппроксимация вероятностных характеристик флуктуационных процессов в системах телеметрии реального времени / Николаев Д.А. // Научная сессия ГУАП: Сб. докладов: В 4ч. Ч. II. Технические науки. – СПб: Изд-во СПб ГУАП, 2010. - С. 160-163.

6. Николаев Д.А. Анализ особенностей телеметрической информации ракет космического назначения / Николаев Д.А., Охтилев М.Ю., Каргин В.А., Россиев А.Ю., Чуприков А.Ю. // Аэрокосмические технологии: Научные материалы Второй международной научно-технической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея Под ред. Симоньянца Р.П. – М: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – С. 189-190.

7. Николаев Д.А., и др. Вопросы реализации программного комплекса мониторинга состояния РН в РМВ / Николаев Д.А., Охтилев М.Ю., Каргин В.А., Чуприков А.Ю., и др. // Научная сессия ГУАП: Сб. докладов: В 4 ч. Ч. II. Технические науки. – СПб: Изд-во СПб ГУАП, 2011. – С. 146-150.

*Автореферат диссертации*

НИКОЛАЕВ  
Дмитрий Андреевич

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ОПЕРАТИВНОЙ  
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Текст автореферата размещен на сайтах:  
Высшей аттестационной комиссии Министерства образования  
и науки Российской Федерации

<http://vak2.ed.gov.ru/catalogue>

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского ин-  
ститута информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)

<http://www.spiiras.nw.ru/DissSovet/Templates/PhDSchedule.htm>

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз.

Заказ №

Отпечатано в ООО «Издательство «ЛЕМА»»

199004, Россия, Санкт-Петербург, В.О., Средний пр., д. 24

тел.: 323-30-50, тел./факс: 323-67-74

e-mail: [izd\\_lemma@mail.ru](mailto:izd_lemma@mail.ru)

<http://www.lemaprint.ru>