

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036270**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.10.21

(51) Int. Cl. **H04B 17/40** (2015.01)
H04B 7/185 (2006.01)

(21) Номер заявки
201891281

(22) Дата подачи заявки
2016.11.28

(54) СИСТЕМА И СПОСОБЫ ПРОВЕРКИ НА ОРБИТЕ ПОДСИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

(31) **2,913,564**

(56) US-A1-20140073239
EP-A1-1083682
US-A1-20030017827
US-B1-6757858

(32) **2015.11.27**

(33) **СА**

(43) **2018.10.31**

(86) **PCT/CA2016/051397**

(87) **WO 2017/088067 2017.06.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ТЕЛЕСЭТ КЭНЭДА (СА)

(72) Изобретатель:
Рид Стивен, Йип Роджер (СА)

(74) Представитель:
**Угрюмов В.М., Лыу Т.Н., Глухарёва
А.О., Гизатуллина Е.М., Карпенко
О.Ю., Строкова О.В. (RU)**

(57) Изобретение относится к спутниковым системам и более конкретно к созданию новых систем и способов для проверки характеристик на орбите и работы подсистем спутниковой связи. В отличие от традиционного ТНО (тестирования на орбите) полезной нагрузки настоящее изобретение действует без восходящего сигнала путем генерирования специфических для аппаратных средств сигнатур с использованием изолированных внутренне генерируемых тепловых шумов. Установлено, что эти шумы создают очень стабильный, повторяемый сигнал для тестирования. Перед пуском выполняется последовательность команд ретранслятора для генерирования специфической для аппаратных средств сигнатуры, основанной на внутренне генерируемых шумах. Эта же последовательность команд ретранслятора затем выполняется на орбите для определения, изменилась ли специфическая для аппаратных средств сигнатура. Эти две сигнатуры могут записываться и сравниваться с помощью простого инструмента, такого как анализатор спектра. Кроме того, способы предусматривают новое использование Солнца в качестве источника тестовых сигналов для калибровки оборудования, количественного определения атмосферных воздействий и для использования как промежуточного опорного уровня мощности при проведении измерений.

036270
B1

036270
B1

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

Настоящее изобретение относится к спутниковым системам и, в частности, к созданию новых систем и способов проверки характеристик, функциональных возможностей и работы подсистем спутниковой связи на орбите.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

После того как вновь запущенный спутник достиг своей рабочей орбитальной высоты, необходимо провести ряд всесторонних тестов для подтверждения, что все компоненты системы связи благополучно перенесли суровые условия запуска, и что начальные характеристики отвечают техническому заданию на проектирование. Режим этих тестирований обычно называется "тестирование на орбите полезной нагрузки" или просто "ТНО полезной нагрузки". Традиционное начало "жизни" ТНО полезной нагрузки представляет собой ряд штатных и специальных радиочастотных (РЧ) измерений. После успешного завершения программы ТНО полезной нагрузки, включающей детальное сравнение вручную измеренных РЧ-параметров с предпусковыми прогнозами, чтобы убедиться, что характеристики отвечают проектным техническим характеристикам, спутник принимается у предприятия-изготовителя и готов для ввода в коммерческую эксплуатацию. В зависимости от сложности аппаратуры полезной нагрузки связи и возможностей системы ТНО на завершение ТНО полезной нагрузки обычно может потребоваться несколько недель. После ввода в коммерческую эксплуатацию измерения в рамках ТНО полезной нагрузки могут повторяться по мере необходимости, чтобы гарантировать дальнейшую оценку характеристик на орбите.

Традиционное ТНО полезной нагрузки на все более сложных полезных нагрузках практически невыполнимо без наличия сложных тестовых систем наземного базирования и групп технических экспертов для контроля их работы и анализа всех измеренных данных. Эти системы состоят из стоек радиочастотного тестового оборудования с компьютерным управлением, взаимодействующего со специализированными калиброванными наземными антеннами (зачастую в нескольких географических регионах), для генерирования кондиционированных радиочастотных (РЧ) сигналов. Эти сигналы позволяют точно измерять радиочастотные параметры, используемые для технической оценки характеристик подсистемы полезной нагрузки. На фиг. 1А-1С представлена блок-схема типичной конфигурации аппаратных средств и стоек радиочастотного оборудования для цепи передачи (земля-борт) и приема (борт-земля) наземной станции системы ТНО полезной нагрузки. В дополнение к наземным антеннам и приемопередающему оборудованию эта тестовая система обычно требует сложной компоновки синтезаторов радиочастотных сигналов, измерителей мощности, анализаторов сигналов, фазовращателей, объединителей фаз и контроллеров в цепи передачи для создания восходящего сигнала и столь же сложной компоновки дополняющих аналитических компонентов в приемной цепи. Несмотря на достижения в области оборудования для радиочастотных тестирований, автоматизации технологических процессов с помощью программных средств и сетевых интерфейсов, методы радиочастотных измерений многие десятилетия остаются относительно неизменными. Таким образом, на сегодняшний день стандартная процедура заключается в выполнении исчерпывающего набора высокоспецифических измерений, независимо измерения параметров радиочастотных эксплуатационных характеристик, когда бы ни потребовалось проверить, что летные характеристики подсистемы спутниковой связи на орбите отвечают спецификации.

Процесс ТНО полезной нагрузки, используемый в настоящее время в отрасли, все более усложняется из-за уверенности в том, что традиционные методики радиочастотных измерений по-прежнему гарантируют эффективную проверку характеристик сложных, многоцелевых полезных нагрузок спутниковой связи на орбите. Несмотря на дальнейшие расширения и усиления возможностей систем ТНО полезной нагрузки, мало что достигнуто в части требований сокращения времени, трудозатрат и рабочей силы для планирования и проведения программы ТНО полезной нагрузки с продолжающимся использованием традиционных методик радиочастотных измерений. Поэтому с каждым прошедшим годом становится все труднее планировать, координировать, выполнять и завершать анализ технических результатов программы ТНО полезной нагрузки в приемлемых временных рамках, требуемых для достижения, часто критических, корпоративных коммерческих целей.

Связанные со спутниками компоненты и ресурсы являются очень дорогими. Учитывая время и ресурсы, требуемые традиционным ТНО полезной нагрузки, существует необходимость в усовершенствованных системах и способах оценки работы и характеристик подсистемы спутниковой связи на орбите.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

Целью изобретения является создание усовершенствованной и вместе с тем упрощенной системы с новыми методиками для проверки работы и характеристик подсистемы спутниковой связи на орбите, позволяющей частично решить или устранить описанные выше проблемы.

Чтобы отличить предлагаемую систему и способ от традиционного ТНО полезной нагрузки, описанного в разделе "Предшествующий уровень техники настоящего изобретения", подход, описанный в основной части настоящего описания, именуется как "проверка на орбите (ПНО) полезной нагрузки. По сравнению с традиционным тестированием на орбите полезной нагрузки "проверка на орбите (ПНО) полезной нагрузки" предлагает оптимизированный подход для подтверждения, что характеристики на орбите, например, ретранслятора спутниковой связи отвечают техническим условиям и со времени запуска не изменились. Используя predetermined последовательности команд ретранслятора, выполняемых с

входом подсистемы связи, изолированным от внешней среды, ПНО создает специфические для аппаратных средств подписи, измеряемые с использованием обычного комплекта радиочастотного тестового оборудования наземного базирования, для проверки, не отклонились ли характеристики от предпусковых исходных данных (следует отметить, что "последовательность команд" или "последовательность конфигурирования" - это процесс поэтапного прохождения через разные рабочие состояния, которые может иметь полезная нагрузка спутника, т.е. могут быть проверены все интересующие состояния: включение и выключение разных выключателей, изменение значений параметров усиления и т.п.). Следовательно, ПНО может рассматриваться как тест самодиагностики, который в отсутствие активного внешнего радиочастотного входного сигнала позволяет непосредственно оценивать характеристики ретранслятора без необходимости в сложных и специализированных стендах для радиочастотных тестирований или высокоспециализированном персонале для обработки, анализа и интерпретации результатов. Кроме того, благодаря использованию в способе Солнца в качестве стабильного опорного источника радиочастотных сигналов устранена необходимость в специфических для ТНО калиброванных радиочастотных средствах. Для каждой последовательности конфигурирования ПНО с использованием обычного элемента наземного тестового оборудования, такого как анализатор спектра, сетевой анализатор или подобное устройство радиочастотных измерений, записывается бортовой самогенерируемый радиочастотный сигнал передачи, который конфигурируется и управляется дистанционно, без необходимости в высокоспециализированном персонале. Дополнительное радиочастотное тестовое оборудование или связанное с измерениями обеспечение взаимодействия с радиочастотным средством не требуются. Последующая обработка результатов ПНО, включая сравнение с предпусковыми исходными данными, осуществляется с использованием автоматизированных процедур анализа, разработанных конкретно для ПНО.

Тестирование тестируемого устройства (ТУ) требует ввода возбуждающего воздействия и измерения отклика. В традиционном тестировании на орбите (ТНО) полезной нагрузки спутниковой связи

а) возбуждающее воздействие, называемое восходящим сигналом, передается с Земли и принимается полезной нагрузкой спутниковой связи;

б) полезной нагрузкой спутниковой связи восходящий сигнал модифицируется и направляется или передается обратно на Землю как нисходящий сигнал; и

в) нисходящий сигнал (отклик полезной нагрузки) принимается наземным тестовым оборудованием и анализируется с целью определения и оценки характеристик полезной нагрузки связи.

Анализ результатов традиционного ТНО полезной нагрузки требует точного знания как возбуждающего воздействия, так и отклика, таким образом, требуя сложных систем, которые будут синхронизировать и измерять одновременно калиброванные радиочастотные восходящие и нисходящие сигналы, зачастую из разных географических мест. Этот анализ дополнительно усложняется трудностью в устранении воздействия внешних факторов, таких как атмосферные воздействия, потери и помехи в канале передачи радиочастотных сигналов и некалиброванные компоненты наземной системы измерения, также влияющие на отклик и отражающиеся на точности измерений.

ПНО решает вышеупомянутые проблемы анализа результатов традиционного ТНО за счет

а) исключения восходящего сигнала. Это значительно упрощает тестирование за счет исключения одной полной стороны тестового оборудования и устраняет необходимость синхронизации измерений восходящего и нисходящего каналов;

б) уменьшения наполовину внешних факторов за счет исключения неопределенностей восходящего канала путем изолирования входа тестируемого устройства (ТУ). Изолирование входа ТУ обеспечивает хорошо охарактеризованный температурный профиль, используемый для генерирования спектра шума, и уровень мощности, позволяющий измерять частотную характеристику ТУ, выходную мощность и коэффициент шума;

в) обеспечения полной калибровки нисходящего канала методом калибровки по Солнцу, описанным ниже; и

г) обеспечения расширения динамического диапазона измерения сигналов путем использования свойств аддитивности шума.

Основные новшества ПНО включают следующее.

а) Замена восходящего возбуждающего воздействия. Как уже отмечалось, все тестирование требует возбуждающего воздействия. Свойства возбуждающего воздействия должны быть "совместимыми" с ТУ в том, что ТУ должно быть способным генерировать эффективный и поддающийся количественному определению уровень шумов, как описано в настоящем документе. В традиционном ТНО полезной нагрузки восходящий сигнал имеет уникальные значения частоты, амплитуды, поляризации и модуляции, выбранные с таким расчетом, чтобы вызвать требуемый отклик полезной нагрузки. ПНО полезной нагрузки является полностью иной в том, что в этой проверке используются тепловые шумы, которые всегда присутствуют и хорошо определены по формуле мощности шума $N = kTB$ (где N - плотность мощности, k - постоянная Больцмана, T - температура в Кельвинах и B - ширина полосы в герцах). Полезная нагрузка связи на спутнике обычно находится в среде с регулируемой температурой. Поэтому входная нагрузка на спутнике будет оставаться, по существу, при одной и той же температуре, давая в результате устойчивый сигнал шума. О температуре полезной нагрузки можно получать телеметрические данные, и

при этом либо температура полезной нагрузки может регулироваться, как требуется, либо могут выполняться расчеты для поправки на разницу между предпусковой температурой и температурой на орбите. Учитывая, что шум является хорошо определенным источником энергии, при ПНО шум используется как возбуждающее воздействие для тестирования, устраняя при этом необходимость в восходящем сигнале. При ПНО используются шумы, генерируемые на входе полезной нагрузки, иными словами, шумы внутреннего генерирования. Это обеспечивает дополнительное усовершенствование тестирования в виде блокирования входа полезной нагрузки для исключения любых внешних влияний и сведения возбуждающего воздействия лишь к тепловым шумам из-за входной секции полезной нагрузки. Использование внутренних шумов в качестве возбуждающего воздействия эффективно переносит местоположение источника из наземного тестового средства на вход полезной нагрузки на спутнике, устраняя тем самым проблемы, связанные с внешними факторами, вызывающими нестабильность сигнала, помехи и неопределенность измерения восходящего сигнала.

б) Самотестирование характеристик. Тестирование полезной нагрузки может дополнительно усиливаться путем измерений отклика полезной нагрузки при разных настройках (например, режим усиления и режим работы). Регулированием внутренних настроек полезной нагрузки можно получить характеристики в разных эксплуатационных режимах работы без необходимости в регулируемом внешнем восходящем сигнале. Одновременное измерение отклика транспондера вместе с телеметрической сигнатурой (т.е. бортовые измеренные параметры аппаратных средств полезной нагрузки) обеспечивает полную оценку полезной нагрузки при поэтапном прохождении системы через ее рабочий диапазон с использованием предопределенной последовательности команд. Примеры измерений при тестировании включают коэффициент шума, частотную характеристику, ступени усиления, работу контура управления АРУ, характеристики кросс-поляризации передающей антенны, диаграммы направленности передающей антенны, передаваемую ЭИИМ усилителя и зависимость между телеметрическими данными усилителя и ЭИИМ;

в) Возможность самодиагностики. Оценка характеристик при традиционном ТНО полезной нагрузки требует анализа для определения преобразования между восходящим сигналом и нисходящим сигналом. Поскольку восходящий канал является уникальным для каждого теста, уникальной будет и каждая оценка, поэтому сравнение разных тестов будет иметь некоторую степень неопределенности. Напротив, использование при ПНО стабильного внутреннего шума значительно уменьшает вариабельность и обеспечивает высокий уровень повторяемости. В методике ПНО самогенерируемый входной сигнал шума является постоянным для большинства нормальных операций. Как результат, от теста к тесту нисходящий сигнал должен быть одним и тем же, обеспечивая тем самым упрощенную оценку характеристик: прямое сравнение ступеней и форм измеренного сигнала для любых двух тестов путем использования автоматических методов последующей обработки. Расхождение между тестами будет свидетельствовать об изменении характеристик полезной нагрузки. Оценка относительных ступеней сигнала обеспечивает намного более высокую повторяемость по сравнению с традиционными измерениями абсолютных значений.

г) Калибровка по Солнцу - радиочастотное оборудование наземной станции. При традиционном ТНО полезной нагрузки антенная система наземной станции должна калиброваться до тестирования ТУ. Ввиду ее размера и сложности не все части антенной системы могут быть полностью калиброванными. Например, характеристики больших антенн могут быть калиброванными лишь на выбранных частотах в поле из-за недоступности внешних широкополосных источников сигналов во всем диапазоне частот. Кроме того, при ТНО полезной нагрузки не учитываются полностью атмосферные воздействия, поскольку прямые функциональные возможности полностью исключить эти воздействия не могут. Для решения этих двух проблем используется метод калибровки по Солнцу, описанный в настоящем документе. Солнце является высокостабильным источником радиочастотной энергии с хорошо определенными и стабильными уровнями энергии в диапазоне радиочастот согласно формуле Планка. Кроме того, Солнце претерпевает атмосферные воздействия, идентичные атмосферным воздействиям, претерпеваемым радиочастотным сигналом спутника, что позволяет получить точный способ исключения атмосферных воздействий и других атмосферных потерь (т.е. потери между Солнцем и наземной станцией будут такими же, как потери между спутником и наземной станцией). При использовании Солнца в качестве тестового источника можно полностью определять и калибровать характеристики любой радиочастотной тестовой установки путем измерения спектра частот Солнца во всей интересующей полосе частот. Эта способность полностью охарактеризовать путь из космоса, через атмосферу и наземную станцию в устройство для радиочастотных измерений обеспечивает точность измерений, ранее не достижимую в данной области техники. Этот высокий уровень точности делает возможными измерения при тестировании, отличающиеся высокой повторяемостью и легкой сравнимостью для оценки характеристик.

д) Калибровка по Солнцу - уровень мощности. Второй аспект калибровки по Солнцу - это ее способность действовать как глобальный ориентир для измерений уровня мощности. При традиционном ТНО полезной нагрузки каждый тестовый комплект наземного базирования независимо калибруется для измерений уровня мощности в сравнении с сертифицированной "стандартной" антенной. Эта калибровка требует, чтобы тестовый комплект и стандартная антенна выполнили измерения удаленного источника, и

результаты их измерений затем приравниваются с использованием коэффициента калибровки. Точность традиционного способа ТНО полезной нагрузки ограничивается следующим.

i. Насколько хорошо оба ориентированы на источник, поскольку источник представляет собой относительно небольшую цель (обычно существующий спутник связи на геосинхронной орбите).

ii. Разница в чувствительности. Стандарт обычно на много порядков величины менее чувствителен, чем тестовый комплект. Эта большая разница обуславливает большое калибровочное значение для учета чувствительностей. Из-за большого калибровочного значения небольшие ошибки при измерении стандартом могут увеличиваться, приводя к дополнительным вносимым ошибками неопределенностям.

iii. Ограниченные тестовые частоты. Спутники обычно обеспечивают ограниченные частоты для теста либо из-за наличия, либо из-за конструкции полезной нагрузки. Как результат, калибровка не может быть непрерывной по всему спектру или может быть невозможной на нужной тестовой частоте.

Поскольку Солнце является фиксированным ориентиром и доступно для тестовых средств земного базирования, энергия Солнца может использоваться как общий калибровочный уровень для обеспечения согласованного измерения уровня мощности на всех тестовых участках. Использование Солнца как ориентира позволяет решить вышеупомянутые проблемы традиционного ТНО полезной нагрузки, поскольку

i) Солнце представляет собой намного большую цель, чем спутник, и его положение хорошо известно, и, соответственно, найти его и точно нацелиться на него легче;

ii) не требуется калиброванный стандарт. Солнечная энергия сравнивается непосредственно с известными характеристиками существующего источника, такого как предварительно протестированная полезная нагрузка спутника;

iii) все наземные средства имеют подобный размер, так что при калибровке разных тестовых комплектов увеличение ошибки значительно меньше;

iv) Солнце генерирует радиочастотный сигнал во всем спектре с хорошо определенным распределением энергии по формуле Планка. Калибровкой любой одной точки в спектре можно определить калибровку для всего спектра.

Согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения предлагается способ проверки на орбите полезной нагрузки, предусматривающий, после того как спутник запущен, на спутнике конфигурирование рабочих параметров полезной нагрузки в конкретное состояние, причем указанное состояние включает вход полезной нагрузки, конфигурированный (переключенный) на оконечное радиочастотное оборудование (внутреннюю нагрузку) или офлайн, в результате чего сигнал тепловых шумов самогенерируется полезной нагрузкой спутника; и обработку и передачу сигнала тепловых шумов со спутника на наземную станцию. И на наземной станции прием переданного сигнала тепловых шумов и сравнение полученного сигнала тепловых шумов с исходными данными для этого же состояния полезной нагрузки для определения, изменились ли характеристики и функциональные возможности полезной нагрузки связи.

Согласно еще одному варианту осуществления настоящего изобретения предлагается спутниковая система, содержащая: спутник на орбите и наземную станцию. Спутник предназначен для конфигурирования рабочих параметров полезной нагрузки в конкретное состояние, причем указанное состояние включает вход полезной нагрузки, конфигурированный (переключенный) на оконечное радиочастотное оборудование (внутреннюю нагрузку) или офлайн, в результате чего сигнал тепловых шумов самогенерируется полезной нагрузкой спутника; и обработки и передачи сигнала тепловых шумов со спутника на наземную станцию. Наземная станция предназначена для: приема переданного сигнала тепловых шумов и сравнения полученного сигнала тепловых шумов с исходными данными для этого же состояния полезной нагрузки для определения, изменились ли характеристики и функциональные возможности полезной нагрузки связи.

Согласно одному дополнительному варианту осуществления настоящего изобретения предлагается полезная нагрузка спутниковой связи, содержащая средства для конфигурирования рабочих параметров полезной нагрузки связи в конкретное состояние, причем указанное конкретное состояние включает вход полезной нагрузки, конфигурированный (переключенный) на оконечное радиочастотное оборудование (внутреннюю нагрузку) или офлайн, в результате чего сигнал тепловых шумов самогенерируется полезной нагрузкой связи; и средства для обработки и передачи сигнала тепловых шумов со спутника на наземную станцию.

Другие аспекты и признаки настоящего изобретения будут очевидны специалистам в данной области техники после ознакомления с приведенным ниже подробным раскрытием настоящего изобретения совместно с прилагаемыми чертежами.

Краткое описание фигур

Эти и другие признаки настоящего изобретения станут более очевидными при прочтении подробного раскрытия, выполненного со ссылками на прилагаемые чертежи, где

на фиг. 1А-1С представлены блок-схемы типичной конфигурации аппаратных средств и стоек РЧ-оборудования для цепи передачи (земля-борт) и приема (борт-земля) наземной станции системы ТНО известного уровня техники. В частности, на фиг. 1А представлена блок-схема для иллюстративной цепи "земля-борт" или восходящей цепи ТНО, а на фиг. 1В - блок-схема для иллюстративной цепи "борт-

земля" или нисходящей цепи ТНО,

на фиг. 2 - блок-схема типичной конфигурации аппаратных средств для наземной станции ПНО,

на фиг. 3 - типичная частотная характеристика для выходного сигнала транспондера спутниковой связи в отсутствие любого радиочастотного восходящего сигнала, демонстрирующая, как частотная характеристика канала (зависимость между частотой и амплитудой) может рутинно измеряться с использованием одной единицы радиочастотного тестового оборудования для захвата выходного сигнала "уровень шумов" транспондера, когда он возбуждается постоянными шумами на выходе бортового приемника спутниковой связи,

на фиг. 4 - каскадная диаграмма, показывающая изменение во времени амплитуды уровня шумов транспондера при изменении коэффициента усиления и режима тестируемого канала,

на фиг. 5 - иллюстративный график изменения во времени средней (обработанной) амплитуды уровня шумов транспондера и телеметрии УЛБВ (ток спирали и ток шины),

на фиг. 6 - иллюстративные графики передачи уровня шумов транспондера со связным приемником спутника, переключенным на антенну (онлайн) и на внутреннюю нагрузку (офлайн). Эти графики показывают, что при переключении на нагрузку величина уровня шумов транспондера остается достаточно высокой и, таким образом, может использоваться для измерений при ПНО,

на фиг. 7 - иллюстративный график, показывающий серию измерений разности (энергия транспондера спутника минус солнечная энергия), выполненных во времени,

на фиг. 8 - иллюстративный график, показывающий стабильный характер потока солнечного излучения частотой 15,4 ГГц, измеренного в трех географически разнесенных солнечных обсерваториях на ежедневной основе в течение более продолжительного времени (несколько недель),

на фиг. 9 - иллюстративный способ определения ЭИИМ тестовой несущей транспондера спутника путем использования Солнца и существующего спутника с опорной несущей,

на фиг. 10 - схема иллюстративной системы для проведения фаз как предпусковых (заводских), так и орбитальных измерений ПНО на спутнике Telstar 12V,

на фиг. 11А и В - иллюстративная последовательность способа получения результатов ПНО орбитальной фазы для показательного канала,

на фиг. 12 - иллюстративный захват экрана веб-инструмента, разработанного для результатов последующей обработки для ПНО спутника Telstar 12V,

на фиг. 13 и 14 - иллюстративные предпусковые данные после последующей обработки (радиочастотный выход усилителя и телеметрические данные) на веб-интерфейсе,

на фиг. 15 и 16 - дополнительные иллюстративные предпусковые данные после последующей обработки на веб-интерфейсе,

на фиг. 17 - иллюстративный график частотной характеристики канала, полученной во время предпускового тестирования спутника T12V, включая записи для маски частотной характеристики, характеристики уровня шумов и характеристики (традиционной) качающейся частоты, полученные при наземном тестировании,

на фиг. 18 - иллюстративный график тестирования УЛБВ, показывающий, что возбуждение от сигнала шума на вход УЛБВ увеличивается через линейный диапазон и в зону насыщения, где выход УЛБВ становится горизонтальным,

на фиг. 19 - иллюстративная диаграмма в виде столбиков измеренного изменения в дБ для каждого перехода состояния коэффициента усиления в последовательности ПНО при тестировании УЛБВ,

на фиг. 20 - иллюстративный график зависимости между выходом УЛБВ и телеметрическим током спирали УЛБВ (I_a) и током шины УЛБВ (I_b),

на фиг. 21 - графики теста работы контура управления АРУ,

на фиг. 22А и 22В - наглядная схема температурной модели Земли с использованием Ku-диапазона ЕКА (Европейского космического агентства) и результаты фактических измерений на орбите для изменения переданного уровня сигнала уровня шумов, когда бортовой приемник спутника Nimiq 1 переключался между портом приемной антенны и нагрузкой.

На разных фигурах для обозначения подобных компонентов использованы подобные позиции.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

Как вкратце объяснено выше, существует много проблем, которые могут отражаться на проектировании и выполнении традиционного ТНО полезной нагрузки. Эти проблемы усугубляются все большей сложностью конструкции и возможностей бортовых полезных нагрузок связи в сочетании с ограничениями, налагаемыми на координирование, если и когда ТНО полезной нагрузки может иметь место, чтобы минимизировать радиочастотные и в некоторых случаях физические помехи от соседних спутников. Это в сочетании с высокоспециализированным требованием к использованию наземных средств, способных проводить ТНО, будет продолжать повышать трудозатраты и стоимость, связанные с планированием и выполнением программы традиционного ТНО полезной нагрузки. Ниже перечислены примеры некоторых из проблем, связанных с планированием и выполнением программы традиционного ТНО полезной нагрузки. В каждом примере указаны преимущества, которые могут обеспечить предлагаемые система и способ ПНО.

1. Специализированные радиочастотные наземные средства.

Высокоспециализированные радиочастотные наземные средства, требуемые для поддержки традиционного ТНО полезной нагрузки, в дефиците по всему миру. Как результат, может оказаться крайне трудным разместить и зарезервировать средства, которые могут поддерживать ТНО для многоручевых спутников, покрывающих разные географические районы. Довольно часто ограничения доступности и ограничения на радиочастотную передачу и/или выдачи лицензий могут предотвращать использование подходящих базовых или наземных станций. Например, наземная станция просто не может передавать определенную частоту на определенном уровне мощности в произвольное место на орбите. Хотя и есть пути уменьшения числа необходимых наземных средств, эти решения, как вариант выбора, требуют детального анализа для оценки влияния на график, стоимость и сложность программы ТНО полезной нагрузки.

Предлагаемые система и способ ПНО снижают потребность в специализированных наземных средствах. Кроме того, поскольку ПНО проводится в отсутствие восходящего канала радиочастотной связи, ограничения на радиочастотную передачу, которые могут влиять на использование средства или влиять на дополнительные издержки или сложность программы проверки на орбите, отсутствуют. Последовательность конфигурирования ПНО создает на спутнике радиочастотную сигнатуру уровня шумов, которая может приниматься с помощью антенны подходящего размера, расположенной в зоне покрытия передачи спутника. Сигнатура уровня шумов является уникальной для бортовых аппаратных средств и создает отклик, который в сочетании с бортовой специфической телеметрией и с покрытием предпусковыми исходными данными обеспечивает выполнение оценки характеристик эффективным образом.

На фиг. 3 представлена иллюстративная частотная характеристика для выходного сигнала транспондера спутниковой связи в отсутствие любого радиочастотного восходящего сигнала, демонстрирующая, как частотная характеристика канала (зависимость между частотой и амплитудой) может рутинно измеряться с использованием одной единицы радиочастотного тестового оборудования для захвата выходного сигнала "уровень шумов" транспондера, когда он возбуждается постоянными шумами на выходе бортового приемника спутниковой связи. Ось x 305 на фиг. 3 - это частота (в этом иллюстративном случае диапазон 12300-12355 МГц), ось y 310 - амплитуда в дБ. Различные кривые показывают, как путем использования выделения шума можно расширить динамический диапазон измерения (помечено позицией 315 "Частотная характеристика с компенсацией шума в нисходящем канале"), и как изменение сигнала, вызванное в системе приема, можно устранить путем использования метода калибровки по Солнцу (помечено позицией 320 "Шум в нисходящей системе"). То есть поскольку шум является аддитивным, то для получения фактической частотной характеристики системы измеренный шум в нисходящей системе можно вычитать из измеренной частотной характеристики 325. Измеренная частотная характеристика имеет форму пьедестала, поскольку тепловой шум формируется бортовыми канальными фильтрами, находящимися как во входной, так и выходной частях ретранслятора, усилителем мощности на ЛБВ (усилителем мощности на лампе бегущей волны), находящимся посередине. Другие компоновки компонентов полезной нагрузки могут иметь другие формы и подписи частоты, но это не отражается на настоящем изобретении.

На фиг. 4 представлена каскадная диаграмма 400, показывающая изменение 410 амплитуды уровня шумов транспондера при изменении коэффициента усиления и режима тестируемого канала с использованием последовательности команд на спутник с наземной станцией управления. Таким образом, каждый "образец" 405 на фиг. 4 представляет уровень шумов согласно фиг. 3 (зависимость между частотой 415 и амплитудой 410); причем каждый срез в плоскости образца представляет собой моментальный снимок дисплея анализатора спектра для данного состояния (установки переключателя, настройка коэффициента усиления и т.д.) для тестируемого канала. На фиг. 4 все эти моментальные снимки представлены на одной объемной диаграмме, на которой любые изменения или тенденции более наглядны. Эта каскадная диаграмма 400 известна также как последовательность команд ПНО. При перемещении по оси образца справа налево видно влияние изменений состояния системы в соответствии с тестовой программой.

На фиг. 5 представлен иллюстративный график изменения во времени средней (обработанной) амплитуды уровня шумов транспондера и телеметрии УЛБВ (ток спирали и ток шины); по существу, срезы в плоскости частоты на фиг. 4 с данными, усредненными и обработанными для устранения шума системы с использованием расчета по методу калибровки по Солнцу и, возможно, обработанными другим образом. Как и на фиг. 4, изменение амплитуды для каждого из отображенных параметров происходит из-за коэффициента усиления и режима тестируемого транспондера, получающего команды в последовательности с Земли. Эта последовательность может включать, например, "Включение отключения" 520, "Выключение отключения" 525, шаги 530 ослабления режима с постоянными коэффициентами усиления, шаги 535 ослабления режима АРУ и любые иные режимы, поддерживаемые канальным усилителем. То есть при перемещении по оси x слева направо на фиг. 5 транспондер осуществляет пошаговое прохождение через разные команды. Кроме того, как ясно специалистам в данной области техники, эта последовательность показывает характеристику передачи, когда шум на входе в усилитель (УЛБВ) происходит по команде перехода из состояния низкого усиления в состояние высокого усиления.

Кроме того, в отличие от традиционного ТНО полезной нагрузки, предлагаемые система и способ

ПНО не требуют использования радиочастотных передач высокой мощности с Земли, что в отсутствие тесной координации и жесткого регулирования может представлять собой угрозу безопасности тестируемой подсистемы полезной нагрузки и создавать помехи соседним спутникам.

2. Тестовый стенд ТНО полезной нагрузки.

Как уже отмечалось в отношении фиг. 1А-1С, для каждого наземного средства ТНО полезной нагрузки имеется соответствующий тестовый стенд ТНО, который в дополнение к комплексу, содержащему стойки тестового оборудования, сопрягающиеся с наземным средством на радиочастотах, имеет программно реализованные системы, используемые для выполнения многочисленных типов радиочастотных измерений традиционного ТНО полезной нагрузки. Для обеспечения надежности и повторяемости результатов измерения аппаратные средства и программное обеспечение, используемые для управления, задания последовательности и обработки результатов измерений при ТНО полезной нагрузки, должны быть точно настроены для (1) надлежащего взаимодействия с каждым наземным средством и (2) связанных с выполнением определенной задачи возможностей каждой полезной нагрузки, причем все это может быть дорогостоящим и отнимающим много времени действием. Дополнительная сложность возникает, если требуются более одного тестового стенда ТНО полезной нагрузки для поддержки многолучевых задач, поскольку каждое наземное средство должно быть подключенным к сети, зачастую с требованиями точной синхронизации для обеспечения надежных и значимых результатов измерений.

Для ПНО сложный тестовый стенд не требуется. Уникальная, специфическая для аппаратных средств радиочастотная сигнатура, создаваемая последовательностью конфигурирования ПНО, записывается анализатором сигналов или эквивалентным устройством радиочастотных измерений, сопрягающимся с общим портом 215 контроля в приемной цепи наземного средства, как показано на фиг. 2. Фактически, все компоненты, показанные на фиг. 2, - это существующие компоненты за исключением нового анализатора 220 сигналов. Основные отличия по сравнению с конфигурацией ТНО на фиг. 1 - это исключение цепи передачи (восходящего канала) из наземной станции и значительное сокращение требуемого радиочастотного тестового оборудования до одного типа. Для серии предложенных тестов ПНО дополнительное радиочастотное тестовое оборудование в наземном средстве не требуется за исключением анализатора 220 сигналов. Анализаторы 220 сигналов типично оснащены алгоритмами основных измерений, возможностью записи данных с временными метками и хранения записей приборосамописцев. Эти присущие признаки используются для ПНО, исключая необходимость в специализированных, высокой сложности, программно реализованных системах управления приборами. В каждом удаленном месте находится простой сервер на базе ПК, действующий как репозиторий для сборов записей анализатора сигналов, полученных на протяжении каждой последовательности конфигурирования ПНО. После завершения каждой последовательности конфигурирования результаты сбора записей передаются из сервера в централизованную систему для последующей обработки и анализа результатов. Для многолучевых спутников каждое приемное средство будет конфигурировано идентичным образом, тем самым значительно упрощая требования к тестовым стендам по сравнению с традиционным ТНО полезной нагрузки.

3. Калибровка средств и точность измерения.

При традиционном ТНО полезной нагрузки калибровка средств и точность измерения являются критическими для обеспечения измерения основных радиочастотных параметров, определяющих характеристики полезной нагрузки. Калибровка любого средства ТНО является одновременно специализированной и сложной, поскольку требует использования прослеживаемого стандарта или эталона для точного определения результирующего коэффициента усиления и отклика средства в каждом из радиочастотных интерфейсов тестового стенда ТНО. Кроме того, каждый независимый элемент радиочастотного тестового оборудования в тестовом стенде ТНО должен иметь метрологическую аттестацию. Эта информация в сочетании со знанием алгоритмов измерения используется для расчета оценок точности измерения для каждого типа измерения при ТНО полезной нагрузки. Кроме того, на измеренные данные часто влияют ошибки, вызванные атмосферными воздействиями, которые также должны определяться и оцениваться во время проведения измерения. В случае несогласованностей или отклонений результатов измерения при ТНО полезной нагрузки (по сравнению с предпусковым прогнозом) не столь уж редки обширные проверки калибровки средства и точности измерения системы, пагубно отражающиеся на программе ТНО полезной нагрузки.

В отличие от ТНО полезной нагрузки, состоящего из независимой серии абсолютных радиочастотных измерений при замкнутой цепи, ПНО - это ряд сравнительных измерений при разомкнутой цепи. Последовательность конфигурирования, используемая для каждого измерения ПНО, имеет предопределенную последовательность задаваемых командой режимов транспондера, создающих уникальную сигнатуру измерения (переданного уровня шумов), которая захватывается анализатором сигналов. Последовательность конфигурирования, выполняемая на орбите, может также, хотя и не обязательно, выполняться до запуска с использованием такой же высокостабильной и повторяемой конфигурации ретранслятора, с входом бортового приемника связи, переключаемым с антенны на нагрузку. Полезные нагрузки спутниковой связи обычно имеют согласованные входы нагрузки/избыточные интерфейсы, которые могут переключаться с антенны. Но на входе полезной нагрузки как таковом "нагрузка" не требуется, по-

скольким интерфейсным компонентам обычно имеют входы с высоким полным входным сопротивлением для гашения колебаний и т.п. Оценка результатов на орбите может осуществляться путем непосредственного сравнения обработанных результатов ПНО с предпусковыми исходными данными для подтверждения, что все зарегистрированные данные согласуются в рамках предварительно установленного набора упрощенных критериев "прошел/не прошел". Как пример, критерии "прошел/не прошел" для определения, что функциональные возможности усилителя УЛБВ не изменились в момент запуска, могут быть следующими: для последовательности ПНО ожидается очень тесное перекрытие между предпусковым откликом и откликом на орбите как для РЧ, так и телеметрии: тока шины (Ib) и тока спирали (Ih). Более конкретно, профили РЧ-передачи от шага к шагу будут в пределах нескольких десятых дБ, поскольку профили шагов режима с постоянными коэффициентами усиления и АРУ являются задаваемой командой, включая любые иные задаваемые командой режимы, такие как выключение входа усилителя. Для телеметрии Ih и Ib ожидается, что значения будут оставаться отличающимися не более чем на 1-2 бита (без обработки) при сравнении данных на орбите с предпусковыми данными. Подобные жесткие допуски могут применяться к каждому из типов измерений при ПНО, хотя, впрочем, пользователь системы может выбирать любой допуск, какой пожелает. Альтернативно, данные на орбите могут просто сравниваться с технической спецификацией, опять-таки с любым желаемым допуском.

Таким образом, при использовании системы ПНО абсолютная калибровка цепи передачи и приема наземного средства не требуется. Однако для ПНО важно иметь точные сведения об относительном коэффициенте усиления для цепи приема тестового средства наземного базирования. Это осуществляется путем направления антенны тестового средства на Солнце, которое используется как стабильный широкополосный радиочастотный ориентир, для точного получения отклика тестового средства на всех частотах измерения.

На фиг. 7 представлен иллюстративный график, показывающий серию измерений разности (энергия транспондера спутника минус солнечная энергия), выполненных во времени. За трехнедельный период графика показатели разности не превышают $\pm 0,35$ дБ. Эта стабильность графика служит, чтобы показать, что в случае ПНО влияния как атмосферного изменения коэффициента усиления, так и изменения коэффициента усиления приемной станции можно исключить из измерений путем использования метода калибровки по Солнцу. На фиг. 8 представлен иллюстративный график, показывающий стабильный характер потока солнечного излучения частотой 15,4 ГГц, измеренного в трех географически разнесенных солнечных обсерваториях на ежедневной основе в течение более продолжительного времени - более семи недель.

На фиг. 11В представлена иллюстративная последовательность способа получения результатов ПНО орбитальной фазы для показательного канала. В этом способе используют наземную антенну 1105, Солнце 1110, существующий находящийся в эксплуатации спутник 1115 и тестовый спутник 1120, как показано на фиг. 11А. Способ начинают 1125 с направления антенны 1105 тестовой установки наземного базирования на Солнце 1110 для получения калибровочного сигнала по тестовым каналам. Затем наземную антенну 1105 перенаправляют 1130 на находящийся в эксплуатации спутник 1115 для получения ЭИИМ опорной несущей из рабочего (действующего) канала. Затем наземную антенну 1105 перенаправляют 1135 на тестовый спутник 1120, и собирают запись приборов-самописцев шума системы при обеих поляризациях (с блокированной полезной нагрузкой). Затем с использованием системы управления реального времени иницируют данную последовательность команд измерений ПНО в интересующем тестовом канале 1140. По мере того как выполняют последовательность команд, записи приборов-самописцев данных собирают, хранят и обрабатывают для анализа в анализаторе 1145 спектра.

В контексте ПНО измерение эффективной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) транспондера также считается сравнительным. То есть значение ЭИИМ уровня шумов ПНО получают с использованием Солнца в качестве промежуточного эталона для передачи посредством основного расчета известного и установленного значения ЭИИМ существующего источника (т.е. цифровой несущей в любом действующем транспондере). На фиг. 9А и 9В представлен иллюстративный способ определения ЭИИМ транспондера спутника тестовой несущей транспондера спутника путем использования Солнца и существующего спутника с опорной несущей известной ЭИИМ, чтобы сделать расчет относительным, а не абсолютным, используя для измерения некалиброванную тестовую установку.

Этот способ выполняют следующим образом.

Стадия 905: собирают запись прибора-самописца и интегрируют мощность шумов в конкретном диапазоне частот для Солнца, опорной несущей и тестовой несущей;

Стадия 910: рассчитывают $\Delta 1 = \text{опорная несущая/дельта Солнца} = 2 - 1$ и рассчитывают $\Delta 2 = \text{тестовая несущая/дельта Солнца} = 3 - 1$;

Стадия 915: ЭИИМ тестовой несущей = ЭИИМ опорной несущей - $\Delta 1 + \Delta 2$.

При традиционном ТНО полезной нагрузки на абсолютное измерение радиочастотной мощности могут влиять атмосферные воздействия, включая атмосферное мерцание. Эти воздействия становятся более ярко выраженными при более высоких микроволновых частотах. Атмосферные воздействия, включая атмосферные изменения, на ПНО не являются важным фактором при условии, что в течение

короткого периода времени (обычно 60-120 с), требуемого для завершения каждой последовательности конфигурирования ПНО, уровни затухания являются относительно стабильными. Это объясняется тем, что опорный источник (т.е. Солнце) и тестируемое устройство находятся выше атмосферы Земли и претерпевают одинаковые атмосферные воздействия. Методика тестирования при ПНО позволяет игнорировать обычные влияния, и от базовой станции больше не требуется вносить поправки на атмосферные воздействия, если в течение периода времени, требуемого для завершения измерения, имеет место устойчивость атмосферы.

4. Координация частот.

Координация частот может быть основным фактором любой программы ТНО полезной нагрузки. Значительное увеличение числа находящихся на орбите спутников связи во всех зонах орбитальной дуги часто вызывает необходимость широкой координации всех тестовых несущих в восходящем канале ТНО полезной нагрузки для предотвращения помех коммерческим услугам на соседних спутниках, имеющих перекрывающиеся частотные диапазоны. Другие ограничения устанавливаются, когда могут проводиться испытания непрерывной волной высокой мощности. Эти ограничения могут вызывать задержки, которые в свою очередь могут значительно продлевать график ТНО полезной нагрузки.

Ретрансляционные испытания ПНО проводятся без восходящего канала радиочастотной связи и с входом транспондера, переключенным в режим офлайн. Изолирование входа транспондера устраняет помехи из восходящего канала, отражающиеся на результатах измерений. Передачи уровня шумов ПНО можно рассматривать эквивалентными по плотности мощности широкополосной цифровой несущей. Как результат, передачи шумов создают меньше помех существующему трафику, и их легче координировать по сравнению с традиционными немодулированными несущими, используемыми для ТНО полезной нагрузки. Кроме того, относительно короткий период, требуемый для завершения последовательности измерений ПНО на каждом транспондере, можно легче координировать с соседними операторами ввиду относительно минимального влияния на их услуги.

5. График ТНО - планирование и выполнение.

Программа ТНО полезной нагрузки может быть крайне актуальной и, соответственно, требующей проведения в запланированные сроки. Могут потребоваться группы высокоспециализированного персонала для контроля и управления в нескольких областях, в том числе: (1) управление спутником, включая бортовое конфигурирование полезной нагрузки; (2) конфигурирование радиочастотных средств и управление ими; (3) конфигурирование тестового стенда ТНО и управление им и 4) обработка результатов ТНО. При надлежащем управлении, координации и техническом надзоре работы каждой группы должны увязываться для обеспечения успешной программы ТНО полезной нагрузки. Без жесткого управления всеми работами даже мелкие проблемы могут оказывать значительное влияние на весь график. Процесс затрудняется из-за сверхурочной работы и требований работы в несколько смен типичной программы ТНО полезной нагрузки.

Напротив, высокостабильное и повторяемое бортовое конфигурирование полезной нагрузки, используемое для ПНО, в сочетании с оптимизированной методикой тестирования и упрощенными требованиями к наземному оборудованию и тестовому стенду позволяет полностью автоматизировать управление вышеупомянутыми процессами. Хотя по-прежнему остается значительный объем работ по планированию для ПНО полезной нагрузки для обеспечения надлежащего и эффективного выполнения и получения результатов, значительная часть этого объема работ выполняется до запуска в помощь планированию, подготовке и проведению заводских исходных радиочастотных измерений. Все командные сценарии (скрипты), необходимые для конфигурирования спутникового ретранслятора и выполнения последовательностей конфигурирования ПНО предпочтительно полностью тестируются и утверждаются для спутника до запуска. Точно такие же сценарии могут затем использоваться для орбитальной фазы измерений. В отличие от ТНО полезной нагрузки результаты, полученные при заводских исходных измерениях, могут непосредственно сравниваться с результатами орбитальной фазы с использованием автоматизации. Таким образом, по сравнению с ТНО полезной нагрузки ПНО значительно сокращает как время, так и трудозатраты, необходимые для планирования и выполнения программы на орбите. Следует также отметить, что эти преимущества ПНО претворяются в экономии прямых затрат.

6. Анализ результатов и передача данных ТНО.

Анализ результатов и передача данных ТНО полезной нагрузки должны проводиться группой специалистов поставщика и заказчика по полезной нагрузке, которые анализируют, оценивают и сравнивают измеренные результаты с результатами, полученными во время предпускового наземного тестирования. Эта группа собирается в месте, часто удаленном от обычного места работы ее членов, на время программы ТНО полезной нагрузки. Процесс передачи данных ТНО полезной нагрузки представляет собой ручную и отнимающую много времени задачу и, как результат присущей неэффективности, может значительно растянуть график ТНО полезной нагрузки, если результаты не будут соответствовать прогнозам, и/или потребуются повторное тестирование (например, из-за проблем, связанных с атмосферными воздействиями или системой). Специфический и сложный характер тестирования в сочетании с тем фактом, что тесты при ТНО полезной нагрузке проводятся независимо при сильно отличающихся и меняющихся методиках и условиях по сравнению с предпусковыми исходными условиями, затрудняет усиле-

ние или оптимизацию процесса анализа результатов и передачи данных ТНО полезной нагрузки.

В отличие от традиционного ТНО полезной нагрузки предлагаемые конфигурирование бортового ретранслятора ПНО и методы наземных радиочастотных измерений, используемые для получения как предпусковых исходных данных, так и результатов орбитальной фазы, являются идентичными. Стабильная и повторяемая бортовая среда ПНО упрощает требования к оценке результатов и анализу за счет исключения в значительной степени потребности в экспертном ручном анализе. Таким образом, оценка данных, измеренных на орбите, в сравнении с предпусковыми данными может выполняться с использованием автоматических методов анализа. Автоматизироваться может и представление результатов с использованием инструментов сети Интернет для сравнений и обобщений графических и табличных результатов. Как результат, у специалистов поставщика и заказчика есть возможность обмениваться результатами и анализировать их дистанционно через Интернет, используя инструменты онлайн-конференций.

Преимущества ПНО над традиционным ТНО полезной нагрузки. ПНО обладает многими преимуществами по сравнению с традиционным ТНО полезной нагрузки. Описываемые ниже эти преимущества служат для преобразования процесса проверки того, что характеристики на орбите ретранслятора спутниковой связи в начале его эксплуатации отвечают спецификации, и что все соответствующие аппаратные средства выдержали напряжения при запуске:

упрощенные требования к наземным аппаратным средствам и программному обеспечению: все, что требуется на земле, это чисто приемные антенны с анализатором (анализаторами) сигналов. Средства и оборудование, не задействованные в ТНО полезной нагрузки, могут теперь рассматриваться, в общем, как экономия затрат;

менее сложная конфигурация тестового стенда, используемая в каждом удаленном месте, упрощает и оптимизирует поиск и устранение неисправностей аппаратных средств и программного обеспечения;

отсутствие передач радиочастотных сигналов по восходящему каналу устраняет требование координации частот восходящего канала, поскольку большинство тестов выполняется с входом приемника, переключенным на нагрузку. Кроме того, это исключает опасность повреждения полезной нагрузки из-за неправильного использования восходящих радиочастотных сигналов, например чрезмерный овердрайв;

меньшие требования координации частот нисходящего канала - плотность несущей сигнала шума легче координировать, чем в случае насыщенного немодулированного сигнала. Меньшие ограничения в части координации дают в результате меньше периодов временного непрохождения сигналов;

отсутствие требований калибровки средств и оборудования с использованием радиочастотного стандарта. Солнце как опорный источник служит как стабильный радиочастотный источник для точной относительной калибровки всех удаленных средств и оборудования;

тестирование можно выполнять при любом типе атмосферных воздействий при условии, что атмосферные колебания остаются стабильными в течение времени, необходимого для выполнения каждой последовательности конфигурирования транспондера. Время, требуемое для выполнения последовательности на конкретном транспондере, будет зависеть от конкретного набора команд, который будет использоваться для прохождения через разные режимы с коэффициентом усиления и состояния транспондера. Кроме того, это время будет зависеть от возможностей специфических для спутника аппаратных средств связного ретранслятора, но обычно будет в пределах 60-120 с;

тестирование с отключенным входом ретранслятора обеспечивает стабильную и воспроизводимую с высокой точностью (самодиагностируемую) конфигурацию для тестирования как на предпусковой, так и на орбитальной фазах. Кроме того, оно упрощает обработку, анализ и представление результатов;

минимум приблизительно на 80-90% сокращение времени, требуемого для тестирования каждого блока транспондера по сравнению с ТНО полезной нагрузки. Для преобразования антенны имеется возможность тестировать несколько лучей одновременно, что дает экономию времени и топлива. Кроме того, упрощенный набор тестов и меньшее время тестирования обеспечивает вариант тестирования при дрейфе к последней орбитальной долготе. Использование этого варианта дает значительную экономию топлива, поскольку для проведения тестирования спутника не нужно перемещать или останавливать спутник на установленной долготе;

для всех аспектов ПНО, включая (1) последовательность команд транспондера, (2) начало измерения наземных средств, сбор данных и передачу результатов и (3) обработку, анализ и сетевое представление результатов, может использоваться автоматизация. При использовании методов традиционного ТНО полезной нагрузки достижение 100%-й автоматизации невозможно. Повышенная автоматизация непосредственно претворяется в значительное сокращение людских ресурсов и графика;

упрощенные дистанционные поиск и устранение неисправностей системы: все удаленные средства и оборудование, использующие подобное радиочастотное тестовое оборудование, такое как анализатор сигналов, конфигурированы для базового режима сбора записей; и

онлайнное представление результатов дает возможность группам по тестированию полезной нагрузки оставаться на своих домашних рабочих местах на протяжении всего ПНО.

Иллюстративная реализация на полезной нагрузке спутника связи Telstar 12V.

Для программы Telstar 12V (Telstar 12 Vantage) было несколько побудительных мотивов, оказы-

вавших влияние на возможность проведения традиционного ТНО полезной нагрузки ретранслятора технически и экономически эффективно. Например,

1) с его региональными возможностями и возможностями сфокусированного луча в нескольких полосах частот в сочетании с требованием тестирования в позиции 15° западной долготы или возле нее (для минимизации расхода ракетного топлива и графика), координация частот играла основную роль в ограничении времени тестирования и расширении графика; и

2) требование развернуть/обеспечить сопряжение системы традиционного ТНО полезной нагрузки с радиочастотными средствами третьей стороны и необходимость проведения тестов в режиме не закольцовывания (отдельные места передатчика/приемника) усложняли систему (системы) управления, эксплуатации и поиска и устранения неисправностей.

Эти ограничения пагубно отражались на возможности успешного завершения ТНО полезной нагрузки в короткий срок (т.е. обычно в течение нескольких недель), как показали предыдущие программы ТНО полезной нагрузки спутника.

Было установлено, что канальный уровень шумов мог бы служить средством (в отсутствие "активной" немодулированной тестовой несущей для ТНО) для определения частотной характеристики любого радиочастотного канала. Это дало возможность упростить способ, каким выполнялось тестирование на орбите полезной нагрузки. Этот "пассивный" способ предлагает много преимуществ по сравнению с "традиционной" ступенчатой немодулированной амплитудно-частотной характеристикой ТНО полезной нагрузки:

1) "пассивный" тест требует минимум радиочастотного тестового оборудования - требуется лишь анализатор сигналов;

2) упрощенный способ измерений, включая требования к станции, комплект аппаратуры и сложность тестового программного обеспечения;

3) обеспечивает значительное сокращение времени на измерения (секунды по сравнению с минутами) и

4) выдвигает меньшие требования к координации частот по сравнению с активным тестированием с незатухающей волной (т.е. ТНО полезной нагрузки).

Хотя, в принципе, захват уровня шумов анализатора сигналов как средство определения частотной характеристики любого канала выглядит вполне эффективным, есть ряд факторов, которые, если их не учитывать, могут способствовать ошибкам. Например,

1) калибровка и отклик тестовой установки. Если не учтенная, частотная характеристика приемного оборудования, включая антенный фидер и МОК (междуобъектный канал), будет влиять на результаты измерений путем внесения наклона и пульсаций в пределах записанного уровня шумов;

2) радиопомехи. Нежелательные сигналы из неотключенных восходящих каналов или соседних спутников могут исказить результаты измерений или даже препятствовать их выполнению; и

3) влияния шума системы. Как результат свойств аддитивности шума, уровень собственных шумов приемной системы будет скашивать форму уровня шума на низких уровнях (близких к уровню собственных шумов).

Следует отметить, что влияние факторов в п.1 и 2 применимо к каждому из способов измерения (ТНО или ПНО полезной нагрузки), и, принимая типичные пределы для C/N (отношения несущая/шум) для ТНО полезной нагрузки, п.3 является специфическим для метода уровня шумов. Путем использования уникальных и инновационных способов, описанных в настоящем документе, каждой из этих проблем уделяется внимание для исключения их влияния на отклик уровня шумов или поправки на них. Пределы C/N для ТНО полезной нагрузки могут быть очень большими, порядка ~60 дБ, в зависимости от оборудования.

Что касается п.1 "Калибровка и отклик тестовой установки", в способе калибровки по Солнцу, описанном в настоящем документе, Солнце используют как широкополосный опорный генератор шума, предоставляющий простое и точное средство для определения относительного сквозного отклика любой наземной станции в любой полосе частот. Это позволяет исключить все вызванные станцией изменения коэффициента усиления, что было невозможно ранее при использовании других доступных способов, таких как способ сравнения "с рупором с калиброванным усилением". В способе сравнения "с рупором с калиброванным усилением" используют рупорную антенну, физические размеры которой позволяют точно рассчитывать коэффициент усиления как опорное значение при сравнении мощности обычного сигнала, принимаемого как рупорной антенной, так и антенной для ТНО. Это точное знание мощности сигнала позволяет вывести фиксированный коэффициент калибровки для антенны для ТНО на каждой общей частоте сигнала. Коэффициенты калибровки на других частотах требуют выполнения отдельного сравнения с рупором с калиброванным усилением.

Что касается п.2 "Радиопомехи", тестирование с отключенным ретранслятором исключает влияния помех в восходящем канале на результаты измерения. С бортовым приемником, представляющим собой источник стабильного шума, форма передаваемого уровня шумов не будет искажаться внешними радиопомехами. Влияния помех в нисходящем канале от соседних спутников могут значительно снижаться или исключаться за счет использования больших тестовых антенн, т.е. примерно 8 м или более, и за счет

обеспечения выполнения тестирования с разделением по меньшей мере приблизительно $0,5^\circ$ с другими спутниками.

Что касается п.3 "Влияния шума системы", для расчета истинного изменения децибелов сигнала шума, когда его уровень приближается к уровню собственных шумов системы, может использоваться извлечение шума, при котором исключается любая ошибка, как результат накопления шума. Это выполняется вначале путем измерения уровня собственных шумов в отсутствие уровня шумов ПНО, а затем посредством расчета удаления аддитивных влияний доли уровня собственных шумов из изменения амплитуды уровня шумов. При измерении амплитуды уровня шумов этот способ обеспечивает расширение используемого диапазона на 7-10 дБ.

Графики частоты на фиг. 6А и 6В демонстрируют посредством фактического тестирования на орбите с использованием транспондера на геостационарном телекоммуникационном спутнике Nimiq 1, что с входом приемника спутника, переключенным на внутреннюю нагрузку (такую как оконечное радиочастотное оборудование), его выходной сигнал достаточен для возбуждения канального усилителя с сигналом шума (уровнем шума), который может использоваться для ПНО. Уровень шумов, показанный на фиг. 6А и 6В, имеет своим центром центральную частоту для тестируемого канала (в данном случае центральную частоту 12311 МГц) и имеет полосу частот 27 МГц, диктуемую конструкцией усилителя и фильтрованием в цепи передачи спутника. Естественно, нет никакой загрузки спутника для генерирования этого сигнала шума. Внутренняя нагрузка генерирует широкополосный сигнал шума, который усиливается бортовым приемником (приемниками) и затем фильтруется (входными и выходными канальными мультиплексорами), маршрутизируется (переключением сетей) и усиливается (усилителями на ЛБВ или твердотельными усилителями мощности) для передачи на землю. Уровень шумов, передаваемый спутником, является стабильным и воспроизводимым независимо от того, где находится спутник: на Земле или на орбите. Как уже отмечалось, эта конфигурация устраняет внешние факторы, такие как помехи в восходящем канале от соседних спутников, которые могут исказить результаты измерений при выполнении обычного ТНО полезной нагрузки. На фиг. 6А и 6В представлены одинаковые данные, но на графике на фиг. 6В показано изменение величины уровня шумов (<1 дБ) при переключении входа приемника спутника Nimiq 1 между нагрузкой и антенной, причем антенна направлена на Землю (температура Земли ниже, чем нагрузка и известна, как показано на фиг. 22А, так что можно определить, что антенна спутника работает должным образом). Это служит для дополнительной демонстрации, что величина передаваемого уровня шумов со связного ретранслятора, когда вход приемника переключен на внутреннюю нагрузку, может использоваться в целях ПНО.

На фиг. 10 представлена схема иллюстративной системы 1000, подобной системе, которая была успешно использована для ПНО полезной нагрузки спутника Telstar 12V. Вкратце, система 1000 состоит из площадки 1005 управления, соединенной с одним пунктом 1010 для предпусковых (заводских) измерений. Все оборудование, используемое для связи с космическим летательным аппаратом (КЛА) 1015 и сбора данных предпусковых радиочастотных измерений, обычно находится в том физическом месте, что и сам КЛА 1015 (т.е. как показано справа от пунктирной линии 1020 на фиг. 10). Для измерений на орбите, выполняемых после запуска спутника, одна и та же площадка управления связывается с любым числом географически отличных пунктов 1025 ПНО и с пунктом 1030 телеметрии и команд. Каждый из пунктов 1025 ПНО содержит одинаковые базовые аппаратные средства для проведения радиочастотных измерений. Пункт 1030 телеметрии и команд используется для передачи команд спутнику и приема телеметрии для сопровождения операций ПНО. Кроме того, для установления известного значения ЭИИМ существующего источника используется радиочастотная опорная система 1035. Все пункты связаны системой связи. Аппаратные средства и программное обеспечение для всех команд конфигурирования ПНО полезной нагрузки, сбора и анализа телеметрических данных, сбора радиочастотных результатов (из удаленных пунктов) и обработки результатов и публикации результатов на веб-сайтах могут находиться в одном центральном месте (т.е. на площадке 1005 управления).

Для заводских измерений ПНО анализатор 220 сигналов, подключенный непосредственно к порту тестового интерфейса передачи спутника, выдавал данные сбора записей уровня шумов по мере выдачи последовательностей команд ПНО полезной нагрузки с площадки 1005 управления. Управление настройками анализатора сигналов также осуществлялось площадкой 1005 управления через сетевой интерфейс с удаленным сервером записей. По завершении каждой последовательности измерений данные сбора записей электронным путем передавались обратно на площадку управления для последующей обработки и публикации результатов на веб-сайтах.

Для орбитальной фазы ПНО пункт 1030 телеметрии и команд использовался для подачи команд спутнику и сбора телеметрических данных, а пункты ПНО - для сбора радиочастотных данных таким же образом, как и при предпусковых заводских измерениях. Основное отличие для орбитальной фазы заключается в том, что радиочастотные сигналы спутника принимаются местной антенной, а не с использованием прямого физического соединения со спутником (или тестируемым устройством).

На фиг. 12 представлен иллюстративный веб-интерфейс для отображения результатов ПНО после последующих обработки и анализа. Показанные графики построены по фактическим результатам, полученным при предпусковых заводских тестах ПНО, проведенных на спутнике Telstar T12V Africa Beam.

Более конкретно, на левом графике 1210 показаны данные последовательности ПНО после последующей обработки (радиочастотный выход УЛБВ и связанные телеметрические данные) для одного канала на спутнике Africa Beam. Подобная иллюстративная последовательность ПНО после последующей обработки для другого канала спутника Telstar T12V представлена на фиг. 13. Ступени, видимые на фиг. 13, вызваны переключением состояний и коэффициента усиления таким же образом, как показано на фиг. 4 и 5. На правом графике 1020 на фиг. 12 показана частотная характеристика для всех четырех каналов с горизонтальной поляризацией спутника Africa Beam, полученная непосредственно из данных уровня шумов. Те же данные, но в увеличенном изображении, представлены на фиг. 14. Результаты ПНО на орбите могут представляться с использованием одного веб-интерфейса для анализа данных и оценки результатов.

На фиг. 15 и 16 представлены дополнительные иллюстративные предпусковые результаты ПНО после последующей обработки, доступные на веб-интерфейсе для четырех каналов с горизонтальной поляризацией спутника Africa Beam. На фиг. 15 показаны записи для максимальных уровней шумов для режима с постоянными коэффициентами усиления и режима АРУ (автоматическое регулирование усиления) и уровня измеренного дельта (разности) уровня шумов, когда переключатель входа канального усилителя получает команду убрать шум приемника с входа УЛБВ. При допущении номинальных характеристик результаты для этого набора данных должны быть повторяемыми (с точностью $\pm 0,5$ дБ) при получении результатов измерений ПНО на протяжении орбитальной фазы. Когда орбитальная фаза ПНО была завершена, был представлен также дополнительный набор данных для расчета ЭИИМ с использованием вышеупомянутых методов калибровки по Солнцу. На фиг. 16 приведен иллюстративный график минимальных и максимальных (без возбуждения и с полным радиочастотным возбуждением) записанных телеметрических тока шины (Ib) и тока спирали (Ih) для каждого из четырех канальных УЛБВ спутника Africa H Beam. При повторном измерении (на орбитальной фазе ПНО) те же самые телеметрические данные при допущении номинальных характеристик ретранслятора должны отличаться не более чем на 1-2 бита по сравнению с предпусковыми значениями.

При иллюстративной реализации, предлагаемой ПНО, весь комплекс радиочастотных измерений занял приблизительно 90 с для каждого бортового транспондера. Шумы на выходе бортового приемника (с входом, переключенным на нагрузку) использовались для возбуждения усилителя системы спутниковой связи (например, УЛБВ) посылкой команд в разных рабочих режимах и состояниях коэффициента усиления. Данные об уровне радиочастотных шумов, захваченные анализатором сигналов приемной станции, были переданы вместе с обработанной телеметрией в систему для полностью автоматизированной последующей обработки, анализа и представления результатов. Калибровка по Солнцу устранила необходимость использования обычных способов калибровки любого приемного оборудования, используемого для орбитальной фазы ПНО, и проведение идентичного набора наземных измерений до запуска спутника позволило полностью автоматизировать оценку результатов.

Конкретно для спутника T12V для каждого канала была реализована следующая последовательность команд ПНО полезной нагрузки.

1. Включение переключателя приемника - с транспондером в конфигурации с нормальной пропускной способностью. Эта конфигурация позволяет измерять температуру антенны при приеме.

2. ВКЛЮЧЕНИЕ/ВЫКЛЮЧЕНИЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ - выполняется один раз для первой синхронизации и опорного уровня собственных шумов.

3. Выключение переключателя приемника - выполняется для измерения коэффициента шума приемника и изолирования тестового канала от возможных внешних сигналов шума, которые могли исказить результаты тестирования.

4. ВКЛЮЧЕНИЕ/ВЫКЛЮЧЕНИЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ - выполняется для второй синхронизации.

5. ШАГ ПОСТОЯННОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ С НИЗКОГО НА ВЫСОКИЙ - постоянный коэффициент усиления (FG) усилителя был выбран для увеличения шагов во всем диапазоне. При увеличении коэффициента усиления канала относительный размер шага указывает, работают ли компоненты надлежащим образом или нет.

6. ШАГ АРУ С НИЗКОГО НА ВЫСОКИЙ - усилитель, переключенный в режим автоматического регулирования уровня (АРУ), с уровнем, повышенным на выбранных шагах во всем диапазоне. Этот тест подобен тесту 5, но проверяет другую схему.

7. ВЫКЛЮЧЕНИЕ/ВКЛЮЧЕНИЕ КАНАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ - выполняется для измерения динамического диапазона АРУ.

8. ОТКЛЮЧИТЬ КАНАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ - конец последовательности. Кроме того, в эту последовательность включены команды на сопряжение с серверами записей удаленных станций для управления настройками на анализаторах сигналов, используемых для сбора данных уровня радиочастотных шумов. Если учитывать эти дополнительные команды, на выполнение последовательности измерений ПНО для каждого канала уходило приблизительно 2 мин. Другие системы и конфигурации, естественно, могут требовать другой последовательности команд и синхронизации.

После приблизительно 3-минутной последующей обработки и анализа результаты готовы для публикации на веб-страницах. Для всех каналов полезной нагрузки спутниковой связи спутника T12V фор-

мировались следующие результаты измерений:

- частотная характеристика транспондера,
- характеристика передачи УЛБВ, включая ЭИИМ,
- шаги режима с постоянными коэффициентами усиления и режима АРУ УЛБВ,
- калибровка телеметрии УЛБВ,
- работа контура управления АРУ,
- коэффициент шума приемника,
- характеристики кросс-поляризации передающей антенны.

При использовании традиционных способов и систем ТНО вышеупомянутые измерения заняли бы приблизительно 20 мин с дополнительным временем, требуемым на ручной анализ радиочастотных данных. Следует отметить, что для ПНО спутника T12V для измерения частоты преобразования бортового приемника использовался восходящий канал непрерывной волны малой мощности. Более низкий уровень мощности непрерывной волны предотвращает потенциальные помехи соседним спутникам.

Частотная характеристика транспондера.

Данные для этого измерения могут быть получены непосредственно из любых захватов записей уровня шумов. Для спутника T12V был использован захват записей уровня шумов, полученный в состоянии максимального коэффициента усиления АРУ.

Фиг. 17 представляет собой иллюстративный график частотной характеристики канала, полученной во время предпускового тестирования спутника T12V, и включает записи для маски частотной характеристики, характеристики уровня шумов и характеристики (традиционной) качающейся частоты, полученные при наземном тестировании. По завершении орбитальной фазы ПНО результаты для уровня шумов предпусковой и орбитальной фаз были наложены и сравнены с маской частотной характеристики для подтверждения, что измеренная на орбите частотная характеристика не отклонилась от предпускового измерения.

Характеристика передачи УЛБВ, включая ЭИИМ.

Характеристика передачи УЛБВ была сформирована по средним значениям записей уровня шумов, полученных из объединенной характеристики последовательности команд шагов с постоянными коэффициентами усиления и АРУ. В зоне, охватывающей шаги с постоянными коэффициентами усиления и АРУ, как показано на верхней записи как на фиг. 5, так и фиг. 13, и, в частности, как показано (в обведенной штриховой линией зоне) на фиг. 18, возбуждение от сигнала шума на вход УЛБВ увеличивается через линейный диапазон и в зону насыщения, где выход УЛБВ становится горизонтальным. Поскольку на предпусковой и орбитальной фазах радиочастотных измерений выполняются совершенно одинаковые последовательности, величины изменения вместе со значениями телеметрии (Ih и Ib) на каждом шаге можно использовать для оценки, что с момента запуска характеристика передачи УЛБВ не изменилась. Величина изменения на шаге РЧ-передачи, измеренная на обеих фазах ПНО, должна отличаться не более чем на $\pm 0,5$ дБ от шага к шагу. ЭИИМ усилителя на ЛБВ была рассчитана по методу калибровки по Солнцу, показанному на фиг. 9.

Шаги режима с постоянными коэффициентами усиления и режима АРУ УЛБВ.

Работа аттенуаторов канальных усилителей была проверена как в части характеристики, так и в части функциональных возможностей с задаваемыми командой предварительно определенными состояниями коэффициента усиления для обоих режимов работы: с постоянными коэффициентами усиления и АРУ. Последующая обработка и анализ при ПНО использовались для определения, было ли изменение РЧ-амплитуды для всех задаваемых командой ступеней как для всего диапазона, так и для отдельных ступеней, в пределах определенного допуска в дБ (например, 0,5 дБ) для подтверждения, что характеристики на орбите существенно не отклонились от предпусковых. В верхней части фиг. 19 показана диаграмма в виде столбиков измеренного изменения в дБ для каждого перехода состояния коэффициента усиления в последовательности ПНО.

Калибровка телеметрии УЛБВ.

График зависимости между выходом УЛБВ и телеметрическими током спирали УЛБВ (Ih) и током шины УЛБВ (Ib) показан двумя кривыми на фиг. 20. При сравнении предпусковых (наземных) результатов с результатами на орбите для правильно работающего УЛБВ обе кривые должны накладываться с отклонением не более 1-2 битов. Каждая кривая построена по результатам последующей обработки среднего уровня захвата записей как функции синхронизированной во времени телеметрии (Ih и Ib) для тестируемого УЛБВ.

Работа контура управления АРУ.

Для ПНО работа схемы АРУ подтверждается включением/выключением переключателя сигнала шума из бортового приемника, возбуждающего УЛБВ. Этот переключатель, находящийся непосредственно перед канальным усилителем, используется для этого измерения и, в состоянии максимального коэффициента усиления АРУ, переключается по команде в положение, в котором убирается шумовое возбуждение в УЛБВ. Для правильно работающей схемы АРУ канального усилителя уровень дельта уровня шумов, измеренный на орбите, должен соответствовать в пределах \pm несколько десятых дБ зна-

чению, измеренному при заводском предпусковом тестировании. Более конкретно, когда вход канального усилителя отключен, контур АРУ в канальном усилителе будет максимально увеличивать коэффициент усиления в попытке поддерживать выход на лампу бегущей волны (ЛБВ) постоянным. Однако уровень сигнала упадет, поскольку контур АРУ будет иметь недостаточный коэффициент усиления для преодоления 60 дБ (приблизительно) в уровне сигнала шума. Соответствующее измеренное падение мощности из УЛБВ прямо пропорционально повышению коэффициента усиления контура АРУ минус падение входной мощности. На фиг. 21 представлены результаты этого измерения, выполненного как на спутнике Nimiq 1 (вверху), так и во время предпусковых заводских тестов на спутнике T12V (внизу). Обведенный кружком участок на обоих графиках показывает, когда были выполнены команды на выключение канального усилителя.

Коэффициент шума приемника.

Этот тест выполняется путем сравнения уровня шумов передатчика для любого транспондера с входом приемника, переключенным на антенну, а затем переключенным на нагрузку. Относительное изменение пика будет в предварительно определенных пределах (рассчитанных по $T_{\text{Земля}}$ и $T_{\text{нагрузка}}$). Результаты измерений дадут подтверждение рабочего состояния первого каскада приемника. На фиг. 22А представлена наглядная схема температурной модели Земли с использованием Ku-диапазона ЕКА. На фиг. 22В представлены результаты фактических измерений на орбите для изменения переданного уровня сигнала уровня шумов, когда бортовой приемник спутника Nimiq 1 переключался между портом приемной антенны и нагрузкой. С помощью температурной модели с использованием Ku-диапазона ЕКА для разных районов земного шара суммарная шумовая температура Земли, полученная спутником Nimiq 1 во время теста, по оценкам составила 240 К (Земля). Температура нагрузки бортового приемника 20°C была точно известна с помощью температурной телеметрии, доступной во время теста. Это значение преобразуется в 293 К. Поскольку все остальные члены в формуле $P_n = kTB$ (т.е. k и B) постоянны, прогнозируемое изменение мощности между антенной и нагрузкой $= 10 \log(293/240) = 0,867$ дБ. Фактическое изменение переданного уровня шумов при переключении между приемной антенной и нагрузкой для теста на спутнике Nimiq 1 было измерено равным приблизительно 0,8 дБ или в пределах 0,07 дБ от прогнозного значения. Эти результаты дали подтверждение входных характеристик приемника спутника Nimiq 1 без необходимости использования калиброванного радиочастотного восходящего канала. Для спутника T12V фирма-изготовитель предоставила расчетные данные о суммарной шумовой температуре приемника для каждого приемного рефлектора, который использовался в орбитальной фазе ПНО для проведения теста коэффициента шума приемника.

Следует отметить, что для традиционного ТНО полезной нагрузки входные характеристики приемника определяются путем измерения ПНП (ПНП - это плотность насыщенного потока - показатель чувствительности по входу транспондера) и G/T (G/T - это отношение коэффициента усиления к шумовой температуре - отношение между входным усилением и шумом, который добавляется к сигналу). При обоих этих измерениях исторически получают результаты, зачастую искаженные (1-2 дБ) одним или несколькими факторами влияния, такими как метод измерения, калибровка станции и атмосферные воздействия. Напротив, на описанный способ, используемый для ПНО, метод измерения, калибровка станции и атмосферные воздействия не влияют.

Характеристики кросс-поляризации передающей антенны.

Тот же захват записей, что используется для определения частотной характеристики при АРУ макс. (см. фиг. 17), можно использовать для расчета характеристик кросс-поляризации передающей антенны любого транспондера без необходимости проведения каких-либо дополнительных измерений. Кросс-поляризация - это поляризация, ортогональная рассматриваемой поляризации. Например, если поля антенны предназначены быть с горизонтальной поляризацией, кросс-поляризация будет вертикальной поляризацией. Если поляризация является правосторонней круговой поляризацией, кросс-поляризация является левосторонней круговой поляризацией. В течение орбитальной фазы ПНО каждое приемное средство будет иметь анализатор сигналов, назначенный обеим приемным цепям поляризации антенны. При выполнении каждой последовательности ПНО составляющая уровня шумов с кросс-поляризацией будет записываться одновременно с уровнем шумов состояния максимального усиления АРУ с основной поляризацией. Алгоритмы последующей обработки будут затем использовать эти данные для расчета характеристик кросс-поляризации для каждого измеренного канала.

Следует отметить, что без восходящего канала кросс-поляризацию приемной антенны измерить нельзя. Однако поскольку антенны спутника Telstar 12V используют общую поверхность рефлектора приема/передачи и блок рупора приемной антенны, можно заключить, что действительный результат передачи с кросс-поляризацией послужит доказательством, что поверхность рефлектора антенны и рупоры приемной антенны (минус блок зондового возбудителя) не повреждены механически и не имеют серьезных ошибок ориентирования.

Контуры передающей антенны.

Измерение на орбите контуров передающей антенны, хотя и выполняемое независимо от ПНО, все же может во многом выиграть от использования концепции ПНО в части изолирования входа приемника связи переключением на внутреннюю нагрузку. Данные уровня шумов, генерируемые любым бортовым

активным каналом (предпочтительно настроенным на состояние максимального усиления АРУ), могут контролироваться теми же наземными приемными средствами, что используются для ПНО для захвата изменения уровней передачи уровня шумов при переориентации (повороте) диаграммы направленности передающей антенны (антенн) спутника в predeterminedенные позиционные углы в пределах регионов покрытия передающей антенной. Уникальная конфигурация бортового приемника предотвращает любую возможность искажения результата измерения соседним спутником или нежелательными восходящими сигналами.

Варианты и альтернативы.

В дополнение к вышеописанным реализациям предлагаемая система может использоваться с любой полосой частот спутника: L-диапазон (1-3 ГГц); X-диапазон (приблизительно 7-8 ГГц); Ku-диапазон (приблизительно 11-15 ГГц) и Ka-диапазон (приблизительно 17-31 ГГц). Предлагаемая система и способ могли бы также использоваться с любым видом спутниковой группировки, например, на низкой околоземной орбите (НОО) или высоких эллиптических орбитах (ВЭО).

Заключение.

Как пример описаны один или несколько предпочтительных на данный момент вариантов осуществления. Специалистам в данной области техники ясно, что возможен ряд изменений и модификаций в пределах объема настоящего изобретения, определенного формулой изменения.

Все цитируемые источники посредством ссылки включены в настоящий документ.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ проверки полезной нагрузки связи движущегося по орбите спутника, предусматривающий

перед тем как спутник запущен на орбиту, конфигурируют рабочие параметры полезной нагрузки связи на спутнике в конкретное состояние, причём указанное состояние включает вход полезной нагрузки, конфигурированный на оконечное радиочастотное оборудование или офлайн, в результате чего сигнал теплового шума самогенерируется полезной нагрузкой спутника; и

обрабатывают сигнал тепловых шумов для генерирования набора исходных данных;

после того как спутник запущен, на спутнике

конфигурируют рабочие параметры полезной нагрузки в такое же конкретное состояние, в результате чего орбитальный сигнал тепловых шумов самогенерируется полезной нагрузкой спутника; и

обрабатывают и передают указанный орбитальный сигнал тепловых шумов со спутника на наземную станцию;

на наземной станции

принимают переданный орбитальный сигнал тепловых шумов и

сравнивают полученный орбитальный сигнал тепловых шумов с набором исходных данных для этого же состояния полезной нагрузки для определения, изменились ли характеристики и функциональные возможности полезной нагрузки связи.

2. Способ по п.1, в котором указанная стадия сравнения включает в себя количественную оценку степени изменения полученного орбитального сигнала тепловых шумов по сравнению с набором исходных данных.

3. Способ по п.2, в котором указанная стадия сравнения включает в себя определение, превышает ли пороговое значение степень изменения полученного орбитального сигнала тепловых шумов по сравнению с набором исходных данных.

4. Способ по п.1, в котором анализ орбитального сигнала тепловых шумов и набора исходных данных выполняют, используя данные, полученные из анализатора сигналов или эквивалентного устройства.

5. Способ по п.1, в котором вход в полезную нагрузку связи изолируют путем переключения в нетрадиционный режим с входом приемника, переключенным в положение офлайн, для изолирования входа полезной нагрузки от внешних источников и обеспечения использования неизменного внутренне генерируемого теплового шума.

6. Способ по п.5, в котором положение офлайн включает в себя соединение с пассивной нагрузкой, согласованной нагрузкой или оконечным устройством.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором полезная нагрузка спутника находится в среде с регулируемой температурой, благодаря чему сигнал тепловых шумов будет стабильным.

8. Способ по любому из пп.1-7, дополнительно предусматривающий стадию калибрования наземной станции с использованием Солнца как опорного генератора шума.

9. Способ по п.8, дополнительно предусматривающий стадию, на которой наземная станция вычитает вносимое Солнцем изменение шума из принятого спутникового сигнала.

10. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий стадию поправки на влияния атмосферного затухания и мерцания радиочастоты принятого спутникового сигнала шума путем использования Солнца

как опорного генератора шума.

11. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий стадию определения уровня мощности принятого спутникового сигнала шума путем переноса известного опорного источника радиочастотных сигналов, используя шум Солнца в качестве промежуточного эталона.

12. Способ по п.1, в котором сигнал тепловых шумов содержит уровень шумов или ряд уровней шумов.

13. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий стадию сохранения набора орбитальных данных и набора исходных данных для последующей обработки и анализа.

14. Способ по любому из пп.1-13, в котором анализ набора орбитальных данных и набора исходных данных включает в себя по меньшей мере один из показателей характеристик из перечня, включающего частотную характеристику транспондера;

выходную мощность транспондера, эффективную изотропно излучаемую мощность (ЭИИМ);

характеристику передачи и линейность усилителя;

шаги режима с постоянными коэффициентами усиления и режима автоматической регулировки усиления (АРУ) усилителя;

калибровку и характеристики телеметрии усилителя;

работу контура управления АРУ;

коэффициент шума приемника и

характеристики кросс-поляризации передающей антенны.

15. Способ по любому из пп.1-13, в котором набор исходных данных и набор орбитальных данных содержат радиочастотные выходные данные и телеметрические данные полезной нагрузки.

16. Способ по любому из пп.1-15, в котором указанное конкретное состояние включает в себя ряд состояний, постепенно проходимый в соответствии с predetermined последовательностью команд ретранслятора.

17. Способ по любому из пп.1-15, в котором обработанный сигнал тепловых шумов, переданный полезной нагрузкой, содержит специфическую для аппаратных средств сигнатуру.

18. Спутниковая система, содержащая

спутник, содержащий полезную нагрузку связи; и

наземную станцию;

при этом спутник выполнен с возможностью

перед запуском спутника

конфигурирования рабочих параметров полезной нагрузки связи на спутнике в конкретное состояние, причём указанное состояние включает вход полезной нагрузки, конфигурированный на оконечное радиочастотное оборудование или офлайн, в результате чего сигнал тепловых шумов самогенерируется полезной нагрузкой спутника; и

обработки сигнала тепловых шумов для генерирования набора исходных данных; и

когда спутник на орбите,

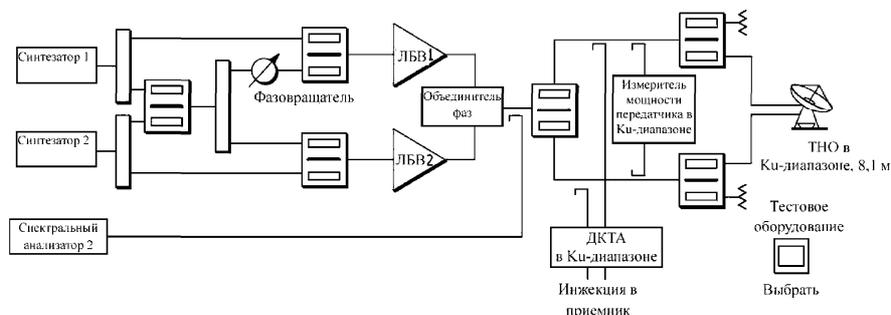
конфигурирования рабочих параметров полезной нагрузки в такое же конкретное состояние, в результате чего орбитальный сигнал тепловых шумов самогенерируется полезной нагрузкой спутника; и

обработки и передачи указанного орбитального сигнала тепловых шумов со спутника на наземную станцию;

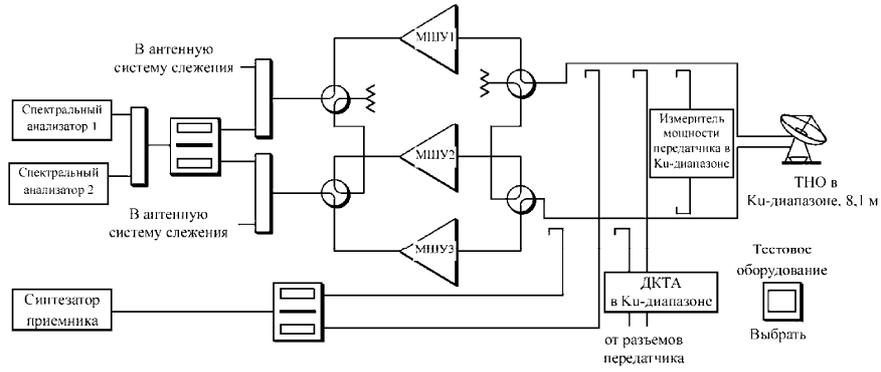
при этом наземная станция выполнена с возможностью

приема переданного орбитального сигнала тепловых шумов и

сравнения полученного орбитального сигнала тепловых шумов с исходным набором данных для этого же состояния полезной нагрузки для определения, изменились ли характеристики и функциональные возможности полезной нагрузки связи.



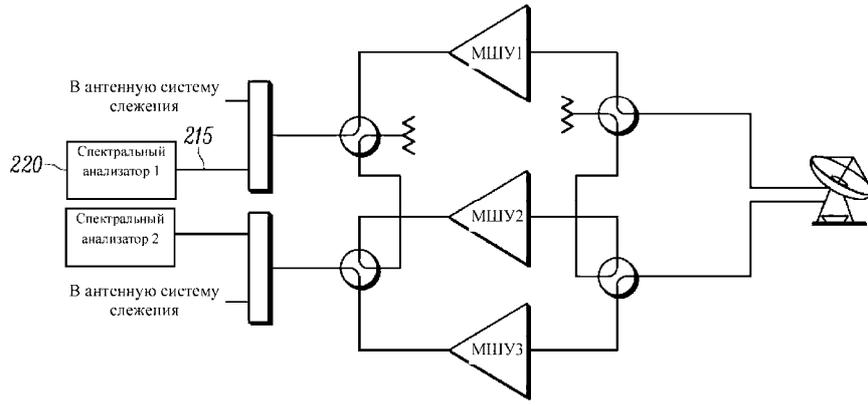
Фиг. 1А



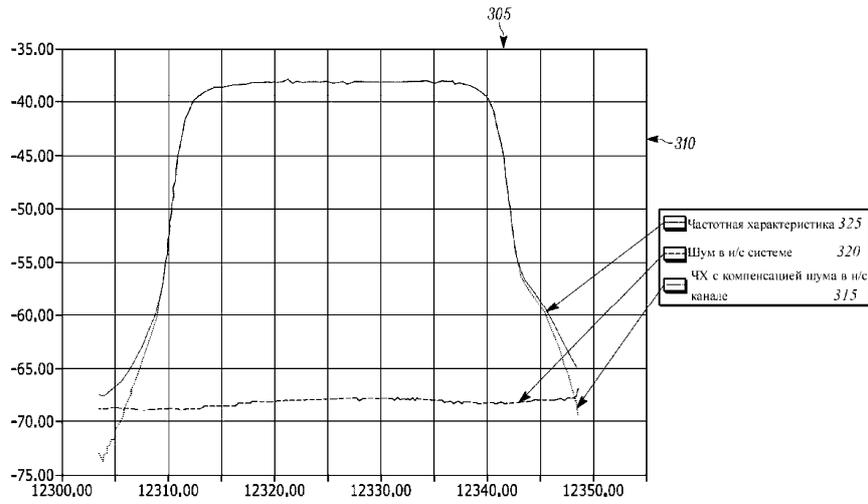
Фиг. 1В

A1	10 МГц распределительный усилитель	
A3	УКМ передатчика DBS-диапазона	УКМ передатчика Ku-диапазона
A6	УКМ передатчика С-диапазона	
A9	УДС передатчика С-диапазона	
A10	УДС передатчика С-диапазона	
A13	УДС передатчика Ku-диапазона	
A17	УДС передатчика С-диапазона	
A21	Спектральный анализатор 1	
A26	АИ спектрального анализатора 1	
A27	Синтезатор передатчика 1	
A30	Блок переключателя синтезатора передатчика	
A32	Синтезатор передатчика 2	
A1	Контроллер ДКТА DBS-диапазона	
A3	Контроллер ДКТА Ku-диапазона	
A5	Контроллер ДКТА С-диапазона	
A8	УКМ приемника Ku-диапазона	УКМ приемника С-диапазона
A11	УДС приемника Ku, DBS-диапазона	
A14	УДС приемника С-диапазона	
A17		
	Спектральный анализатор 2	
A26	Переключатель ввода спектрального анализатора 2	
A28	Синтезатор инжекции приемника	
A32	Преобразователь с пониженным частоты в Ku-диапазоне	
A34	Блок управления переключателем x8 HP	
A37	Преобразователь с повышенном частоты в Ku-диапазоне	

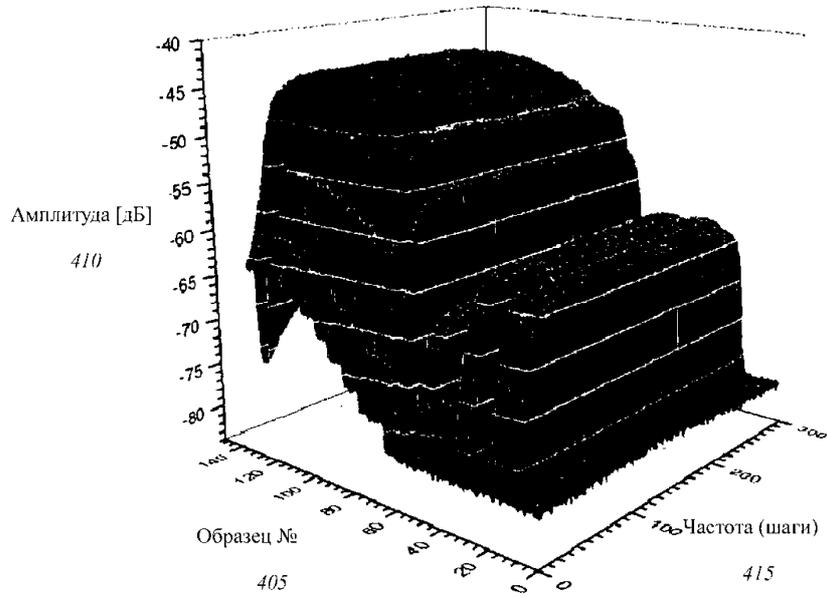
Фиг. 1С



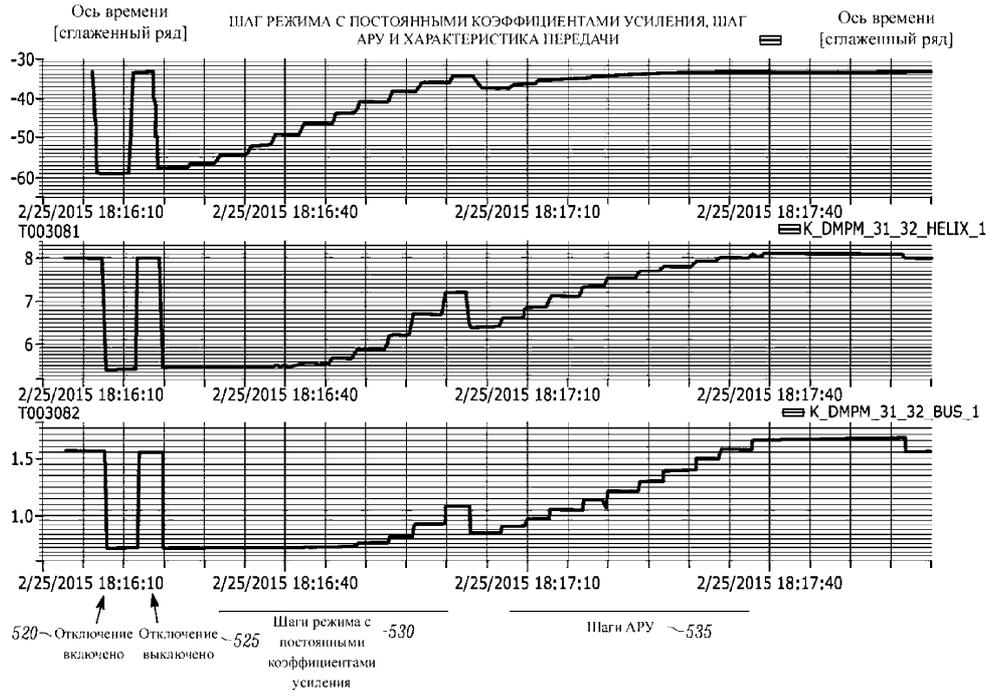
Фиг. 2



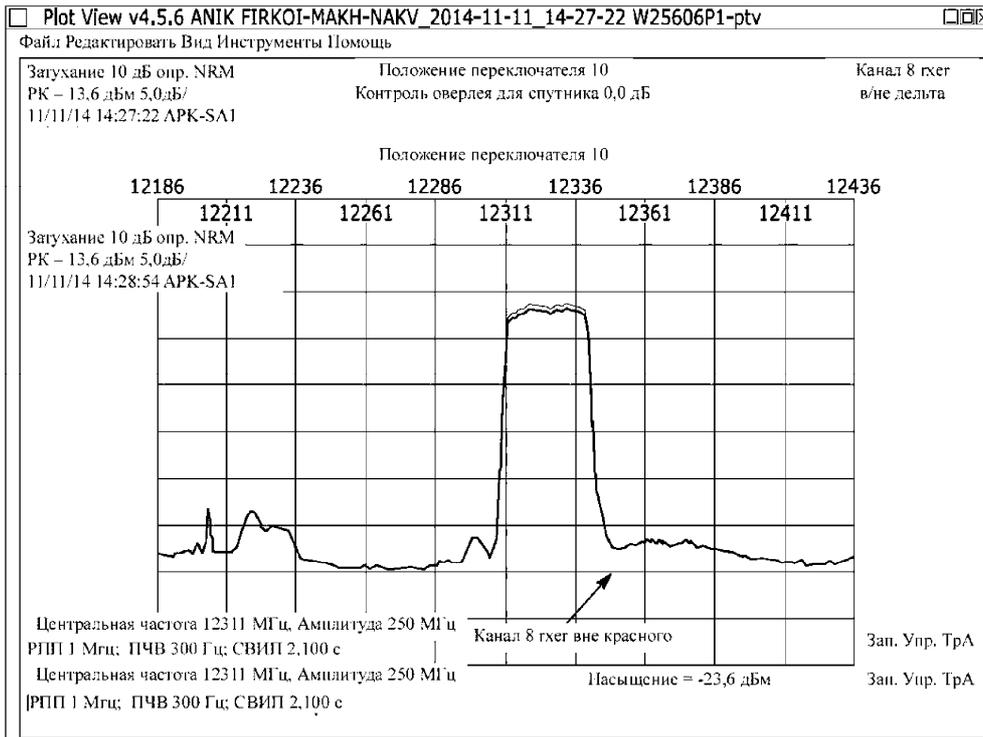
Фиг. 3



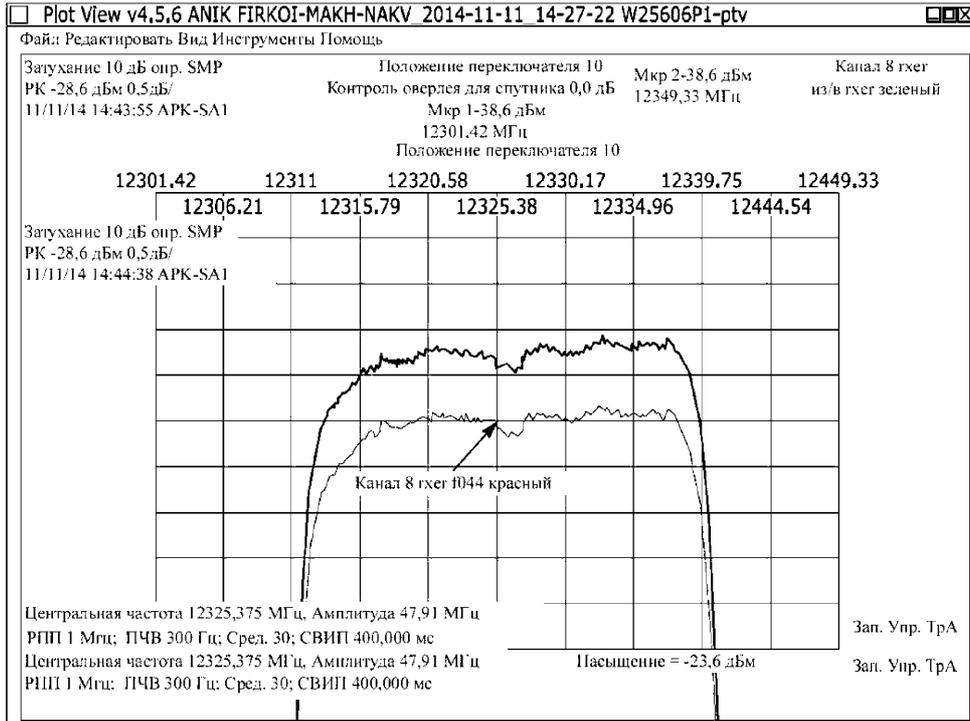
Фиг. 4



Фиг. 5



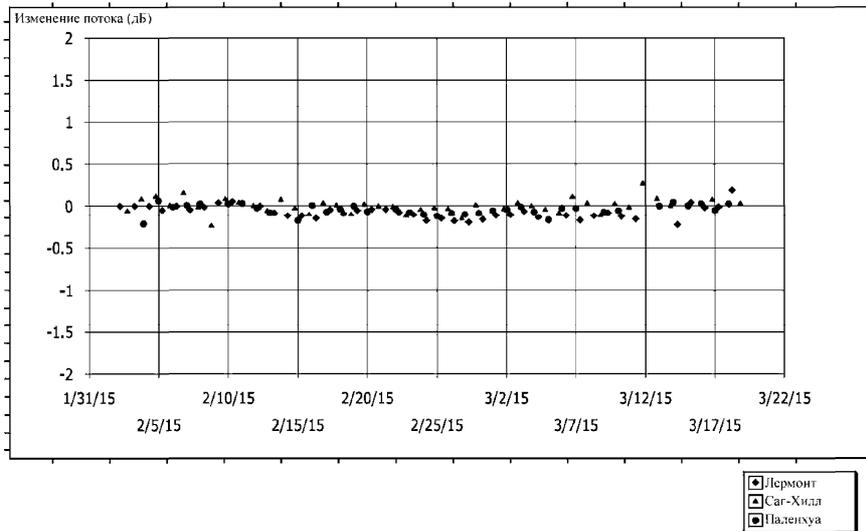
Фиг. 6А



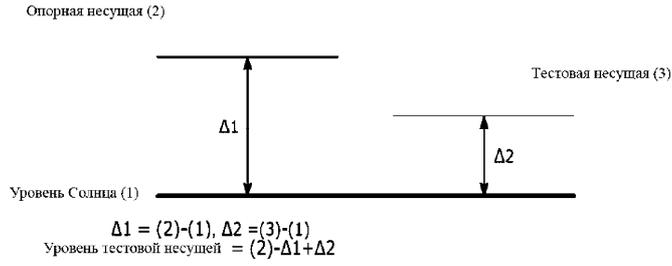
Фиг. 6В



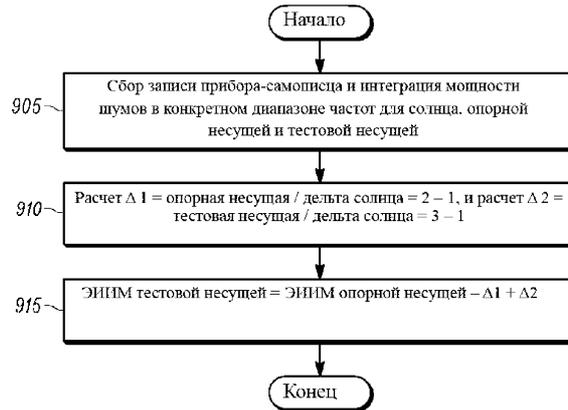
Фиг. 7



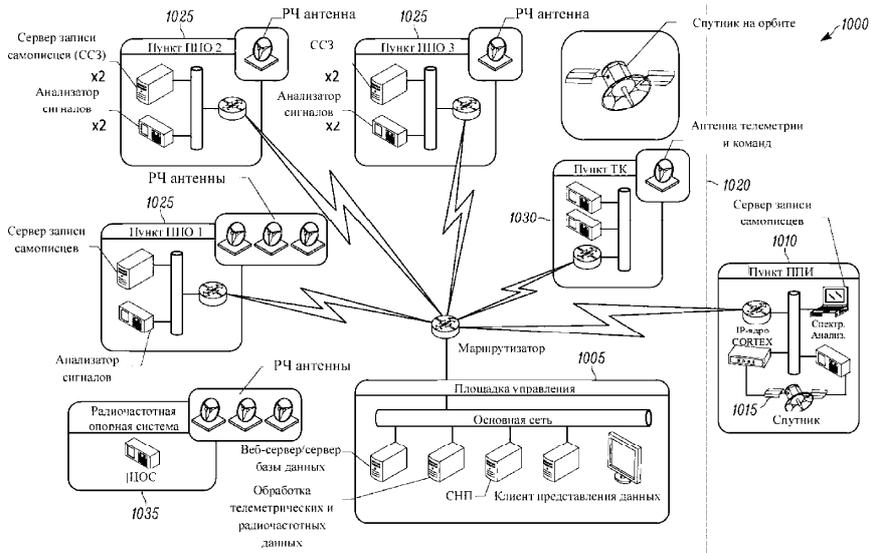
Фиг. 8



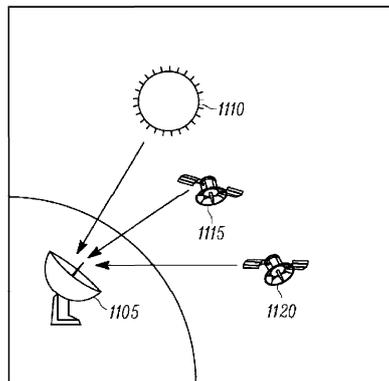
Фиг. 9А



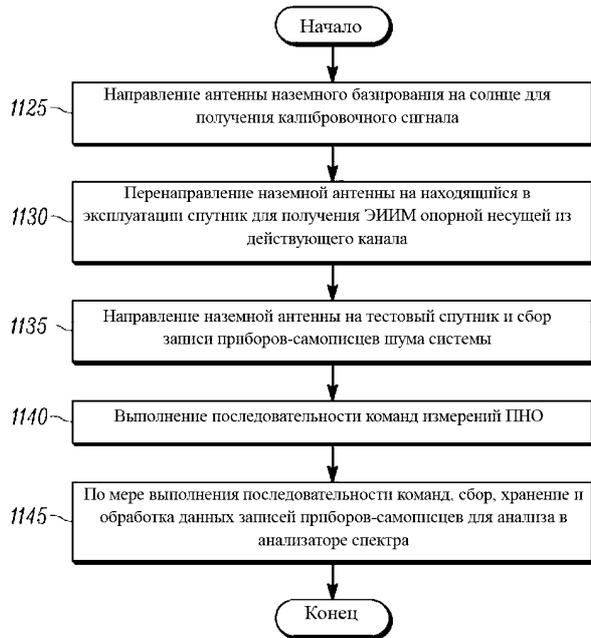
Фиг. 9В



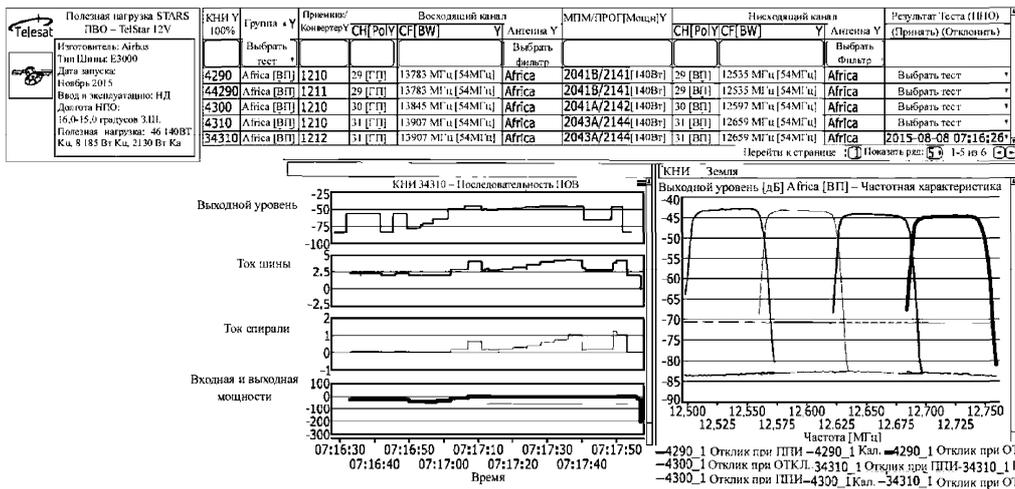
Фиг. 10



Фиг. 11А

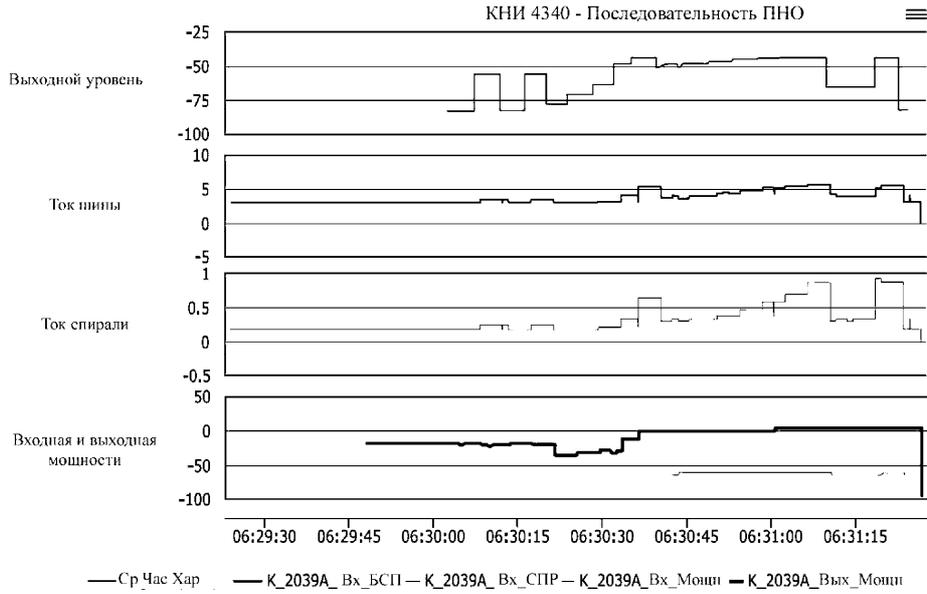


Фиг. 11В

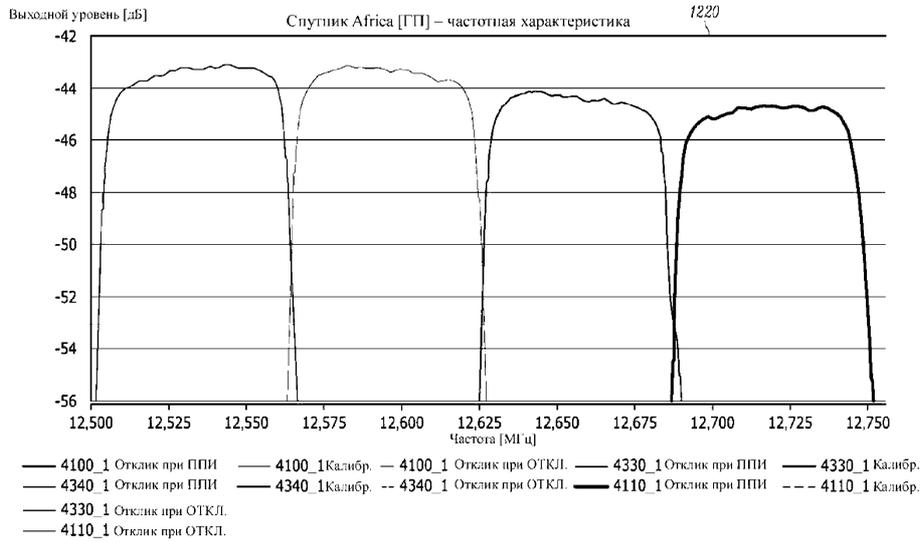


1210
Фиг. 12

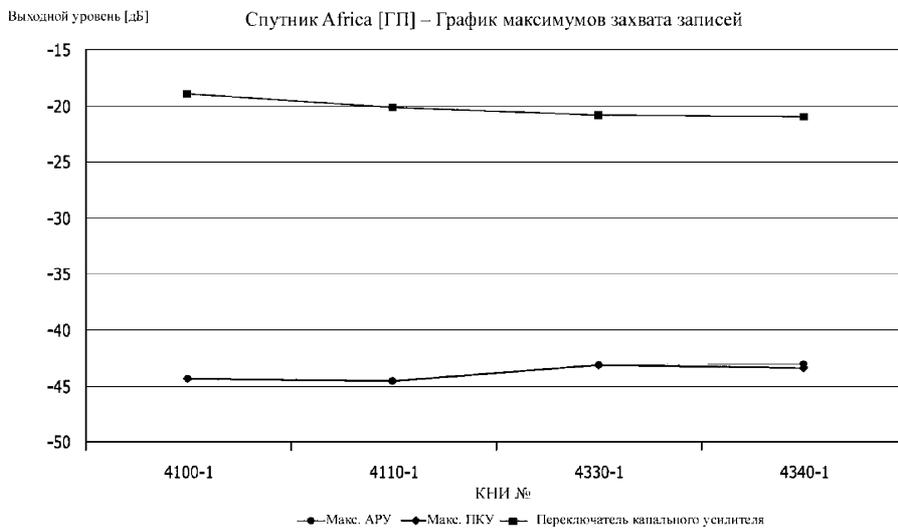
1220



Фиг. 13

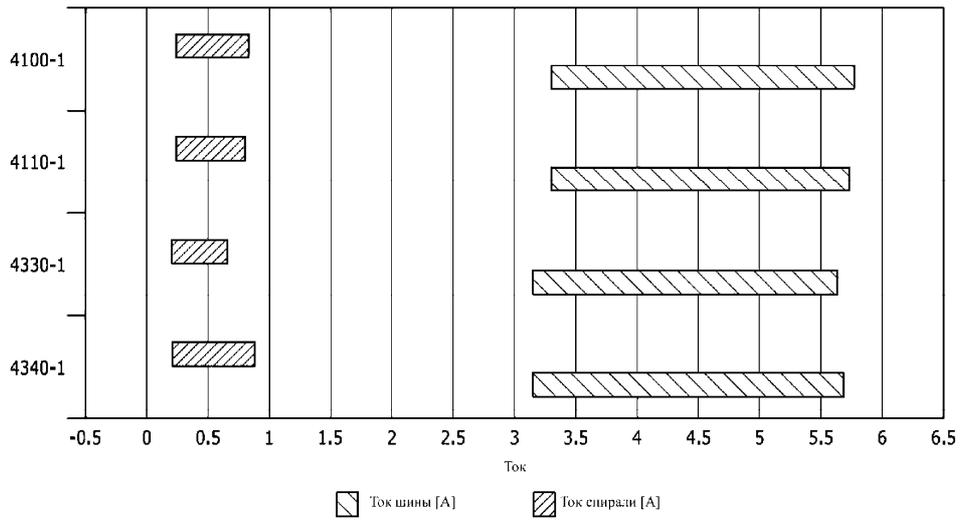


Фиг. 14

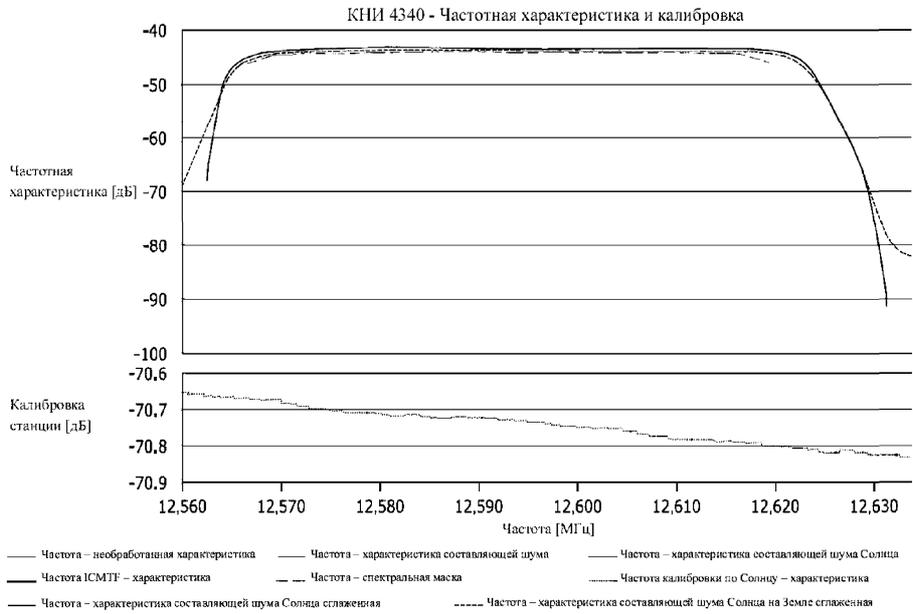


Фиг. 15

КНИ № Спутник Africa [ГП] – График максимумов/минимумов телеметрии

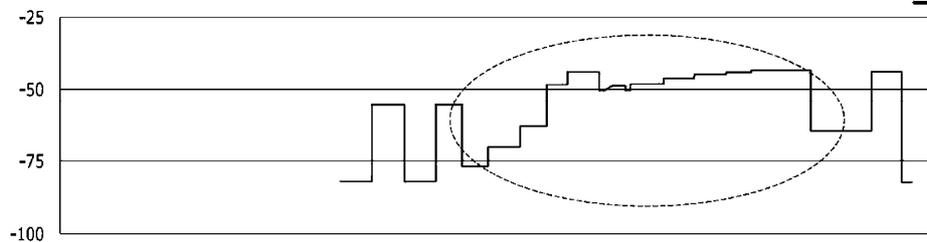


Фиг. 16

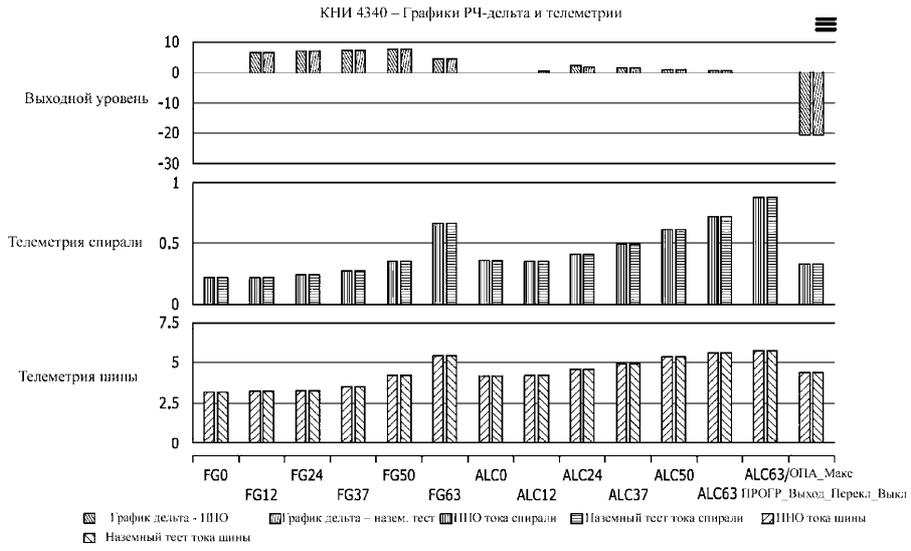


Фиг. 17

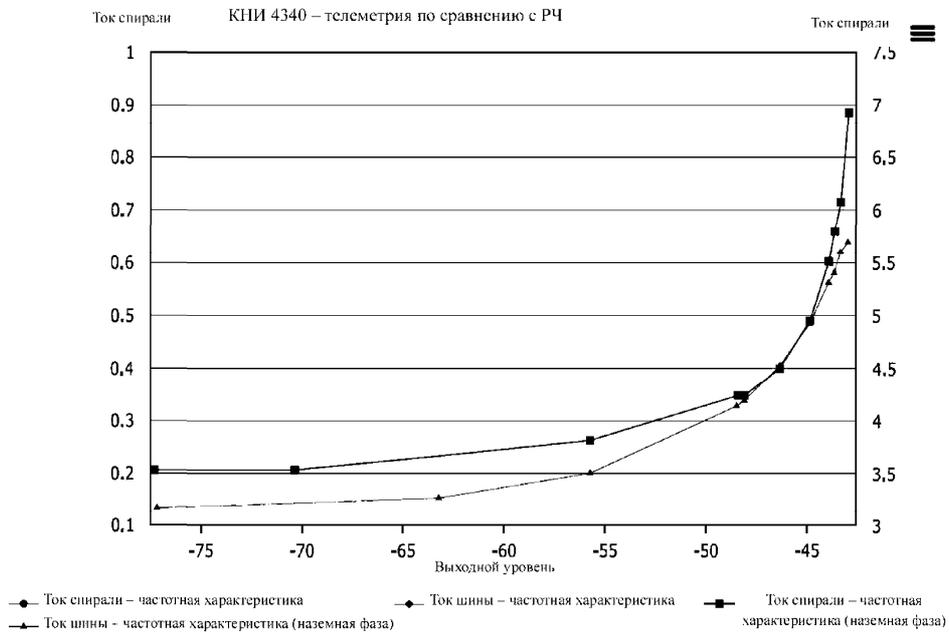
Выходной уровень КНИ 4340 – Последовательность ПОВ



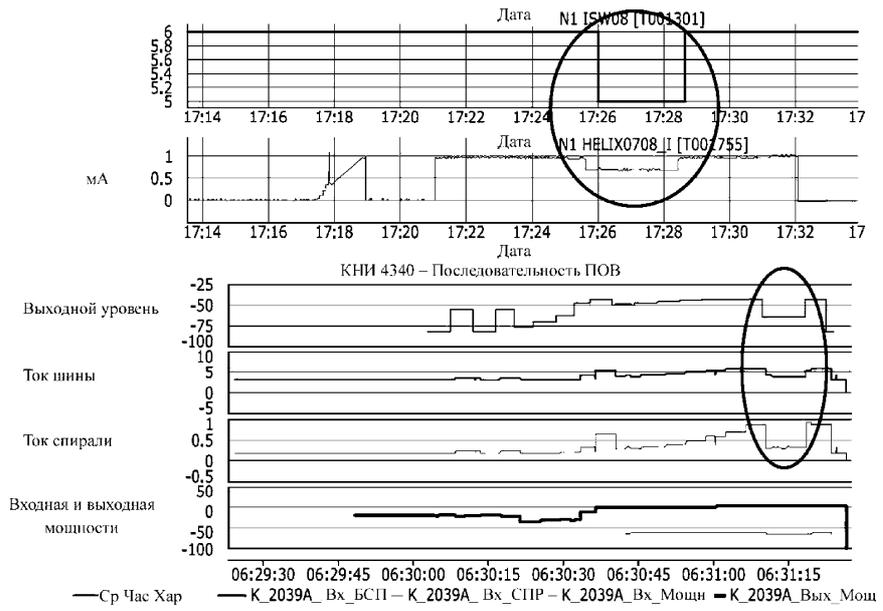
Фиг. 18



Фиг. 19



Фиг. 20

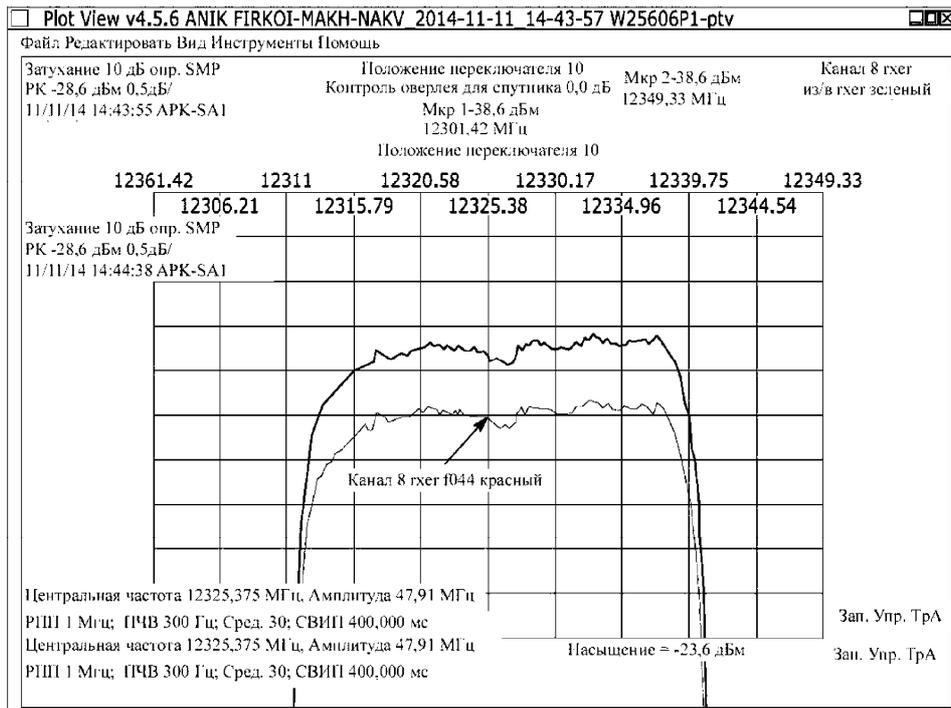


Фиг. 21

Температурная модель Ку ЕКА



Фиг. 22А



Фиг. 22В



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2