

## ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ДАТЧИКО-ПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Т.Д. Знаменская

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1  
 tzn957@gmail.com

Рассматривается вопрос надежности датчиков-преобразующей аппаратуры (ДПА) для ракетно-космической техники (РКТ). Отмечается принципиальное отличие РКТ от других отраслей техники и влияние этого отличия на подходы при разработке ДПА. Если представить техническую надежность  $F_t$ , информационную надежность  $F_i$  и информационную ценность  $P_i$  в виде векторов в декартовой системе координат, то в идеале — к чему должен стремиться разработчик — все три вектора должны быть единичными и составлять «идеальный кубик». При таком представлении исходная информация — физические явления в теле датчика — имеет единичную техническую и информационную надежность, но нулевую информационную ценность. По пути от нулевой к единичной ценности в каждом шаге преобразования информации теряется и информационная, и техническая надежность, все дальше уходя от идеальной модели. Одним из способов приближения к идеалу является интеллектуализация ДПА. Однако интеллектуализация путем введения в блок ДПА дополнительного устройства — микропроцессора — в области РКТ не является оптимальным решением. Приближением к идеальной модели будет, скорее, интеллектуализация усилителей и преобразователей, некоторое усложнение их принципиальной схемы для выполнения функций встроенного контроля. На основе анализа взаимодействия ДПА с системами управления РКТ предлагается введение «бита информационной надежности» (БИН), подобного биту четности, обеспечивающего достоверность передачи данных. Статья может быть полезна как преподавателям технических дисциплин, связанных с вопросами надежности датчиков-преобразующей аппаратуры, электронной и вычислительной техники, так и разработчикам бортовой аппаратуры РКТ.

**Ключевые слова:** надежность датчиков-преобразующей аппаратуры, техническая надежность, информационная надежность, интеллектуализация датчиков-преобразующей аппаратуры, бит информационной надежности

**Ссылка для цитирования:** Знаменская Т.Д. Вопросы надежности датчиков-преобразующей аппаратуры для ракетно-космической техники // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 125–133. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-125-133

Надежность — один из важнейших параметров любого изделия, но совершенно особое значение надежность имеет в ракетно-космической технике (РКТ). Это связано и с высочайшими материальными затратами на создание космических аппаратов, и с самыми высокими темпами прогресса, широким использованием инноваций, и, прежде всего, с тем, что от надежности в этой области техники зависит человеческая жизнь.

Надежность — сложное, комплексное понятие, и потому до середины прошлого века надежность оценивалась качественно, терминами «высокая», «низкая», «приемлемая» и т. п. И именно развитие РКТ послужило мощным стимулом развития теории надежности, созданию математического аппарата количественной оценки надежности [1, 2].

### Цель работы

Следует отметить принципиальное отличие возможностей обеспечения надежности в РКТ и других отраслях. Любое изделие, единичное или серийное, — автомобиль, здание, станок, прибор — проходит тестирование на надежность после изготовления, и в процессе эксплуатации выявленные недостатки и дефекты исправляются, в конструкцию вносятся изменения для повышения надежно-

сти, затем эксплуатация продолжается, оценивается результат изменений, выявляются новые недостатки и т. д. Идет привычный нам циклический процесс усовершенствования изделия, в том числе и повышения надежности. Важно, что сам объект при этом никуда не исчезает — даже если единичный образец прибора или автомобиля сгорает, или разбивается, объект как серийное изделие остается.

Но ракета изначально создается как объект исчезающий, она не может вернуться для повторных исследований и испытаний, как самолет или автомобиль, она разрушается после старта. И это определяет особый подход к обеспечению надежности РКТ — обеспечивается максимально возможная надежность всех компонентов, узлов и деталей на всех этапах создания изделия в расчете на то, что собранное из надежных частей изделие также будет надежным.

Все возможные источники и причины отказов должны быть выявлены до старта. Даже если отказ и авария происходят при старте, это, в каком-то смысле, «удача» — ведь можно исследовать обломки в поисках причины отказа. А если отказ произошел где-то на орбите или в дальнем космосе — материальных объектов для исследования причины отказа нет.

Именно поэтому в производстве изделий РКТ особое место занимает как обеспечение сбора, сохранения и полноты технологической информации, так и обеспечение сбора, сохранения и полноты информации от датчиков, дающих картину полета ракеты и работы космического аппарата. Исчезающая в полете ракета сохраняется на производстве в виде «фантома», в виртуальном, информационном виде, а ее функционирование в виде информации от датчиков — аналог авиационных «черных ящиков» — в центре управления полетом.

## Значение датчиков-преобразующей аппаратуры

Электронные системы управления — наиболее динамично меняющаяся часть изделий РКТ. Если по сути и основе своей конструкции современные ракеты-носители являются развитием семейства Р-7, созданного С.П. Королевым, то системы управления ракетносителями изменились кардинально [3].

По предложению С.П. Королева в 1959 г. в Московском лесотехническом институте для обеспечения потребностей ракетостроения в специалистах по бортовым системам управления был создан факультет электроники и счетно-решающей техники. С того времени принципиально изменилась и элементная база, и возможности вычислений, и сам подход к созданию систем управления — а это повысило качество изделий РКТ. Переход на цифровую систему управления в ракете-носителе «Союз 2.1а» [4], например, повысил ее точность выведения, устойчивость и управляемость, увеличил массу выводимой на орбиту полезной нагрузки на 250–300 килограмм. Но, как и прежде, основой основ в системах управления являются датчики — самый мощный бортовой компьютер становится бесполезным, если датчик выдал неверную информацию. Поэтому надежность датчиков зачастую определяет надежность всего изделия и возможность его функционирования. Требования к надежности датчиков как невосстанавливаемых устройств, исключительно высоки — 0,99...0,9999 [5, 6].

Для надежности датчиков характерна общая для всех технических изделий цикличность. Ученые предлагают принцип работы датчика, затем конструкторы и технологи доводят до совершенства конструкцию и надежность, доводят изделие до уровня «state-of-the-art», максимально высокого, до уровня искусства. Но за это время ученые находят новые принципы, предлагают новые идеи — и цикл конструирования и доводки повторяется заново, на более высоком уровне, идет классическое «развитие по спирали». Поэтому, оценивая достигнутый на текущий мо-

мент уровень надежности, надо представлять и прогнозировать дальнейшее развитие техники и оценивать перспективы [7].

## Объекты и методика исследований

Традиционно при обсуждении надежности датчиков-преобразующей аппаратуры принято оценивать надежность с точки зрения техники и технологий, т. е. работоспособности аппаратуры.

Но даже надежно работающая, не выходящая из строя аппаратура с точки зрения информатики может быть ненадежной, выдавать недостоверную, т. е. ненадежную информацию. Например, какая-нибудь наводка, помеха во входной цепи усилителя исказит сигнал датчика — и надежно работающая аппаратура обработает и передаст ненадежную, недостоверную информацию [8].

Если же рассматривать надежность ДПА комплексно, и с точки зрения техники, и с точки зрения информатики, то задача будет формулироваться не только в качестве обеспечения работоспособности аппаратуры, но в более общем виде: надежно получить, надежно передать, надежно сформировать информацию для потребителя (системы управления, как правило). При таком подходе понятие надежности в целом включает в себя и такое важное свойство информации, как достоверность [9].

Проследим путь информации в ДПА, оценивая на каждом этапе как надежность аппаратуры, так и надежность (достоверность) информации, а также такое ее свойство, как ценность. Для удобства и наглядности воспользуемся графическим представлением этих параметров.

Среди множества определений информационной ценности наиболее четко и точно этот параметр описан в [10]: «*Свойство информации, определяемое ее пригодностью к практическому использованию в различных областях целенаправленной деятельности человека*». По отношению к ДПА можно считать, что пригодным к практическому использованию становится цифровой код на выходе аппаратуры, содержащий значение измеряемого параметра в форме, пригодной для использования в системах управления РКТ.

Согласно ГОСТу Р 27.002–2009 «Надежность в технике. Термины и определения» надежность как параметр напрямую не определяется, характеризуется как «...свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания. Примечание — Данный термин используют только для общего нечисленного описания надежности» [11].

Надежность определяется по номенклатуре свойств (безотказность, долговечность, ремонтпригодность и т. д.) и набору обобщающих коэф-

фициентов, не имеет общепринятого буквенного обозначения. Но если в технической надежности, как в науке, имеется направление математической теории надежности (остальные два направления — статистическая и физическая теории), то в информатике определить математически такие свойства информации, как достоверность (информационная надежность) или полезность (информационная ценность), еще сложнее.

Можно воспользоваться определением информационной надежности, приведенном в [12]: «Информационная надежность характеризует правильность протекания информационных процессов в информационно-вычислительных системах в заданном интервале времени при заданных внешних условиях (в том числе при воздействии помех) в предположении полной исправности аппаратуры». Но и в этом случае надежность напрямую не определяется, а описывается как некая сложная функция от формы представления информации (аналоговая или цифровая), соотношения мощности полезных сигналов и помех, спектра сигналов, времени их действия, способов повышения помехоустойчивости и т. д.

С другой стороны, интуитивно мы понимаем, что идеальная надежность равна единице (или 100 %), как и идеальная ценность. Поэтому логично будет ввести обозначения технической надежности  $F_t$  и информационной надежности  $F_i$  (от латинского *firmus* — надежный, достоверный), а также информационной ценности  $P_i$  (от латинского *pretium* — цена, стоимость).

В идеальном случае для блока ДПА все три параметра,  $F_t$ ,  $F_i$ , и  $P_i$  будут равны единице, т. е. блок будет обеспечивать идеальную техническую надежность, идеальную информационную надежность (достоверность), и, как следствие, ценность предоставляемой информации будет равна единице — блок будет предоставлять достоверную информацию по любому запросу потребителя в любой момент времени.

Если отложить эти параметры на пространственной диаграмме [13], например,  $F_i$  по оси  $X$ ,  $F_t$  по оси  $Y$  и  $P_i$  по оси  $Z$ , то получим «идеальный кубик», характеризующий идеальный блок ДПА (рис. 1).

Но возможно ли реальное построение такого «идеального кубика»? Проследим шаг за шагом прохождение информации по всем звеньям ДПА и изменение указанных параметров. Рассмотрим достаточно типичный случай: аппаратура, состоящая из пассивного (параметрического) датчика и электронного блока, обеспечивающего цифровой код на выходе.

Информация возникает в теле датчика, как некий физический параметр. Поскольку параметр физический, объективный, заданный самой природой, то его информационная надежность (достоверность) идеальна, равна единице по

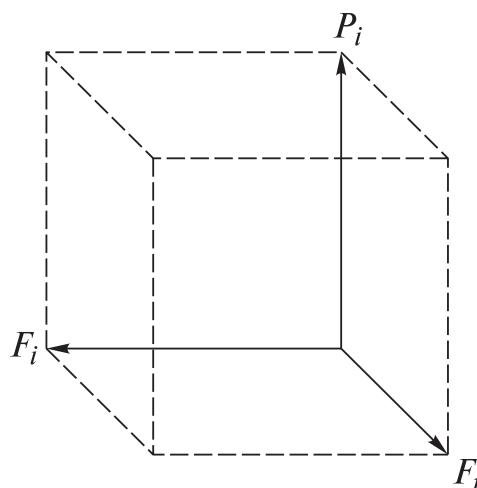


Рис. 1. «Идеальный кубик»  
Fig. 1. «Perfect Cube»

определению. Так же идеальна и его техническая надежность — сам по себе датчик не сломается, необходимо некое внешнее воздействие. Так что по осям  $X$  и  $Y$ , осям надежности, мы можем отложить по единице. Но информационная ценность этого параметра, пока он вещь в себе, внутри датчика, для нас нулевая, поэтому по оси  $Z$ , оси ценности, следует отложить ноль. Таким образом, в основании кубика мы видим «квадрат идеальной надежности» (рис. 2, а).

Для того чтобы перевести значение этого параметра в электрическую форму для дальнейшей обработки, следует, например, подать на датчик питание — и при этом на его выходе появится сигнал, по величине которого мы можем судить об измеряемом параметре. Таким образом, ценность информации для нас повышается. Но одновременно снижается техническая и информационная надежность. Техническая снижается по вполне очевидным причинам — любое повышение сложности устройства снижает его надежность. Но снижается и информационная надежность — просто в силу ограниченности наших познаний, поскольку мы интерпретируем физические явления в соответствии с текущим уровнем знаний о мире [14]. Следовательно, уже на первом шаге мы теряем какую-то долю надежности (рис. 2, б).

Зачастую датчик помещается в среду с агрессивными параметрами (температура, радиация, химическое воздействие и т. п.), в которой не может располагаться электронная аппаратура, поэтому сигнал с датчика передается по каналу на вход электронного блока, обычно аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Канал передачи также не идеален как по технической надежности, так и по информационной — возможно появление помех и наводок, которые исказят сигнал [15]. Значит и на этом шаге какая-то доля надежности будет потеряна (рис. 2, в).

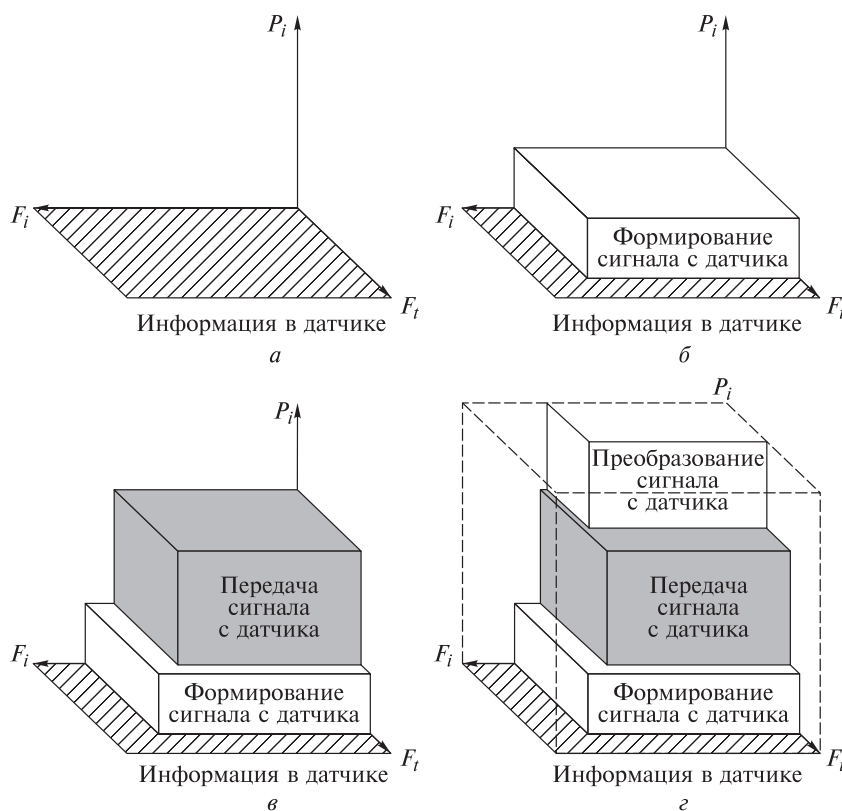


Рис. 2. Заполнение «идеального кубика»  
 Fig. 2. Filling the «perfect cube»

На этапе электронной обработки и преобразования сигнала также будут потери как в технической надежности (АЦП — сложное устройство), так и в надежности (достоверности) информационной — преобразование аналогового сигнала в код по своей сути связано с дискретизацией и округлением, т. е. неидеально точно. Но ценность цифровой информации для потребителя выше, чем аналоговой. В конце концов, получаем картину, представленную на рис. 2, г, — достигаем полной ценности  $P_i$ , но расплачиваемся за это некоторым снижением технической и информационной надежности.

Понятно, что приведенная диаграмма несколько упрощена, шаги по преобразованию сигнала в АЦП, например, могут быть представлены по отдельности, здесь просто иллюстрируется подход к оценке надежности датчиков-преобразующей аппаратуры.

**Особенности обеспечения информационной надежности. «Бит информационной надежности»**

Методы и подходы к обеспечению технической надежности достаточно хорошо известны и даже гостированы. Вместе с тем, обеспечение информационной надежности — достаточно мо-

лодое направление и цельность методики здесь еще не выработана, хотя важность ее постоянно возрастает по мере усложнения задач, возникающих в РКТ.

Основная особенность информационного сбоя — он оставляет последствия, но не оставляет следов. Если выход их строя аппаратуры имеет материальные проявления — обрывы и короткие замыкания, сгоревшие элементы и т. п., то установить причину, почему погиб исправный космический аппарат, очень сложно.

В этом смысле показательна потеря межпланетной станции «Фобос-Грунт» в 2011 г. Среди причин называли и воздействие мощного радара с поверхности Земли, и воздействие космического излучения — тяжелых заряженных частиц, и пролет в околоземном пространстве астероида 2005YU<sub>55</sub>, и некое плазменное образование на траектории полета станции, и магнитная аномалия над Бразилией [16, 17]. Но ни один из этих факторов не мог разрушить аппаратуру — была повреждена информация, нарушена ее достоверность.

Похожая ситуация была и с европейской межпланетной станцией «Скиапарелли» [18, 19] в октябре 2016 г., доставленной к Марсу российской ракетой-носителем «Протон-М» и разбившейся при посадке на Марс из-за сбоя в ДПА, которая выдала недостоверную информацию о высоте станции над поверхностью Марса. По заключению

Европейского космического агентства система измерения высоты на высоте 3,7 км над поверхностью Марса в течение одной секунды выдавала отрицательное значение высоты — и система управления отстрелила парашют, включила тормозные двигатели и ряд «наземных» приборов.

Методы обеспечения информационной надежности можно разделить на пассивные и активные. К пассивным можно отнести технические средства защиты от помех и наводок — экранирование, использование фильтров, оптических линий передачи сигнала, устранение кондуктивных связей и т. п. [20, 21]. К активным методам обеспечения информационной надежности следует отнести интеллектуализацию ДПА, введение в ее состав схем и программ контроля информации на достоверность.

В простейшем случае — как рассматривалось выше — ДПА содержит датчик, схемы формирования и передачи сигнала, и АЦП, обеспечивающий цифровой код на выходе. При этом достоверность, информационная надежность, остается как бы вне поля зрения: сигнал получен, преобразован, поставлен на выходе ДПА — а насколько он соответствует объективной действительности, неизвестно. Формально функция ДПА выполнена, а решение о достоверности может (или должно) приниматься системой управления, что требует расхода времени и вычислительной мощности, зачастую ограниченной выполнением других задач. На примере «Скиапарелли» видно, что данные о высоте над поверхностью априорно считались достоверными, система управления не сопоставляла их с косвенными и вычисляемыми данными (возможно, просто не хватало вычислительной мощности), что и привело к аварии.

Следовательно, для повышения информационной надежности в составе ДПА «Скиапарелли» должен был бы присутствовать блок внутреннего контроля, который контролировал бы выходной код АЦП по следующим пунктам:

- исходное значение — может ли при запуске/включении системы измеряемый параметр иметь такое значение (например, нулевое значение высоты при вхождении в атмосферу);
- диапазон значений (например, может ли быть высота отрицательной);
- шаг дискретности — может ли изменение параметра между двумя замерами превышать определенное значение, может ли функция быть не гладкой.

Перечень может быть расширен для конкретных версий ДПА.

Важно отметить, что такой блок внутреннего контроля может управляться центральным бортовым компьютером (или бортовой сетью) — менять настройку контроля параметров в зависимости от времени или этапа выполнения задания.

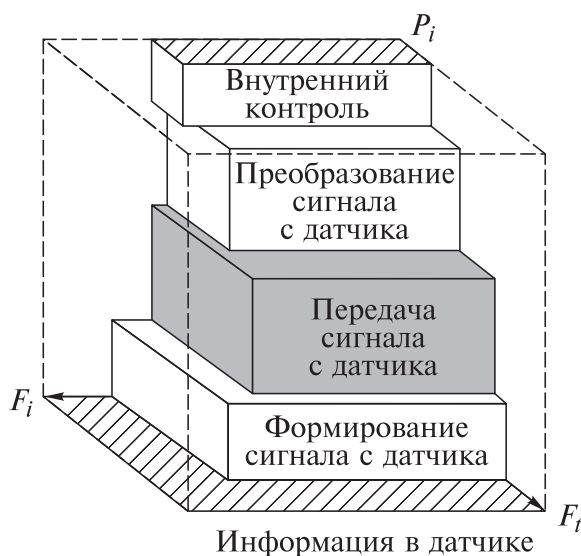


Рис. 3. Заполнение «идеального кубика» с внутренним контролем

Fig. 3. Filling the «perfect cube» with internal control

В ряде случаев, если заранее известно, какой должна быть величина измеряемого параметра, рационально выставлять на выходе ДПА не само значение параметра, а его отклонение от расчетного — это позволит или сократить число разрядов в коде, или повысить точность передаваемого параметра.

Рассмотрим, что дает в формировании «идеального кубика» ДПА введение внутреннего контроля (рис. 3). Шаг за шагом, слой за слоем, двигаясь от внутренней информации в датчике к получению цифрового кода, «товара с единичной ценностью», мы непрерывно теряли и техническую, и информационную надежность. Добавив контроль, мы потеряли еще какую-то долю технической надежности — любое усложнение снижает надежность, но зато именно на этом шаге мы получили повышение информационной надежности.

На пути от заштрихованной нижней грани кубика к верхней (которая тоже для наглядности заштрихована) мы впервые смогли получить увеличение площади верхнего слоя, уменьшили отступление от идеала.

Но вполне очевидно, что это увеличение ограничено — увеличивая сложность обработки исходной информации в блоке контроля и увеличивая информационную надежность  $F_i$ , мы тем самым увеличиваем его сложность, следовательно, уменьшаем техническую надежность  $F_t$ . Одновременное увеличение параметров по осям  $X$  и  $Y$  невозможно.

В принципе, такой контроль может реализовываться как аппаратно-программными (микропроцессор), так и схемотехническими средствами, в зависимости от конкретного случая.

Обычно, говоря об интеллектуальной датчиков-преобразующей аппаратуре, подразумевают, что в ее состав включается дополнительный блок — микропроцессор. Но, как показано выше, включение дополнительного блока в состав ДПА не всегда повышает качество его работы. Как правило, возможности стандартного микропроцессора явно превышают потребности контроля состояния и функционирования ДПА, а его излишняя сложность снижает общую техническую надежность изделия.

Разработанные для производственных, транспортных, бытовых и прочих целей стандарты, интерфейсы и протоколы интеллектуальных датчиков включают много избыточной информации и избыточных ресурсов, рассчитанных на универсальность и дальнейшее расширение сферы применения. Но для РКТ, а тем более для военного применения, любое неоправданное усложнение снижает надежность изделия в целом.

Поэтому оптимальным путем для приближения датчиков-преобразующей аппаратуры к идеальному выполнению своих функций будет не введение в ее состав дополнительного блока — микропроцессора, а интеллектуализация основных схем — как правило, усилителя и аналого-цифрового преобразователя. Самоконтроль и контроль небольшого набора значений параметров может быть реализован незначительным усложнением принципиальной схемы встроенного устройства контроля, по сравнению с дополнительным микропроцессором.

Важно, чтобы результат такой проверки не оставался «вещью в себе» — должен формироваться и вместе с кодом параметра выставляться на выходе ДПА «бит информационной надежности» (БИН), знак того, что данные имеют высокую информационную надежность. Значение этого бита должно быть равно логическому уровню «1», высокому уровню напряжения, — в этом случае аварийная ситуация, отключение питания, потеря датчика автоматически переведут его в состояние «0».

Мы настолько привыкли к «биту четности», обеспечивающему достоверность передачи данных в сетях и внутри компьютеров, что многие даже забыли о его существовании [22]. Вместе с тем, отказ от этого бита привел бы к тотальным сбоям и искажению информации. Таким же значимым может быть и введение «бита информационной надежности».

## Выводы

В РКТ введение «бита информационной надежности» позволило бы не только повысить надежность изделий, но и сэкономить вычислительные ресурсы систем управления. Его наличие позволило бы принимать для дальнейшей

обработки данные, как надежные и достоверные, а отсутствие — запускать процедуры контроля, проверки и косвенных вычислений параметров, знать, где возник сбой, использовать резервные возможности.

Введение в ДПА схем формирования «бита информационной надежности» позволило бы осуществить распределение вычислительного процесса, снижающее вычислительную нагрузку на центральную систему управления, что повысило бы надежность функционирования изделия в целом.

Следует также отметить, что в авиации, где летательным аппаратом управляет не бортовой компьютер, а человек, «бит информационной надежности» может оказаться еще важнее, чем в РКТ. Расследования авиакатастроф показывают, что зачастую причинами происшествий становятся вполне естественные человеческие эмоции пилотов, которые обучены и привыкли доверять показаниям приборов больше, чем самим себе. Бывали даже случаи, когда от самолета отрывался двигатель, а пилот, теряя драгоценные мгновения, продолжал пытаться управлять уже несуществующим двигателем из-за неверных показаний датчика [23], или на высоте пяти тысяч метров пытался уклониться от «опасной близости земли». В этом случае «бит информационной надежности» сразу предупредит пилота о недостоверности информации, и немедленно, без потери времени, направит его действия на поиск правильного решения.

## Список литературы

- [1] Марченко Б.И. Обеспечение надежности технических систем. СПб.: Нестор-История, 2016. 88 с.
- [2] Rayl A.J.S. NASA Engineers and Scientists-Transforming Dreams Into Reality // NASA Engineers and Scientists J., 2017, v. 50, pp. 17–21.
- [3] Куренков В.И., Волоцун В.В. Надежность изделий и систем ракетно-космической техники [Электронный курс лекций]. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2010. 116 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/1931922/> (дата обращения 15.07.2018).
- [4] Ракета-носитель «Союз 2.1а»: технические характеристики. URL: <https://ria.ru/spravka/20160427/1420488032.html> (дата обращения 06.07.2018).
- [5] Богущ М.В. Оценка механической надежности чувствительных элементов пьезоэлектрических датчиков // Датчики и системы, 2008. № 3. С. 2–9.
- [6] Sauser B. Nanosensors in Space // Technology Review, 2007, July, pp. 7–12.
- [7] Кругликов А.Г. Системный анализ научно-технических нововведений. М.: Наука, 1991. 120 с.
- [8] Дал У., Дейкстра Э., Хоор К. Структурное программирование. М.: Мир, 1975. С. 7–97.
- [9] Основные свойства информации – Достоверность информации. URL: <https://studfiles.net/preview/5577694/> (дата обращения 06.07.2018).
- [10] Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Системный подход. Киев: ТИД «Диасофт», 2004. 992 с.

- [11] ГОСТ Р 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200077768> (дата обращения 10.05.2018).
- [12] Чернявский Е.А., Недосекин Д.Д., Алексеев В.В. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с.
- [13] ГОСТ 2.317–69. ЕСКД. Аксонометрические проекции. URL: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/4/4589/index.htm> (дата обращения 15.07.2018).
- [14] Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989. 196 с.
- [15] Помехи и шумы в каналах передачи информации. URL: [https://studme.org/194638/tehnika/pomehi\\_shumy\\_kanalakh\\_peredachi\\_informatsii](https://studme.org/194638/tehnika/pomehi_shumy_kanalakh_peredachi_informatsii) (дата обращения 15.07.2018).
- [16] Основные положения Заключения Межведомственной комиссии по анализу причин нештатной ситуации, возникшей в процессе проведения летных испытаний космического аппарата «Фобос-Грунт». URL: <http://www.roscosmos.ru/18126/> (дата обращения 15.07.2018).
- [17] Кубарев .В. Что погубило «Фобос-Грунт»? // Пилотируемые полеты в космос, 2014. № 2 (11). С. 67–84.
- [18] Роскосмос и ЕКА. Специалисты расшифровывают телеметрию «Скиапарелли». URL: <http://www.roscosmos.ru/22770/> (дата обращения 15.07.2018).
- [19] Марсианский модуль Schiaparelli разбился из-за ошибки в измерительном блоке. Сообщение ТАСС. URL: <http://tass.ru/kosmos/3808176> (дата обращения 15.07.2018).
- [20] Денисенко В., Халявко А. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации // Современные технологии автоматизации, 2001. № 1. С. 68–75.
- [21] Blevis B.C. Space Technology // The Canadian Encyclopedia, 2012. February, 5. URL: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/space-technology> (дата обращения 17.07.2018).
- [22] Генри С. Уоррен, мл. Алгоритмические трюки для программистов. Гл. 5: Подсчет битов. М.: Вильямс, 2007. С. 288.
- [23] Авиакатастрофа в Амстердаме 4 октября 1992 года. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/tuwiki/1718254> (дата обращения 15.07.2018).

## Сведения об авторе

**Знаменская Татьяна Дмитриевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационно-измерительные системы и технологии приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [tzn957@gmail.com](mailto:tzn957@gmail.com)

Поступила в редакцию 29.08.2018.  
Принята к публикации 30.11.2018.

## RELIABILITY QUESTIONS OF SENSOR-TRANSFORMING EQUIPMENT FOR SPACE ROCKET ENGINEERING

T.D. Znamenskaya

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

tzn957@gmail.com

The current article explores issues related to reliability of transducers, used in missile and space equipment (MSE). The article notices the fundamental difference between the MSE and other branches of technologies, and the influence of this difference on approaches to developing transducers. If to provide technical reliability of  $F_i$ , information reliability of  $F_i$  and information value of  $P_i$  in the form of vectors in a Cartesian coordinate system, then ideally — at what the developer shall aim — all three vectors shall be single and make «an ideal cube». In case of such representation the initial information — the physical phenomena in a sensor body — has single technical and information reliability, but zero information value. As the value progresses from zero to one, each stage of the conversion process results in a loss of informational as well as technical reliability, moving away from the ideal model. One of the solutions that allow approaching the ideal model is intellectualization of transducers. However, intellectualization by an insertion of an additional device, a microprocessor, in the transducers system is a suboptimal solution in the field of the MSE. More likely, intellectualization of enhancers and converters, with a possible elaboration of their fundamental arrangements to accommodate the functions of inbuilt control. Based on analysis of interaction between transducers and the aerospace control systems, the proposal is made to introduce an Informational Reliability Bit, similar to a parity bit, which ensures validity of the data transferring. This article may be useful in teaching technical disciplines related to issues of reliability of analog-to-digital converters and computers, as well as in developing of vehicle-borne equipment for MSE.

**Keywords:** reliability of transducers, technical reliability, informational reliability, intellectualization of transducers, informational reliability bit

**Suggested citation:** Znamenskaya T.D. *Voprosy nadezhnosti datchiko-preobrazuyushchey apparatury dlya raketno-kosmicheskoy tekhniki* [Reliability questions of sensor-transforming equipment for space rocket engineering]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 125–133. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-125-133

### References

- [1] Marchenko B.I. *Obespechenie nadezhnosti tekhnicheskikh sistem* [Ensuring the reliability of technical systems]. Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2016, 88 p.
- [2] Rayl A.J.S. NASA Engineers and Scientists-Transforming Dreams Into Reality // *NASA Engineers and Scientists J.* 2017, v. 50, pp. 17–21.
- [3] Kurenkov V.I., Volotsuev V.V. [Reliability of products and systems of rocket and space technology. Electronic course of lectures]. Samara: Samara State Aerospace University, 2010. 116 p. URL: <https://www.twirpx.com/file/1931922/> (accessed 15.07.2018).
- [4] *Raketa-nositel' «Soyuz 2.1a»: tekhnicheskie kharakteristiki* [Soyuz 2.1a Booster: Technical Specifications]. URL: <https://ria.ru/spravka/20160427/1420488032.html> (accessed 06.07.2018).
- [5] Bogush M.V. *Otsenka mekhanicheskoy nadezhnosti chuvstvitel'nykh elementov p'ezoelektricheskikh datchikov* [Evaluation of the mechanical reliability of sensitive elements of piezoelectric sensors]. *Sensors and systems*, 2008, no. 3, pp. 2–9.
- [6] Sauser B. Nanosensors in Space. *Technology Review*, 2007, July, pp. 7–12.
- [7] Kruglikov A.G. *Sistemnyy analiz nauchno-tekhnicheskikh novovvedeniy* [System analysis of scientific and technological innovations]. Moscow: Nauka, 1991, 120 p.
- [8] Dal U., Deykstra E., Khoor K. *Strukturnoe programmirovaniye* [Structural programming]. Moscow: Mir, 1975, pp. 7–97.
- [9] *Osnovnye svoystva informatsii – Dostovernost' informatsii* [The main properties of information – Reliability of information]. URL: <https://studfiles.net/preview/5577694/> (accessed 06.07.2018).
- [10] Domarev V.V. *Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologiy. Sistemnyy podkhod* [Security information technology. Systems approach]. Kiev: TID «Diasoft», 2004, 992 p.
- [11] *GOST R 27.002–2009 Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [GOST R 27.002–2009 Reliability in engineering. Terms and Definitions]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200077768> (accessed 10.05.2018).
- [12] Chernyavskiy E.A., Nedosekin D.D., Alekseev V.V. *Izmeritel'no-vychislitel'nye sredstva avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov* [Measuring and computing means of automation of production processes]. Leningrad: Energoatomizdat, 1989, 272 p.
- [13] *GOST 2.317–69\* ESKD, Aksonometrichesknie proektsii* [GOST 2.317–69\* ESKD, Axonometric projections]. URL: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/4/4589/index.htm> (accessed 15.07.2018).
- [14] Vigleb G. *Datchiki* [Sensors]. Moscow: Mir, 1989, 196 p.
- [15] *Pomekhi i shumy v kanalakh peredachi informatsii* [Interference and noise in the transmission channels of information]. URL: [https://studme.org/194638/tehnika/pomehi\\_shumy\\_kanalakh\\_peredachi\\_informatsii](https://studme.org/194638/tehnika/pomehi_shumy_kanalakh_peredachi_informatsii) (accessed 15.07.2018).
- [16] *Osnovnye polozeniya Zaklyucheniya Mezhvedomstvennoy komissii po analizu prichin neshatnoy situatsii, voznikshey v protsesse provedeniya letnykh ispytaniy kosmicheskogo apparata «Fobos-Grunt»* [Main provisions of the Opinion of the Interdepartmental Commission on the analysis of the causes of the emergency situation that arose during the flight tests of the Phobos-Grunt spacecraft]. URL: <http://www.roscosmos.ru/18126/> (accessed 15.07.2018).
- [17] Kubarev Yu.V. *Chto pogubilo «Fobos-Grunt»? [What killed Phobos-Grunt?] Pilotiruemye polety v kosmos [Piloted flights into space]*, 2014, no. 2 (11), pp. 67–84.



- [18] *Roskosmos i EKA. Spetsialisty rasshifrovuyut teletetriyu «Schiaparelli»* [Roscosmos and ESA. Experts decipher Schiaparelli telemetry]. URL: <http://www.roskosmos.ru/22770/> (accessed 15.07.2018).
- [19] *Marsianskiy modul' Schiaparelli razbilsya iz-za oshibki v izmeritel'nom bloke. Soobshchenie TASS* [The Martian module Schiaparelli crashed due to an error in the measuring unit. TASS message]. URL: <http://tass.ru/kosmos/3808176> (accessed 15.07.2018).
- [20] Denisenko V., Khalyavko A. *Zashchita ot pomekh datchikov i soedinitel'nykh provodov sistem promyshlennoy avtomatizatsii* [Protection against interference of sensors and connecting wires of industrial automation systems]. *Modern Automation Technologies*, 2001, no. 1, pp. 68–75.
- [21] Blevis B.C. *Space Technology* // *The Canadian Encyclopedia*, 2012. February, 5. URL: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/space-technology> (accessed 17.07.2018).
- [22] Henry S. Warren, Jr. *Algoritmicheskie tryuki dlya programmistov. Gl. 5. Podschet bitov* [Algorithmic tricks for programmers. Ch. 5. Counting bits]. Moscow: Williams, 2007, p. 288.
- [23] *Aviakatastrofa v Amsterdame 4 oktyabrya 1992 goda* [Plane crash in Amsterdam on October 4, 1992]. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1718254> (accessed 15.07.2018).

## Author's information

**Znamenskaya Tat'yana Dmitrievna** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor at the Department of Information Measuring Systems and Instrumentation Technology of the BMSTU (Mytishchi branch), [tzn957@gmail.com](mailto:tzn957@gmail.com)

Received 29.08.2018.

Accepted for publication 30.11.2018.