

В. В. Рыбак, С. К. Скляренко, А. А. Строкач

Институт физики НАН Украины, Киев

ПРИБОР НА ОСНОВЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БУКСОВЫХ УЗЛОВ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ

Аннотация: Описан разработанный в Институте физики НАН Украины прибор, созданный на основе двухспектрального радиометра для измерения температуры буксовых узлов рельсового транспорта. Технические параметры прибора позволяют проводить температурный мониторинг буксовых узлов поездов в процессе движения, что значительно повысит безопасность движения железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: пироэлектрический приемник, виброустойчивость, ИК-излучение, оптическая система, микропроцессор.

1. ВВЕДЕНИЕ

Тема безопасности движения поездов стала особенно актуальной с ростом железнодорожных перевозок. Увеличение интенсивности и скорости движения, длины и веса поездов повлекло ужесточение требований к техническому состоянию вагонов и локомотивов. Значение контроля технического состояния подвижного состава все более возрастает с введением в эксплуатацию скоростных участков железных дорог Украины, а также с активным включением территории нашей страны в межгосударственные транспортные коридоры.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Согласно современным требованиям контроль за техническим состоянием подвижного состава охватывает все больше критических параметров. В настоящее время стандар-

тами безопасности на железнодорожном транспорте в Северной Америке, Европе, Китае, Южной Африке предусматривается контроль следующих основных параметров:

- температура буксовых узлов;
- наличие юза колесной пары;
- наличие заторможенных колесных пар с зажатыми тормозными колодками;
- степень нагрева тяговых двигателей;
- степень нагрева подшипников: моторно-осевых и редукторных;
- наличие дефектов по кругу катания колеса;
- наличие волочащихся деталей;
- наличие перегруженных и неравномерно загруженных вагонов и степень отклонения нагрузки от нормы;
- верхний и боковой габариты.

Вместе с тем резко возросли требования достоверности результатов контроля, что обусловлено как возможными высокими убытками при пропуске аварийной ситуации, так и высокой стоимостью ложных оста-

новок поездов, особливо движущихся по главным магистралям.

Среди перечисленных проблем технического состояния особенное значение имеет состояние буксовых подшипников, поскольку при недостаточности смазки, заклинивании или других дефектах, ведущих к нагреванию подшипника, разрушение букс происходит довольно быстро. Так, в зависимости от нагрузки и скорости движения роликовый подшипник разрушается на участке пути около 30 км, подшипник скольжения – на участке около 60 км. Разрушение подшипника зачастую приводит к перелому шейки оси и опрокидыванию вагона.

Поэтому североамериканский стандарт предусматривает установку аппаратуры контроля перегрева буксовых узлов через каждые 20 миль (32 км) пути, а "Укрзалізниця" (по официальным документам) размещает пункты контроля через каждые 35 км.

В связи с большими затратами на комплексную реализацию задач контроля технического состояния движущихся составов соответствующая аппаратура должна ориентироваться на поэтапное наращивание перечня контролируемых параметров.

В настоящее время на мировом рынке имеется большое разнообразие аппаратных комплексов, так называемых напольных камер (НК), или систем обнаружения перегретых букс (HBD – Hot Box Detector), представленных от более чем десятка производителей, специализирующихся в данной области. Разнообразие технических характеристик НК обусловлено несколькими факторами, основными из которых являются:

- исторически сложившееся многообразие конструкций колесных тележек вагонов, используемых в разных странах, что приводит к необходимости поиска подходящих направлений визирования, захватывающих информативные зоны всех типов тележек;

- многообразие типов используемых приемников ИК-излучения от нагретых элементов ходовых узлов подвижного состава;
- климатические условия местности, где размещены НК.

Выбор типа детектора излучения является непростой задачей, поскольку на него влияют следующие основные факторы:

- максимум излучения нагретой до критического уровня буксы находится в спектральном диапазоне 8–11 мкм;
- скорость поезда может достигать 400 км/ч, что сокращает время измерения до 0,5 мс;
- жесткие ограничения накладывают условия использования НК: температура окружающего воздуха в пределах от –50 до +50 °С; температура корпуса НК – от –50 до +90 °С; возможность дождя и обледенения; ударные нагрузки и вибрация с ускорением до 10 g; высокие уровни загрязнений, шумов и электромагнитных помех.

В качестве приемников излучения обычно используются тепловые детекторы излучения (термопары, пироэлектрические приемники, термисторы, полупроводниковые болометры) или фотонные приборы (КРТ-приемники, InAs-, InSe-, PbS- и PbSe-фотоприемники). Основным недостатком тепловых детекторов является большое время отклика, а фотонных – чувствительность в коротковолновой части спектра, где возможна солнечная засветка, а также необходимость охлаждения фотоприемников, степень которого определяет чувствительность. Вследствие указанных особенностей тепловые приемники излучения используются, в основном, в системах допускового контроля перегрева букс, в которых собственно не осуществляется измерение температуры этих объектов.

НК с использованием фотоприемников характеризуются более высоким энергопотреблением и стоимостью, а также низким

Спільні інноваційні проекти

сроком службы, которые вызваны необходимостью охлаждения.

Сравнительные характеристики НК основных производителей приведены в табл. 1.

Анализ приведенных данных указывает на различие установок НК:

- отдельный фундамент вблизи железнодорожного полотна;

- прикрепление к подошве рельса непосредственно или через специальную шпалу, на которой закрепляются все напольные устройства: две (или четыре) НК и датчик прохода колес.

Последний способ установки имеет следующие преимущества:

Таблица 1. Сравнительные характеристики напольных камер

№ пор.	Наименование НК	Фирма-производитель, страна	Способ установки	Тип приемника излучения	Контролируемые узлы	Скорость, км/ч	Частота измерений
1	ACS II (Advanced Concept Scanner II)	General Electric, США	Рельс	Болометр или пирометр	Корпус буксы		
2	Hot Box & Brake Detection System VAE HOA FOA 400	Voestalpine AG, Австрия	Спец. шпала		Корпус буксы (2 зоны)-НОА; колесо, тормозные диски – (FOA)	2 – 400	2,4 кГц, (min 120 точек)
3	TS91 hotbox detector	Alstom, Южная Африка	Отдельный фундамент	Болометр	Букса, колесо, тормозные диски	15 – 120	
4	Hot Box Detecting System НТК-499	VEIC corporation, Китай	Отдельный фундамент	КРТ с 3-ступенч. п/п охлажден.	Букса	5 – 360	Постоянная времени 2 мкс
5	Hot Axle Box Detector System (HABD)	Amskan Ltd, Австралия	Отдельный фундамент	2 средне-волновых ИК-датч. с 1-ступ. термоэл. охлажд.	Корпус буксы	Свыше 150	100 мкс
6	Phoenix MB	SST Signal & System Technik, Германия	Спец. шпала	8-элементный приемник	Корпус буксы	До 500	450 точек на ось Ø250 (у 8 сегм.) при 500 км/ч
7	ПОНАБ, ДИСК (разл. модиф.), КТСМ-01	Россия	Отдельный фундамент	Болометр	Крышка буксы	До 250	Без модул., допуск. контроль
8	КТСМ-02	Россия	Рельс	Болометр	Корпус буксы	До 250	Без модул., допуск. контроль
9	АСДК-Б	ОАТ "Прожектор", Украина	Отдельный фундамент	PbSe с 2-ступ. термоэл. охлажд.	Крышка буксы, подступичный узел	5 – 250	3 кГц

- визируемый объект и НК постоянно находятся в жестко связанной системе координат, в отличие от изменения ориентации НК, установленной на независимом фундаменте;
- вынужденная вертикальная ориентация линии визирования обеспечивает прикрытие входного объектива НК днищем вагона от солнечной засветки, вызывающей сбой в работе;
- при таком креплении НК визируется нижняя часть корпуса буксы, а не крышка, что повышает точность контроля вследствие ее более тесной тепловой связи с подшипником.

В системах ПОНАБ, ДИСК, КТСМ и их модификаций, эксплуатируемых в странах бывшего СССР и установленных на многих участках железных дорог Украины, используется принцип допускового контроля величины сигнала с приемника излучения с естественной модуляцией теплового потока от элементов конструкции вагона при его движении. На контролируемом участке для этого предписывается специальный диапазон скоростей движения поездов, поскольку при отклонении от него резко возрастает погрешность контроля.

Поэтому целесообразным является переход от допускового контроля к точному измерению температуры контролируемого узла. Основным преимуществом последнего является возможность мониторинга теплового состояния буксы в процессе прохождения соседних пунктов контроля, что позволяет заблаговременно обнаружить ее предаварийное состояние и устранить опасность аварии с минимальными затратами.

Кроме того, измерение температуры буксы позволяет установить для нее объективные критерии аварийного и предаварийного состояний для каждого пункта контроля, более полно учитывающие особенности пути, за-

грузки и предыстории движения. А это, в свою очередь, повышает достоверность контроля, снижает количество пропусков опасных состояний и ложных остановок по сравнению с приборами допускового контроля.

В Украине парк устаревших НК постепенно заменяется новыми системами АСДК-Б (ОАТ "Прожектор", г. Малин Житомирской обл.). Эта система построена на основе PbSe-фотоприемника с термоэлектрическим 2-ступенчатом охлаждением. В ней используется модуляция входного потока теплового излучения с частотой 3 кГц. Точность измерения – $\pm 2^\circ\text{C}$. В комплект входят 4 НК: по две на каждую сторону дороги. Камеры устанавливаются на отдельный фундамент, при этом одна визирует крышку буксы, а вторая – подступичный узел колесной пары.

Основными недостатками этой системы являются:

- установка на отдельный фундамент;
- чувствительность системы к солнечным засветкам, обусловленная наклонным положением линии визирования и высокой чувствительностью фотоприемника в коротковолновой части спектра;
- короткий срок службы фотоприемника вследствие падения его чувствительности в процессе эксплуатации;
- значительное энергопотребление из-за необходимости охлаждения фотоприемника.

3. СОЗДАНИЕ НАПОЛЬНОЙ КАМЕРЫ ПРИБОРА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ

Из анализа характеристик аналогов можно сформулировать следующие основные требования к современной напольной камере:

- НК должна прикрепляться к рельсу;
- должна визировать элемент конструкции, температура которого однозначно связа-

на с температурой подшипника буксового узла всех используемых типов тележки, и измерять ее с погрешностью, не превышающей $\pm 2^\circ\text{C}$, независимо от загрязнения, состояния поверхности и условий освещения солнцем.

- должна выполнять измерения в пределах практически допустимого в современных условиях Украины диапазона скоростей поезда – $5\div 250$ км/ч;
- должна полностью реализовывать функцию первичного измерения (быть интеллектуальным датчиком) и использовать один из стандартных интерфейсов связи для легкого комплексирования системы.

Создание такой НК, предназначенной для использования в качестве базового прибора в составе автоматизированной системы диагностического контроля (АСДК) с наращиваемой структурой, являлось задачей инновационного проекта "Прибор для дистанционного измерения температуры буксовых узлов рельсового транспорта в процессе движения", выполненного в Отделе приемников излучения Института физики НАН Украины.

Идея построения прибора была основана на использовании специального неохлаждаемого пироэлектрического приемника излучения (ППИ).

Создание подобного ППИ, не имеющего аналогов в странах СНГ, явилось одной из основных задач, решаемых в процессе работ по этому инновационному проекту.

3.1. Создание виброустойчивого ППИ

Пироэлектрические детекторы в силу ряда преимуществ перед другими детекторами получили широкое распространение в качестве базовых элементов при создании оптических приемных устройств инфракрасного диапазона излучения. Пироэлектрические детекторы (ПД) являются неохлаждаемыми приемными устройствами. Их отличает ряд нео-

споримых преимуществ перед другими типами приемников излучения:

- равномерная спектральная характеристика поглощения в широком ($0,3\div 100$ мкм) диапазоне длин волн;
- равномерная (с точностью до 1,5 %), в отличие от полупроводниковых болометров и фотоприемников, чувствительность в широком ($-50 \div +50^\circ\text{C}$) диапазоне температур;
- равномерная зонная характеристика ($1,5\div 2\%$ на площадку до $1\ 000$ мм²);
- высокая стабильность во времени, что позволяет разрабатывать на их основе образцовые и эталонные приемные измерительные устройства (неизменность характеристик на протяжении более 20 лет наблюдения);
- способность работать как в режиме измерения мощности, так и в режиме измерения энергии излучения;
- универсально высокая чувствительность, что позволяет измерять: мощность в пределах до 10^{-8} Вт, энергию – до 10^{-9} Дж, температуру – до $0,1^\circ\text{C}$;
- широкий динамический диапазон, позволяющий с высокой степенью линейности производить измерения мощности в пределах от 10^{-8} Вт до сотен кВт;
- высокая технологичность в производстве, что позволяет создавать детекторы больших (площадью до $1\ 000$ мм²) размеров и различных форм, в том числе в виде черного тела (сферы, клина);
- широкий функциональный спектр, позволяющий создавать на основе ПД линейки пироэлектрических приемных устройств, а также координатные детекторы для измерения положения энергетического центра пучка излучения и его смещения с точностью до 1 мкм.

Указанные выше преимущества ППИ оказали решающее влияние на выбор их в ка-

честве базовых сенсоров при использовании в приборах для бесконтактной диагностики буксовых узлов. При этом наряду с использованием целого ряда позитивных характеристик ППИ пришлось преодолевать и такие его негативные особенности, как чувствительность к вибрационным и акустическим воздействиям, которые неизбежны при эксплуатации прибора на железнодорожном полотне.

Как известно [1], все сегнетоэлектрики (а в качестве чувствительного элемента ППИ использовались монокристаллы сегнетоэлектрики танталата лития (LiTaO_3)) являются пьезоэлектриками, в которых в условиях вибрационных и акустических воздействий

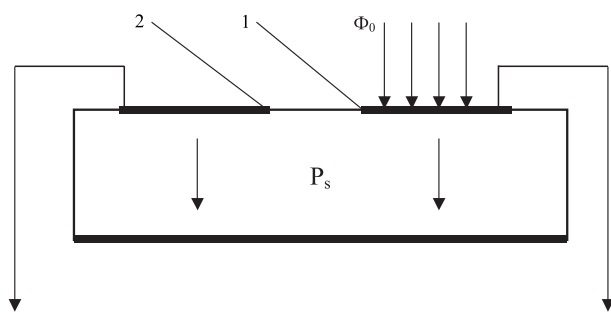


Рис. 1. Виброгасящая конструкция ППИ на основе двух встречновключенных чувствительных элементов на одном пьезоэлектрическом кристалле

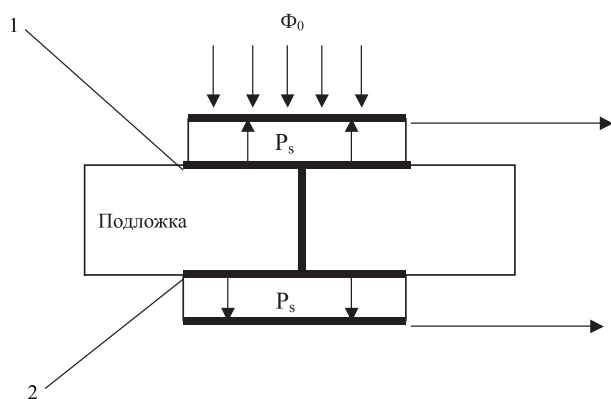


Рис. 2. Виброгасящая конструкция ППИ на основе двух встречновключенных пьезоэлектрических кристаллов с антипараллельными векторами поляризации на одной подложке

возникают электрические поля, создающие сигналы в измерительных трактах этих сенсоров. Поэтому в работе ППИ в условиях вибро- и акустических воздействий наряду с полезным первичным вкладом в сигнал от сенсора существует и вторичный (паразитный) вклад от пьезоэлектрических осцилляций [2, 3].

Первичный вклад обусловлен динамическим пьезоэлектрическим эффектом, который возникает при облучении кристалла переменным потоком излучения, поглощаемым либо чернящим покрытием сенсора, либо кристаллической решеткой пьезоэлемента. При этом величина сигнала пироотклика (первичного вклада) пропорциональна величине плотности потока падающего излучения. Вторичный вклад от вибро- или акустических воздействий в сигнал пьезоэлемента вносит погрешность в процесс измерения сигнала сенсора при поглощении ИК-излучения от исследуемого объекта. Пьезоосцилляции, возникающие от вибро- или акустических воздействий, накладывают существенные ограничения на условия применения ПД.

Для компенсации пьезоосцилляций нами были разработаны специальные виброгасящие конструкции ППИ. На рис. 1 показана конструкция ППИ, в которой на одном пьезоэлектрическом кристалле формируются два встречновключенных чувствительных элемента (ЧЭ). При этом один ЧЭ (облучаемый) является рабочим, а второй (необлучаемый) – компенсационным.

На рис. 2 показана конструкция на основе двух встречновключенных (с антипараллельными векторами поляризации) пьезоэлектрических кристаллов.

Такие конструкции пригодны при работе на низких (до 200 Гц) частотах модуляции измеряемых потоков излучения. В этом диапазоне частот длина звуковой волны, которая возникает в кристалле и распространяется в нем, а также в подложке, значительно превышает размеры чувствительного элемента.

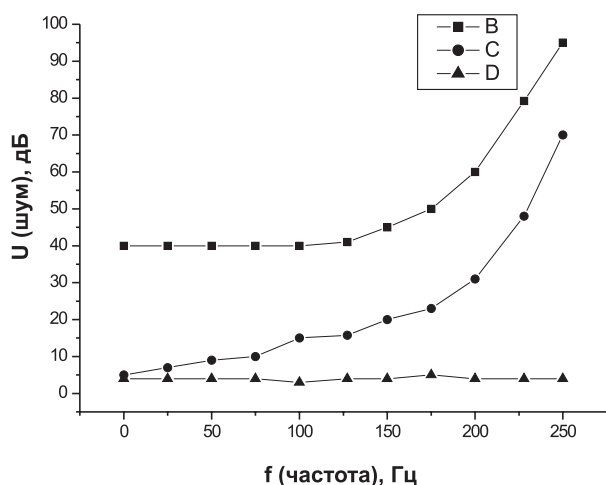


Рис. 3. Зависимость виброшума ППИ различных конструкций от частоты вибрации при ускорении 5 g

На рис. 3 (кривые В, С) показана зависимость виброшума от частоты вибрации при ускорении 5 g, полученная при исследованиях описанных выше конструкций чувствительного элемента ППИ на испытательном стенде.

Для работы на высоких частотах модуляции потока излучения (1 кГц и выше) нами были разработаны ПД, в которых рабочий и компенсационный чувствительные элементы находятся в одинаковых условиях при воздействии на них звуковой волны (рис. 4). Виброшум детектора такой конструкции приведен на рис. 3 (кривая Д). В этом приемном устройстве ЧЭ вместе с платой предварительного усилителя размещены в герметическом

корпусе с окном, прозрачным в рабочей области 7–15 мкм.

Важным этапом работ для создания прибора ППИ для диагностики температурного состояния буксовых узлов была разработка измерительного тракта приемного устройства.

Предварительный усилитель пироэлектрического приемника в измерительном тракте имеет два шумовых параметра: шумовое напряжение и шумовой ток, которые должны иметь минимальный уровень.

Возможны два основных варианта построения усилителя для пироэлектрического приемника:

- 1) комбинация полевого транзистора (ПТ), являющегося непосредственной нагрузкой чувствительного элемента, и операционного усилителя (ОУ);
- 2) микросхема операционного усилителя с высокоомным входом из специально собранных компонент для подключения к пироэлектрическим чувствительным элементам.

На основании экспериментальных результатов были проанализированы шумовые параметры лучшей для применения с чувствительным элементом емкостью до 200 пФ на частоте 3 кГц микросхемы AD 743 и сделаны следующие выводы.

1. В схеме с ПТ конструктивно и технологически повышено требование к испол-

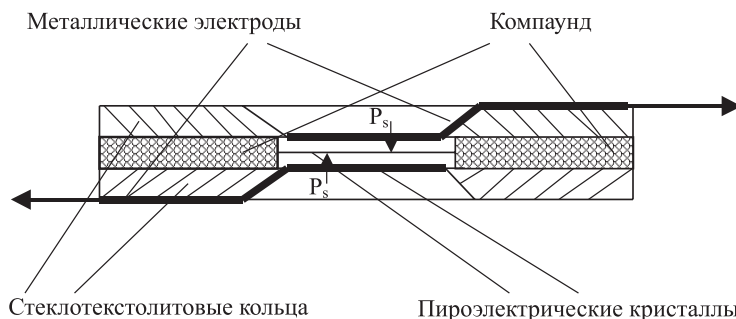


Рис. 4. Разработанная виброгасящая конструкция ППИ на основе двух встречновключенных пироэлектрических кристаллов с антипараллельными векторами поляризации

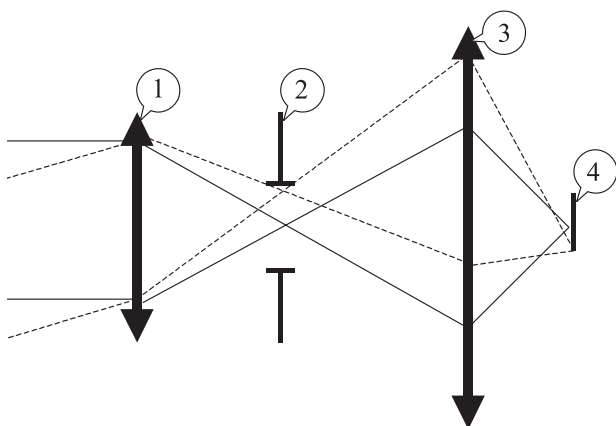


Рис. 5. Оптическая схема пирометра с проецированием полевой диафрагмы на чувствительную площадку пироприемника: 1 – объектив, 2 – полевая диафрагма, 3 – оборачивающая система, 4 – чувствительная площадка приемника

нению узла, который содержит чувствительный элемент, резистор утечки и ПТ. Этот узел можно в определенной степени отделить конструктивно от остальной части приемного устройства, что повысит надежность приемника в целом.

2. В схеме со специализированным ОУ существуют повышенные требования к цепям обоих входов ОУ, которые, естественно, конструктивно отделить от остальной

части усилителя не представляется возможным.

3. Приемник, в составе которого имеется ПТ, за счет глубокой отрицательной обратной связи, охватывающей весь усилитель, будет иметь высокую температурную и временную стабильность вольтовой чувствительности. Коэффициент усиления предварительного усилителя ППИ – 6 500. Напряжение шума усилителя с эквивалентной емкостной нагрузкой, приведенное к входу, составляет около $4 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ ($1 \text{ нВ} = 10^{-9} \text{ В}$).

Основные параметры созданного пироприемного устройства наведены в табл. 2.

3.2. Выбор оптической схемы

Оптические схемы пирометров, как правило, выполняются в двух вариантах:

- 1) объектив, в фокальной плоскости которого расположены полевая диафрагма с модулятором, и оборачивающая система, проектирующая полевую диафрагму на чувствительную площадку пироприемника;
- 2) объектив с полевой диафрагмой и модулятором в фокальной плоскости и оборачивающая система, проектирующая полевую диафрагму на чувствительную площадку пироприемника.

Таблица 2. Основные параметры созданного пироприемного устройства

1	Размер приемной площадки, мм	$\varnothing 2$
2	Спектральный диапазон, мкм	0,5–15
3	Вольтовая чувствительность при частоте модуляции 3 000 Гц, В/Вт	$6,5 \times 10^3$
4	Пороговый поток при частоте модуляции 3 000 Гц, Вт/ $\sqrt{\text{Гц}}$	10^{-8}
5	Напряжение питания, В	$\pm 12\text{В}$
6	Ток потребления, А	5×10^{-3}
7	Напряжение шума, приведенное к входу, нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$	8,3
8	Коэффициент усиления предварительного усилителя ППИ	6500
9	Уровень собственного напряжения шума в полосе шириной 500 Гц при частоте модуляции 3 000 Гц, В	$1,2 \times 10^{-3}$
10	Габаритные размеры пироприемника, мм	$\varnothing 23 \times 25$

чивающая система, проектирующая входной зрачок на чувствительную площадку пироприемника.

На рис. 5 и 6 показан ход лучей через оптические системы вариантов 1) и 2) соответственно. Для центра поля зрения ход лучей показан сплошной линией, для края – пунктирной.

На рис. 5 оборачивающая система (поз. 3) проецирует полевую диафрагму (поз. 2) в плоскость приемной площадки (поз. 4). При модуляции полевой диафрагмы изображение щелей модулятора последовательно пробегает по чувствительной площадке.

На рис. 6 оборачивающая система (поз. 3) проецирует объектив (поз. 1) в плоскость приемной площадки (поз. 4), а полевая диафрагма (поз. 2) для оборачивающей системы является зрачком входа. Постепенное перекрытие зрачка входа щелями модулятора влияет только на величину облученности плоскости чувствительной площадки, постоянно обеспечивая ее равномерную засветку.

В первом варианте оптической схемы возможная неравномерность чувствительности по площадке приемника сказывается на искажении фронтов импульса при модуляции поля зрения. Во втором варианте этот эффект отсутствует, т. к. на чувствительную площадку приемника изображается равномерно облученный входной зрачок объектива, а величина сигнала приемника пропорциональна площади сечения полевой диафрагмы окном модулятора.

В обоих вариантах оптической схемы величина сигнала приемника пропорциональна квадрату задней числовой апертуры оборачивающей системы. Требования к качеству абберационной коррекции оборачивающей системы предъявляются высокие, т. к. от нее зависит крутизна переднего и заднего фронтов импульса. Расчетная величина абберационного кружка рассеяния для края поля зрения

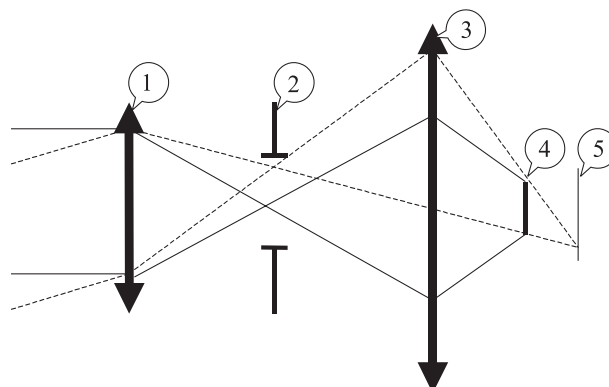


Рис. 6. Оптическая схема пирометра с проецированием входного объектива на чувствительную площадку пироприемника: 1 – объектив, 2 – полевая диафрагма, 3 – оборачивающая система, 4 – чувствительная площадка приемника, 5 – плоскость изображения полевой диафрагмы

не должна превышать $1/20$ ширины щели модулятора.

Сравнение двух вариантов оптической схемы при одинаковых задних числовых апертурах и качестве абберационной коррекции показывает, что первый вариант имеет преимущество по меньшему количеству оптических элементов оборачивающей системы. С учетом этого факта, а также равномерности чувствительности по площадке он был выбран для проектирования образцов.

3.3. Функциональная схема прибора

В процессе работы над темой были реализованы два варианта исполнения оптической схемы прибора:

- макетный образец – линзовый объектив и линзовая оборачивающая система из германия со сферическими поверхностями;
- опытные образцы – линзовый объектив и линзовая оборачивающая система из германия с асферическими поверхностями.

В обоих вариантах оптическую схему удалось реализовать на 4-х одинаковых германиевых линзах. Конструктивные отличия

макетного и опытных образцов, в основном, обусловлены требованиями реализации оптической схемы.

На рис. 7 приведена функциональная схема прибора.

Основные функциональные узлы образца и их назначение следующие:

1. Шторка камеры предназначена обеспечивать защиту внутреннего содержимого камеры в нерабочем состоянии, в первую очередь оптики, от воздействия внешних факторов: пыли, грязи, влаги, капель, несанкционированного доступа. Открытие шторки должно происходить за время, не превышающее 0,3 с, т. е. за время прохода поездом на максимальной скорости расстояния от первого датчика до камеры

(40 метров). В закрытом состоянии шторка фиксируется стопорным механизмом. В этом положении в поле зрения объектива попадает узел калибратора. В открытом состоянии шторка обеспечивает визирование объекта контроля без виньетирования. Конструкция НК предусматривает возможность установки сменных защитных фильтров для предохранения внутренностей камеры от загрязнений во время измерений. Положение шторки контролируется щелевой оптикой и кодовым диском, закрепленным на оси шторки.

2. Узел калибратора включает элемент Пельтье и термометр на основе медного сопротивления. Назначение узла – фор-

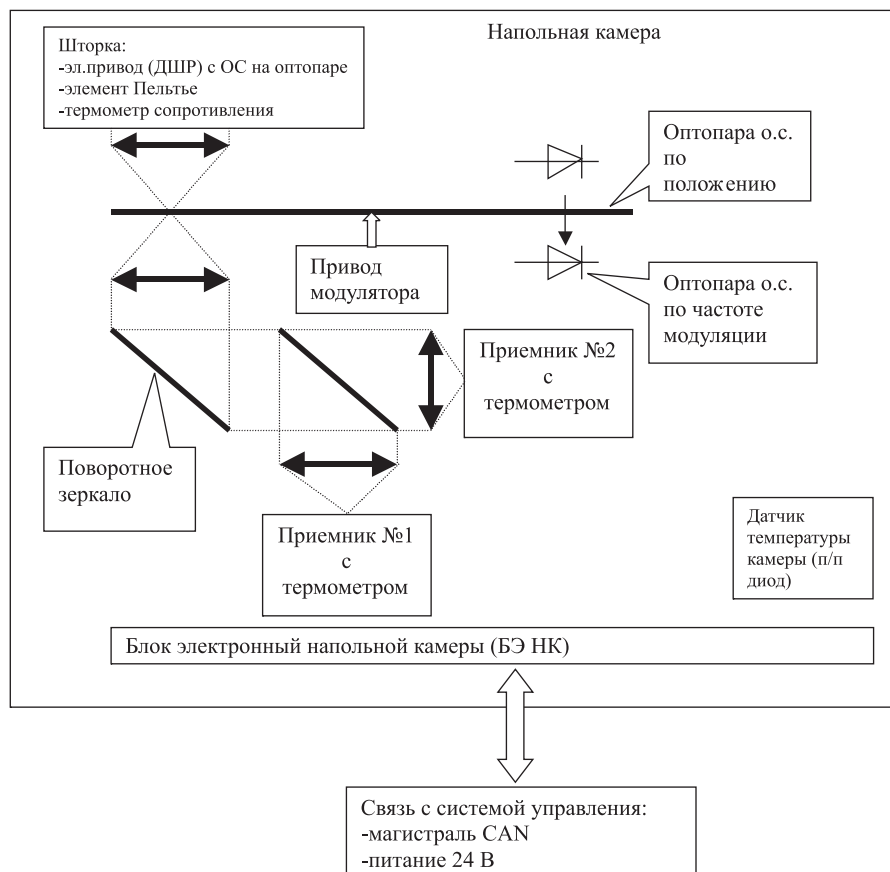


Рис. 7. Функциональная схема опытных образцов НК

- мировать в поле зрения объектива тепловой поток плоской пластины с известной регулируемой температурой.
3. Оптическая схема включает: входной объектив, поворотное зеркало, оборачивающую систему со спектроделителем в параллельном ходе лучей и два приемника излучения. Ее назначение – передача теплового потока от контролируемой зоны буксового узла на приемники излучения. Для обеспечения независимости измерений от свойств и загрязнений контролируемой поверхности был применен двухспектральный метод. Для нечувствительности к солнечным засветкам используется участок спектра от 7 до 15 мкм, где влияние солнечного излучения минимально. Пунктирной линией на рисунке показан ход лучей.
 4. Модулятор представляет собой вращающийся диск с отверстиями в плоскости полевой диафрагмы. Частота модуляции входного светового потока составляет 3 кГц, время набора частоты – не более 0,3 с. Управление частотой обеспечивается ПИД-регулированием напряжения питания двигателя. Источником сигнала обратной связи (ОС) служит оптопара модулятора.
 5. Термометры корпуса модулятора и камеры, изготовленные с использованием медного термосопротивления и полупроводникового диода соответственно.
 6. Электронный блок управления обеспечивает управление функциональными узлами. Интерфейс связи с системой управления построен на основе высокоскоростной защищенной от помех магистрали CAN и содержит шину питания + 24 В.

Программируемый элемент электронного блока – 16-битный микроконтроллер MB90F497G фирмы FUJITSU SEMICONDUCTOR.

Микроконтроллер сконфигурирован в следующий режим работы:

- используется внутренняя Flash-память программ 64Kbyte×8/32Kword×16bit, 10 000 циклов стирания/записи; время хранения данных – 10 лет;
- используется внутренняя память данных – 2 048 байт;
- внешний кварцевый резонатор 4 000 000 Гц с внутренней схемой PLL×4 позволяет выполнять микроконтроллеру одну операцию за 62,5 нс;
- задействован встроенный 10-разрядный АЦП с мультиплексируемыми входами AN0..AN7 плюс дополнительный внешний мультиплексор на 4 входа на входе AN7, управляемый процессором, что в сумме позволяет выполнять измерения по 11 входам;
- для обмена информацией с внешней программой мониторинга задействован CAN V 2.0 интерфейс, позволяющий организовать скорость обработки информации от 10 кбит/с до 1 Мбит/с;
- задействованы два встроенных программируемых канала широтно-импульсной модуляции для управления скоростью модулятора и температурой элемента Пельтье;
- задействованы внутренний и внешний Watchdog, тактируемые микроконтроллером.

В протокол обмена с управляющим компьютером в режиме реального времени входит следующая информация по каждому из двух пироприемников:

- амплитуда сигнала;
- фаза сигнала в виде знака "+" или "-";
- температура приемника;
- номер отверстия по отношению к опорному сигналу.

Обмен другой информацией – исполнительными командами, информацией о текущем состоянии узлов (ток, напряжение, тем-

пература, скорость и др.) – происходит в диалоговом режиме.

Скорость обмена по интерфейсу – 1 Мбод.

На рис. 8 представлен пример циклограммы обмена информацией с управляющим компьютером. Отображены амплитуды первичного (т. е. без обработки) сигнала с каждого отверстия модулятора для двух пироприемников. Изменением цвета (желтый – красный и синий – зеленый) индицируется изменение фазы сигналов по отношению к опорному – температуре модулятора.

Основные технические характеристики созданной НК наведены в табл. 3.

4. ВЫВОДЫ

В процессе выполнения работ по созданию прибора дистанционного температурного контроля буксовых узлов были достигнуты такие результаты:

Таблица 3. Основные технические характеристики созданной НК

Диапазон измерения температуры, °С	-50 ÷ +150
Точность измерения температуры, °С	± 2
Температура окружающего воздуха, °С	-50 ÷ + 50
Рабочий спектральный диапазон, мкм	7 ÷ 15
Диапазон скоростей поездов, для которого обеспечивается штатный режим измерения, км/час	5 ÷ 300
Срок эксплуатации, лет не менее	10

1. Разработаны, изготовлены и исследованы несколько модификаций ППИ. В результате исследований был найден оптимальный размер приемной площадки чувствительного элемента, позволяющий обеспечить требуемые параметры пироприемника (в первую очередь – показатели чувствительности, шумо- и виброус-

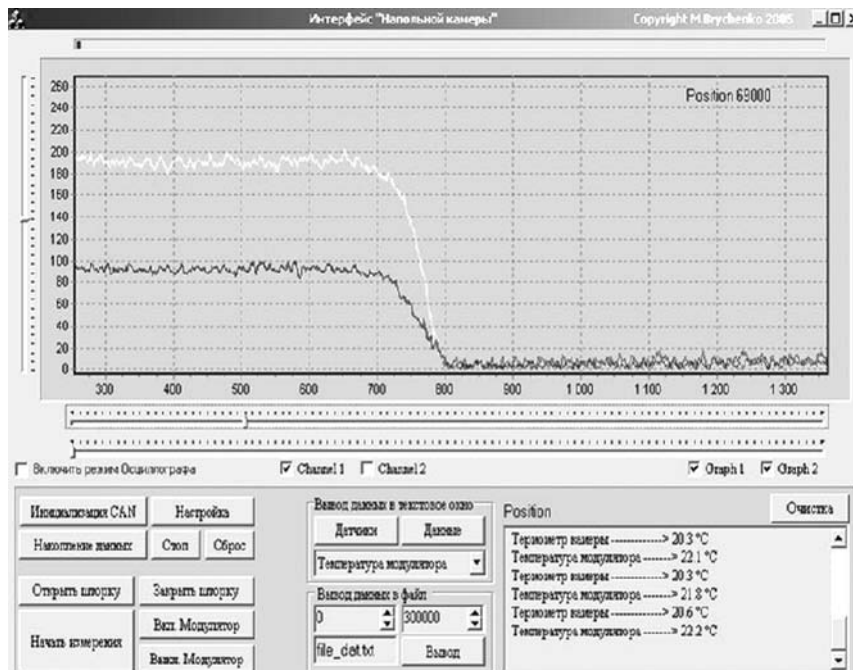


Рис. 8. Графики напряжения сигнала в двух каналах радиометра (вид экрана дисплея) при выведении из поля зрения объекта с температурой, превышающей на 10 °С температуру окружающего воздуха. По горизонтальной оси – номера отсчетов с частотой 3 кГц, по вертикальной – амплитуда сигнала в условных единицах (4 мВ)

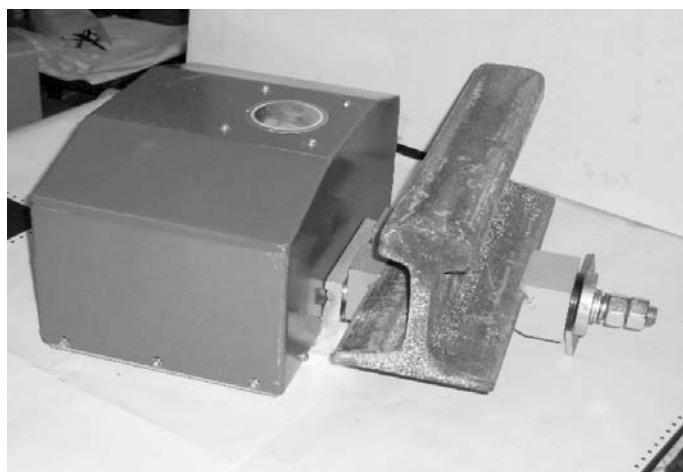


Рис. 9. Внешний вид созданной напольной камеры, присоединенной к подошве рельса

тойчивости) и отработаны пригодные для серийного изготовления электрическая схема, конструкция герметичного корпуса с повышенной устойчивостью к шуму и вибрации, технология изготовления пироприемника.

2. Проведены экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров и режимов работы блоков и узлов опытных образцов НК (рис. 9). Выполнена всесторонняя отработка и настройка оптической схемы, спектральных элементов, электрической схемы, программного обеспечения, конструктивных узлов НК.
3. Реализован комплекс мероприятий по уменьшению габаритов и снижению стоимости напольной камеры: выполнен оптический расчет и найдены варианты оптической схемы с минимально возможными размерами оптических элементов, снижающими расход дорогостоящих оптических материалов (германий, селенид цинка); разработан и создан оптимальный комплект электрических схем и вариант конструктивной компоновки.

Достигнутые приемлемые значения основных технических параметров НК создают

предпосылки для подготовки к серийному производству – изготовлению опытной партии НК.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иона Ф., Ширане Д.** Сегнетоэлектрические кристаллы. – М.: Мир, 1965, стр. 387–388.
2. **Кременчугский Л. С.** Сегнетоэлектрические приемники излучения. – К.: Наук. думка, 1971, стр. 86–90.
3. **Кременчугский Л. С., Ройцина О. В.** Пироэлектрические приемники излучения. – К.: Наук. думка, 1979, стр. 77–78.
4. **Кременчугский Л. С., Ройцина О. В.** Пироэлектрические приемные устройства. – К.: Наук. думка, 1982, стр. 14–17.
5. Справочник по приемникам оптического излучения. / Под ред. Л. З. Криксунова и Л. С. Кременчугского. – К.: Техніка, 1985, стр. 44–47.
6. **Кузьминов Ю. С.** Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением. – М.: Наука, 1982, стр. 258–261.
7. **Воронкова Е. М., Гречушников Б. Н., Дистлер Г. И., Петров И. П.** Оптические материалы для инфракрасной техники. – М.: Наука, 1965, стр. 21, 92.
8. **Анпилов М. В., Долганин Ю. Н.** Резервы повышения эффективности автоматизированных систем контроля технического состояния подвижного состава. / Автоматика, связь, информация. – 2002, № 11, стр. 18–21.

В. В. Рибак, С. К. Складенко, О. О. Строчак. ПРИЛАД НА ОСНОВІ ПІРОЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИЙМАЧА ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ В ПРОЦЕСІ РУХУ.

Анотація: Описано розроблений в Інституті фізики НАН України прилад, що створений на базі двох-спектрального радіометра для вимірювання температури буксових вузлів рейкового транспорту. Технічні параметри приладу дозволяють проводити температурний моніторинг буксових вузлів потягів у процесі руху, що значно підвищить безпеку руху залізничного транспорту.

Ключові слова: піроелектричний приймач, вібростійкість, ІЧ-випромінювання, оптична система, мікропроцесор.

V. V. Rybak, S. K. Sklyarenko, O. O. Strokach. THE DEVICE ON THE BASE OF THE INFRARED PYROELECTRIC DETECTOR FOR REMOTE TEMPERATURE MEASUREMENT FOR THE AXLE-BOX UNITS OF RAIL TRANSPORT DURING MOVEMENT.

Abstract: The paper presents the device which was designed in Institute of Physics of NASU on the base of the two-spectral radiometer for temperature measurement of the axle-box units of rail transport. Technical parameters of the device allow to install temperature monitoring of train axle-box units during movement. This will considerably increase traffic safety of railway transport.

Keywords: pyroelectric detector, stability to vibrations, infrared, optical scheme, microprocessor.

Надійшла до редакції 15.06.06
