

УДК 62-529: 608.2

С.В. Тасенко, В.А. Чиженков, П.В. Шатов, И.А. Скороходов

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ В УСЛОВИЯХ
ВЫСОКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

Рассматриваются особенности управления космическими аппаратами в условиях возмущенной среды околоземного космического пространства, воздействие различных гелиогеофизических факторов на отдельные системы и элементы космических аппаратов, приведены результаты статистического исследования зависимости числа отказов от параметров среды, предложены методы защиты от вредного воздействия. Представлена система геофизического обеспечения безопасной эксплуатации космических аппаратов.

Космическая погода; вредное воздействие; космический аппарат; геофизическое обеспечение; геофизическая обстановка; управление полетом.

S.V. Tasenko, V.A. Chyzenkov, P.V. Shatov, I.A. Skorohodov

**ADVANCED SYSTEM OF GEOPHYSICAL SUPPORT OF FLIGHT CONTROL
IN CONDITIONS ON HIGH SOLAR**

The impact of different heliogeophysical factors on certain systems and elements of spacecraft is considered in the article, the statistical research results of the dependence the number of failure of environmental parameters are cited, and protective methods from adverse effect are offered. The features of space vehicle management in conditions of disturbed environment of near space are referred. The geophysical system of space vehicle safety operation is given.

Space weather; adverse effect; spacecraft; geophysical maintenance; geophysical situation; flight control.

1. Проблема геофизической безопасности космических аппаратов. В 2013 г. ожидается максимум очередного, 24-го цикла солнечной активности. Вследствие высокой активности Солнца возрастёт эффект разрушительного воздействия гелиогеофизических факторов [1, 2, 3, 4] на космические аппараты (КА), и поэтому рассмотрение проблемы геофизической безопасности КА сейчас особенно актуально.

К настоящему времени, в том числе при участии специалистов Военно-космических сил, накоплен значительный теоретический и статистический материал о воздействии геофизических факторов на КА. Доля сбоев и отказов по причине ГФФ может достигать 60 % от общего числа неисправностей на КА. В то же время методы прогноза аномалий на борту КА вследствие воздействия ГФФ в оперативной практике геофизического обеспечения космических войск не используются.

В настоящее время в рамках федеральной целевой программы Росгидромета «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008–2015 гг.» была разработана новая аппаратура для гелиогеофизических наблюдений, а также новые методы обработки, анализа и интерпретации гелиогеофизической информации, которые позволяют значительно повысить эффективность геофизического обеспечения управления КА.

Известно, что на бортовые системы КА влияют следующие факторы космического пространства: галактические космические лучи, солнечные космические лучи, радиационные пояса Земли [5, 6], ионизирующее электромагнитное излучение, геомагнитные бури и суббури [1]. Указанные факторы вызывают деградацию материалов КА [7, 8], электризацию поверхности КА, возникновение объёмного заряда внутри КА, сбои в электронике бортовых систем, нарушение связи с КА.

2. Методы прогнозирования и диагностики неисправностей. Своевременное прогнозирование неисправностей на КА является неотъемлемой частью их эффективной защиты в условиях агрессивной геофизической среды околоземного космического пространства. Некоторые неисправности, такие как электрические пробойи и сбои в каналах связи можно предугадать, измеряя различные параметры непосредственно на борту КА. Например, зная диэлектрическую проницаемость изоляции и измерив разность потенциалов на отдельных частях аппарата, довольно легко предсказать, где и когда произойдет пробой.

Другим подходом к прогнозированию неисправностей и сбоев на КА является статистический [9,10]. Совместный анализ сбоев на спутниках и вариации параметров ОКП дает возможность установить корреляционные связи между различными состояниями среды, в которой находится аппарат и возникновением на нем нештатных ситуаций.

Объединение этих методов делает возможным комплексный анализ состояния группировок спутников, схожих по определенным конструктивным характеристикам, и, при совместном рассмотрении геофизической обстановки, параметров на спутнике, его положения в пространстве, даст возможность прогнозировать аномалии на борту конкретного КА.

Схема взаимодействия различных методов приведена на рис. 1.

3. Статистический анализ аномалий на борту КА. Для уточнения возможной модели воздействия ГФФ на КА была рассмотрена база данных NASA, состоящая из более чем 5 000 аномалий и отказов на 260 спутниках за период с 1967 по 1994 гг. Диапазон высот орбит составляет от 820 до 54810 км, наиболее часто встречаются орбиты 17600 км и 35784 км.

Анализ функционирования КА данной базы в целом подтверждает статистику отказов отечественных КА.



Рис. 1. Методы прогнозирования и диагностики аномалий на борту КА

С целью выявления закономерностей был проведен статистический анализ зависимости среднего числа отказов в день от различных индексов геомагнитной активности.

В результате корреляционного анализа были выявлены зависимости между различными сбоями в системах КА и значениями индексов геомагнитной активности. Коэффициенты корреляции достигают значений 0,90–0,98, что подтверждает влияние геофизических факторов на КА, находящиеся в околоземном космическом пространстве.

Рис. 2 иллюстрирует рост числа отказов аппаратуры КА при увеличении абсолютного значения индекса геомагнитной активности Dst. Как видно из представленной гистограммы, в дни, когда геомагнитная обстановка нестабильна, отказы и аномалии на КА встречаются до 4-х раз чаще, чем в обычные дни.

Необходимо отметить, что геомагнитные бури являются катализатором вредного воздействия на КА и других гелиогеофизических факторов.

В работах [9, 10] был проведен подобный анализ и также были установлены устойчивые взаимосвязи между потоками высокоэнергетичных частиц и аномалиями на борту КА.

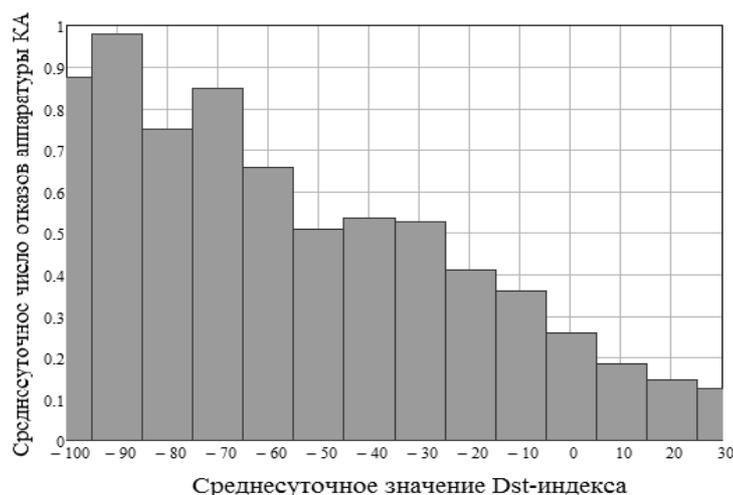


Рис. 2. Зависимость числа отказов от геомагнитной обстановки

4. Методы предотвращения сбоев и аномалий на КА. Методы и способы защиты КА от негативного влияния электризации можно разделить на технические и организационные. Под техническими понимаются те методы, которые реализуются в процессе разработки и изготовления КА. Такие методы предполагают, что в процессе эксплуатации КА в составе бортовой аппаратуры уже существует определенный набор технических средств защиты, а в эксплуатационно-технической документации изложены принципы и методика их использования. В свою очередь технические методы подразделяются на пассивные и активные способы защиты КА от воздействия электризации.

Организационные методы защиты разрабатываются и применяются в процессе эксплуатации КА при отсутствии в составе бортовой аппаратуры КА специальных технических средств защиты от воздействия гелиогеофизических факторов. Например, методы защиты от электростатического заряда в своей основе содержат определенный набор приемов и действий, применяемых в процессе штатной эксплуатации КА с целью исключения или снижения негативного воздействия электризации КА. Как правило, реализация таких мероприятий не ограничивает использование КА по целевому назначению.

В случае отсутствия на КА специальных технических средств защиты от влияния электризации в условиях воздействия гелиогеофизических факторов целесообразно разрабатывать и применять определенный набор организационных приемов. При необходимости можно также сочетать применение технических и организационных методов защиты. На рис. 3 показана структура различных методов защиты КА от воздействия электризации.



Рис. 3. Методы защиты КА от последствий электростатического заряда

Технические средства защиты обычно требуют изменения конструкции КА, что влечет за собой дополнительные расходы при проектировании и изготовлении аппарата, а также делает невозможным применение новых методов защиты на спутниках, уже находящихся в эксплуатации. Организационные методы защиты лишены этих недостатков. Далее описаны основные организационные методы защиты.

Планирование задействования наземных средств управления КА с учетом возможного воздействия ГГФ. Планирование наземных средств управления следует проводить с учётом возможного воздействия факторов околоземного космического пространства (ОКП) на бортовые системы КА.

Учитывая, что одним из основных факторов воздействия на КА является электростатический заряд поверхности, планировать активную работу КА со средствами наземного комплекса управления (НКУ) в режиме обмена информацией следует на освещенных Солнцем участках орбиты. Для определения степени освещенности данного участка орбиты необходимо иметь типовые материалы по освещенности КА, трассу полета и зоны видимости наземных средств НКУ. Накладывая на трассу полета зоны видимости средств НКУ и освещенные участки орбиты КА, необходимо в процессе планирования работ выбирать тот временной интервал, когда КА полностью освещен Солнцем. Данное обстоятельство связано с тем, что солнечное излучение снижает уровень заряженности КА, уменьшая тем самым вероятность образования разрядных процессов. Практический опыт применения данного метода планирования средств НКУ при управлении КА с наклоном 74 градуса и высотой около 800 км подтверждает его высокую эффективность. Число аномальных явлений в работе бортовой аппаратуры снизилось более чем в 2 раза.

Для каждого КА расположение теневых участков имеет свои особенности. Орбита геостационарных КА дважды в год проходит теневые участки: в период весеннего и осеннего равноденствий. Наибольшая длительность нахождения КА в тени составляет около полутора часов за один виток. Общая продолжительность времени, когда КА будет проходить теневые участки, составляет около 4–5 недель.

Длительность и расположение на протяжении полета теневых участков низкоорбитальных и других КА зависит от наклона и высоты орбиты.

Планирование режимов включений – выключений бортовых систем КА. Зарядка поверхности КА, происходящая в основном на теневых участках орбиты и существенно возрастающая при возмущениях в магнитосфере Земли, приводит к

появлению разрядов. Именно разрядные процессы, проходящие на поверхности КА и в объемных пространствах диэлектрических материалов, приводят к возникновению аномальных явлений в работе бортовых систем КА. Разряды возникают вследствие неравномерной заряженности поверхности КА. Одной из причин появления разрядных процессов является резкое изменение электромагнитной обстановки вблизи заряженной поверхности или объема. Данные причины играют роль спускового механизма, способствующего появлению разрядных процессов. Аналогичные причины разрядов были также упомянуты при исследовании закономерностей появления аномальных явлений на геостационарных КА [11]. Было установлено, что разряды могут происходить через некоторое время после приобретения заряда элементами КА и стимулироваться какими-то дополнительными, сравнительно слабыми воздействиями.

Таким процессом, например, является изменение магнитной обстановки вокруг КА, вследствие перехода в процессе полета из одной области пространства магнитосферы в другую, где уровень магнитных и электрических полей может быть существенно выше или ниже.

Другими процессами, которые приводят к резкому изменению электромагнитной обстановки вблизи КА, являются включения и выключения приборов и систем КА, связанные с появлением и прекращением излучения электромагнитной природы. К подобным процессам, в первую очередь, относятся включения и выключения передающих устройств. Эти изменения электромагнитной обстановки, в сравнении с изменениями электромагнитной обстановки во время движения КА вдоль орбиты, происходят за относительно короткие промежутки времени, что приводит к активному взаимодействию электростатического поля поверхности КА с изменяющимся полем вокруг КА.

Учитывая вышесказанное, при работе с КА в условиях повышенной солнечной активности необходимо уменьшать число включений–выключений бортовой аппаратуры. Особенно следует уменьшить число включений–выключений систем и устройств КА, при включении или выключении которых возникают резкие процессы, связанные с появлением или пропаданием электромагнитного излучения (например, передающие устройства). К аналогичным типам устройств, при включении или выключении которых наводятся вблизи переменные или резко меняющиеся по уровню электромагнитные поля, относятся различного типа токовые катушки, электромагнитные реле, дистанционные переключатели, электродвигатели и т.п.

В крайнем случае, если нет возможности произвести выключение какой-либо системы на освещенном участке орбиты, целесообразно, с точки зрения снижения вероятности возникновения разрядного процесса на поверхности КА, оставить систему включенной до момента выхода аппарата на освещенный участок орбиты, а только после этого произвести выключение.

Анализ уровня помеховой обстановки вокруг КА, возникающей вследствие разрядов и планирование работы бортовой аппаратуры КА в этих условиях. Наряду с непосредственным воздействием импульсных токов разрядов на электронные цепи и системы КА, возможно влияние электромагнитных полей, вызванных разрядами, на высокочувствительную аппаратуру, находящуюся как на самом КА, так и на других КА. Разрядные процессы, протекающие на заряженной поверхности, создают определенный фон помеховой обстановки вблизи КА. Радиус электромагнитной активности разрядных процессов может достигать десятков километров [11]. По уровню мощности, помехи, возникающие при разрядах, способны создавать на входе приемных устройств КА такое отношение сигнал/шум, при котором приемное устройство будет неспособно принимать разовые команды и другие управляющие сигналы с наземных средств при фиксированной выходной мощности последних. Частотный диапазон создаваемых помех находится в пределах

от единиц килогерц до сотен мегагерц. В основном, в неблагоприятных условиях с точки зрения создаваемой помеховой обстановки разрядными процессами на КА, находятся радиолинии метрового диапазона. Именно при работе со средствами НКУ, имеющими несущие частоты передающих устройств в этом диапазоне, следует прогнозировать и учитывать уровень вышеупомянутой помеховой обстановки.

Наиболее интенсивные процессы зарядки КА, а значит и высокий уровень помеховой обстановки из-за разрядных процессов, возникают в периоды прохождения КА теневых участков орбиты, а также при прохождении авроральных участков земной магнитосферы, где наиболее интенсивно происходит вторжение заряженных частиц во время буревых и суббуревых возмущений. Эти участки орбит КА проходят в широтах более порядка 65 градусов северной и южной широты. Таким образом, вблизи КА, имеющих наклонение орбит более 65 градусов в периоды высокой солнечной активности, складывается неблагоприятная помеховая обстановка, способная повлиять на прохождение информации на приемные устройства метрового диапазона. Но относительно высокий уровень данной помеховой обстановки можно прогнозировать на отдельных участках орбиты, а именно на теневых и проходящих в широтах более чем 65 градусов.

Планирование средств НКУ с учетом влияния электростатического заряда на прохождение информации в радиолинии Борт-Земля. При прохождении КА теневых участков орбиты, а также участков, расположенных в широтах более чем 65 градусов, в периоды высокой солнечной активности на поверхности КА возникает электростатический заряд, который в том числе оказывает влияние на работу радиолинии Борт-Земля. Данное влияние выражено, во-первых, в том, что наличие заряда приводит к возникновению электрических пробоев между элементами оборудования, находящимися под напряжением и корпусом КА. Подобные пробои могут приводить к выходу из строя выходных каскадов передающих устройств и других приборов. Во-вторых, наличие заряда может приводить к закорачиванию активных элементов антенных систем КА (вibratorов, излучателей и т.п.). Второй эффект может приводить к длительному по времени нарушению каналов Борт-Земля, Земля-Борт. Внешними признаками таких явлений для радиолинии Борт-Земля могут быть периодические пропадания на приемных средствах НКУ сигнала с борта КА, периодические и непериодические пульсации несущих частот, замирания сигналов, снижение уровня мощности принимаемого сигнала, сбои и повышение уровня недоверности принимаемой информации и ряд других признаков. Данные проявления в работе радиолинии Борт-Земля очень хорошо коррелируют с прохождениями КА опасных с гелиогеофизической точки зрения участков орбит, а также с гелиогеофизическими возмущениями.

Учитывая возможность функционирования бортовых приемных и передающих устройств КА с вышеописанными проявлениями, следует прогнозировать высокую вероятность их появления в периоды высокой солнечной активности при гелиогеофизических возмущениях, и планировать работу бортовых систем КА и наземных средств НКУ или на безопасных участках орбиты, или при отсутствии гелиогеофизических возмущений.

5. Необходимость создания системы геофизического обеспечения безопасной эксплуатации КА. Для обеспечения возможности своевременной и эффективной защиты КА от вредного воздействия необходимо проводить постоянный мониторинг солнечной активности и параметров среды в околоземном космическом пространстве. В совокупности со сведениями об устройстве космических аппаратов и статистикой их эксплуатации это даст возможность создать автоматизированную систему геофизического обеспечения управления КА, осуществляющую функции предсказания неисправностей на борту КА и выдачи рекомендаций по их предотвращению или уменьшению вредного воздействия.

Наиболее эффективной реализацией данной системы будет создание программно-аппаратного комплекса, который будет осуществлять сбор данных измерений и расчеты в реальном времени.

Следует выделить основные подсистемы разрабатываемого комплекса:

- ◆ Система сбора исходных данных (ССИД) осуществляет оперативный сбор данных о текущем состоянии и прогнозах космической погоды.
- ◆ Система расчетных моделей (СРМ) на основании данных о конструктивных особенностях конкретного аппарата, данных о состоянии среды в ОКП и данных о местоположении объекта и его траектории, выбирает модель воздействия, наиболее полно описывающую взаимодействие аппарата со средой.
- ◆ Система принятия решений (СПР), анализируя поступающую информацию, выдает оперативные рекомендации по защите КА от воздействия среды.
- ◆ Система реализации решений (СРР) в автоматическом, полув автоматическом или ручном режиме корректирует программу полета с учетом выдвинутых рекомендаций.

Структурная схема системы показана на рис. 4.

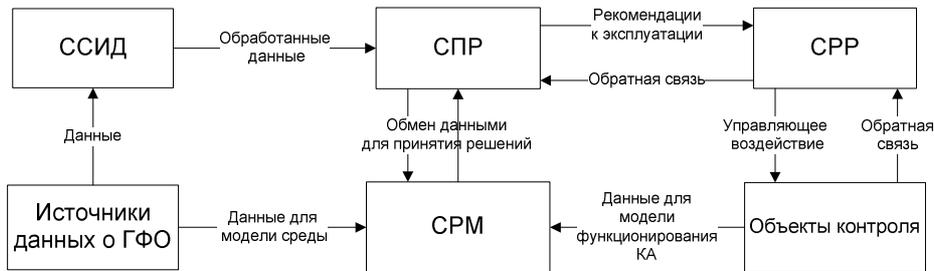


Рис. 4. Перспективная система геофизического обеспечения безопасной эксплуатации КА

В процессе реализации описанных выше принципов планируется создание программного комплекса, в задачи которого входит анализ данных мониторинга ОКП, и выдача рекомендаций по особенностям эксплуатации КА в условиях неблагоприятного влияния космической погоды на основании моделирования различных геофизических процессов и их воздействия на материалы и системы КА. Статистические данные по аномалиям на современных КА планируется собирать при участии специалистов войск ВКО.

Данную систему можно также использовать и в учебных целях при подготовке специалистов геофизической службы, в том числе и в Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского.

Выводы и рекомендации. Высокая солнечная активность в годы максимума 24-го цикла и связанное с ней повышение геомагнитной активности будут оказывать значительное влияние на группировки КА различного, в том числе военного назначения. Количество сбоев и отказов бортовых систем КА значительно возрастет, что негативно скажется на качестве выполнения их целевых задач. Для предупреждения негативного влияния космической погоды на выполнение задач КА необходимо создание специализированной системы геофизического обеспечения.

Организационные методы повышения надёжности КА имеют преимущества перед другими в своей простоте и возможности применения к уже функционирующим на орбите КА. Как показала практика, применение таких методов может продлить срок службы бортовой аппаратуры в 1,5–2 раза.

При определении расчётного срока службы аппаратуры и материалов КА, особенно полупроводниковых материалов солнечных батарей, важно учитывать 11-летний цикл солнечной активности.

Разрабатываемую модель комплексного воздействия ГФФ на материалы и бортовую аппаратуру КА планируется применить в существующей системе мониторинга гелиогеофизической обстановки, что позволит давать рекомендации управлению бортовой аппаратурой во время повышенной солнечной активности и в целом повысить эффективность применения космических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гальперин Ю.И., Дмитриев А.В., Зелёный Л.М., Панасюк М.И. Влияние космической погоды на безопасность космических полётов // www.kosmofizika.ru.
2. Кузнецов С.Н., Мяжкова И.Н., Юшков Б.Ю., Муравьева Е.А., Кудела К. Влияние экстремально высокой солнечной активности в октябре–ноябре 2003 г. на околоземное космическое пространство – космическая погода // Солнечно-земная физика. – 2005. – Вып. 8. – С. 85-88.
3. Мяжкова И.Н. Геоэффективность солнечной активности и космическая погода // НИИЯФ МГУ: электронный учебник.
4. Морозова Е.И., Безродных И.П., Семёнов В.Т. Радиационные факторы риска для космических аппаратов // Вопросы электромеханики. – 2009. – Т. 112.
5. Гецелев И.В., Гусев А.А., Дарчиева Л.А. и др., Модель пространственно-энергетического распределения потоков захваченных частиц (протонов и электронов) в радиационных поясах Земли. – М.: НИИЯФ МГУ, 1991. – 241 с.
6. Гецелев И.В., Подзолко М.В., Безродных И.П., Семенов В.Т., Фадеев В.М., Ходненко В.П. Влияние ионизирующих излучений в околоземном космическом пространстве на КА «Метеор-М» №1 // Вопросы электромеханики. – 2009. – Т. 112.
7. Акишин А.И., Новиков Л.С. Космическое материаловедение // НИИЯФ МГУ.
8. Акишин А.И., Новиков Л.С. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
9. Романова Н.В., Пилипенко В.А., Ягова Н.В., Белов А.В. Статистическая связь частоты сбоев на геостационарных спутниках с потоками энергичных электронов и протонов // Космические исследования. – 2005. – Т. 43, № 3. – С. 186-193.
10. Piliipenko V., Yagova N., Romanova N., Allen J. Statistical relationships between satellite anomalies at geostationary orbit and high-energy particles // *Advances in Space Research* 37. – 2006. – С. 1192-1205.
11. Панасюк М.И., Новиков Л.С. Модель космоса. – 2007. – Т. 2.
12. Панасюк М.И., Новиков Л.С. Модель космоса. – 2007. – Т. 1.
13. Гобчанский О., Кузнецов Н. Устойчивость IBM PC совместимых контроллеров к радиационным сбоям на орбитах космических аппаратов // Разработки космонавтики, СТА. – 2005. – № 3.
14. Безродных И.П., Семёнов В.Т. Ливни релятивистских частиц внутри космических аппаратов типа «Метеор» // Вопросы электромеханики. – 2009. – Т. 113.
15. Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю. Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 5-35.
16. Григорьев А.В., Стародубцев И.Г., Усокин С.А., Мурсула К. Флуктуации космических лучей по измерениям на космических аппаратах в цикле солнечной активности // ВЕСТНИК ЯГУ. – 2006. – Т. 3, № 1.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор И.В. Гецелев.

Тасенко Сергей Викторович – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова»; e-mail: tasenko@mail.ru; 129128, г. Москва, ул. Ростокинская, 9; тел.: +79032422990; заместитель директора по научной работе; к.т.н.

Чиженков Валерий Александрович – e-mail: b1771@g2.ru; тел.: +79168559299; к.ф.-м.н.

Шатов Павел Викторович – e-mail: p.v.shatov@mail.ru; тел.: +79265820658; аспирант.

Скорородов Илья Александрович – e-mail: i.skorohodov@gmail.com; тел.: +7 (926)147-2940; аспирант.

Tasenko Sergey Viktorovich – Federal State budgetary establishment “Institute of Applied Geophysics”; e-mail: tasenko@mail.ru; 9, Rostokinskaya street, Moscow, 129128, Russia; phone: +79032422990; deputy director on science; cand. of eng. sc.

Chyzenkov Valeriy Aleksandrovich – e-mail: b1771@g2.ru; phone: +79168559299; dr. of phis.-math. sc.

Shatov Pavel Viktorovich – e-mail: p.v.shatov@mail.ru; phone: +79265820658; postgraduate student.

Skorohodov Илья Александрович – e-mail: i.skorohodov@gmail.com; phone: +79261472940; postgraduate student.

УДК 004.021:621.11

В.И. Лачин, Д.А. Плотников

РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ САМОДИАГНОСТИКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ

Рассмотрены способы диагностики основных элементов интеллектуальных датчиков. Предложен метод определения работоспособности интеллектуального датчика вибрации без демонтажа первичного преобразователя с объекта измерения и без вывода этого объекта из рабочего режима. Приведено теоретическое обоснование метода, описан алгоритм его реализации. Обоснована целесообразность использования метода при создании интеллектуальных датчиков вибрации для систем вибромониторинга роторных машин.

Интеллектуальный датчик; вибромониторинг; пьезоэлектрический акселерометр.

V.I. Lachin, D.A. Plotnikov

ANALYSIS OF THE SELF-TESTING FUNCTIONS IMPLEMENTATION FOR INTELLIGENT VIBRATION SENSORS

This article considers ways to diagnose the basic elements of smart sensors. It describes serviceability determining method for smart vibration sensor without accelerometer removal from maintenance object and in operating condition of this object. Article gives the theoretical basis of the method, describes the algorithm implementation. The usefulness of the method shown to create smart vibration sensors for rotary machines vibration monitoring systems.

Smart sensor; vibration monitoring; piezoelectric accelerometer.

Термином «интеллектуальный датчик» (ИД) в настоящее время различные разработчики называют самые разнообразные устройства: от простейших, выполняющих аналоговое и последующее аналого-цифровое преобразование данных с целью передачи на следующий уровень измерительной системы, до более сложных, реализующих развитую обработку полученных данных с использованием численных методов. В данной статье указанным термином будем называть класс устройств, обеспечивающих выполнение следующего минимального набора функций: преобразование значений основных и дополнительных (при необходимости) измеряемых величин в электрические сигналы с последующим нормированием и аналого-цифровым преобразованием; выделение из полученной последовательности цифровых данных необходимых характеристик измеряемых величин (например, среднееквадратичное значение (СКЗ), амплитуды и фазы спектральных состав-