

**ООО «ЭТРА-спецавтоматика»**

630015, г. Новосибирск,
ул. Планетная, д. 30, корп. 5
Тел./факс: +7 (383) 278-72-59
E-mail: etra.s@yandex.ru; www.etra.ru



Эрвист

ООО «Компания ЭРВИСТ»

111020, г. Москва, ул. 2-ая Синичкина, д. 9а,
стр. 10, БЦ «Синица Плаза»
Тел./факс: +7 (499) 270 0909, +7 (495) 987-47-57
E-mail: info@ervist.ru; www.ervist.ru

Тепловизионный индикатор критического состояния

«СНЕГИРЬ»

как средство сверхраннего обнаружения места пожара или перегрева оборудования

**АННОТАЦИЯ**

Предлагается устройство, которое с помощью круглосуточной тепловизионной съемки автоматически, без участия оператора осуществляет анализ температуры контролируемых объектов, определяет неисправность объектов по их аномальному нагреву и формирует извещение об опасной ситуации.

Ключевые слова: ТИКС; тепловизор; аналитический тепловизор; первичный признак возникновения пожара; температура поверхности; контроль перегрева оборудования

Идея сверхраннего обнаружения пожара обсуждается уже давно. Это очень заманчиво: предотвратить пожар на стадии, когда достаточно плеснуть на возгорание стакан воды или выдернуть штепсель дымящегося прибора из сети. При этом практически отсутствует ущерб не только от пожара, но и от его тушения. Для этого нужно контролировать первичный признак возникновения пожара, а именно температуру поверхности физических тел, идентифицируя температуру, не нормальную для контролируемого тела. Как отмечено в работе [1]: зная температуру на поверхности вещества как в начальный момент времени, так и в некоторый зарегистрированный (или контролируемый) момент времени, можно оценить ситуацию и спрогнозировать характер развития будущего пожара и остальные параметры, необходимые для принятия мер по предупреждению дальнейших негативных последствий.

В работе пожарных извещателей используются вторичные признаки нагрева тела. Дымовые извещатели реагируют на частицы сажи, которые транспортируются тепловым потоком. Газовые из-

вещатели реагируют на изменения химического состава воздуха, которые также распространяются с тепловым потоком и на близких расстояниях газовой диффузией. И в том, и в другом случаях мощность теплового потока должна быть такова, чтобы обеспечить доставку контролируемых компонентов до извещателя, установленного на потолке. Тепловые извещатели вроде бы просто реагируют на тепло, однако простейшие расчеты показывают, что для обеспечения обнаружения конвективной колонки воздуха тепловым извещателем хотя бы классами А1 или А1R мощность пожара должна составлять десятки, сотни киловатт. А такой пожар уже условным стаканом воды не потушишь.

Однако, если знать, что поверхность объекта уже достигла температуры, которой в обычной ситуации быть не должно, можно принять действия по устранению такой ситуации и предотвратить опасное развитие событий. Например, если токоведущие (за исключением контактов и контактных соединений), нетоковедущие и металлические части, не изолированные и не соприкасающиеся с изоляционными

материалами распределительного устройства, превышают допустимую температуру 120 °С¹, то можно своевременно отреагировать на эту ситуацию, не дожидаясь повреждения оборудования и пожара.

Конечно, к каждому вероятному источнику пожара не прикрепишь термометр. Наиболее реально контролировать температуру поверхности тела с помощью бесконтактного способа, анализируя инфракрасное излучение объекта.

Инфракрасный анализ поверхности объекта

Инфракрасная термография — достаточно эффективная технология для обнаружения точек повышенного нагрева оборудования и точек контактов в местах электрических соединений [2].

Тепловизионные приборы (тепловизоры) определяют поверхностную температуру объекта бесконтактным способом, что позволяет провести количественный анализ повышения температуры. Это позволяет контролировать процессы, которые скрыты от глаз за оболочкой или преградами вне зависимости от условий освещения.

Впервые инфракрасное излучение было зарегистрировано английским астрономом сэром Уильямом Гершелем. Произошло это в 1800 г. Гершель проводил серию опытов, чтобы выяснить, какой нагревательной способностью обладают различные участки солнечного света. Исследуя спектр, он разложил солнечный свет призмой и измерял температуру его участков, поднося ртутный термометр к разным цветовым полосам спектра, что показало их различную температуру. Ученый обнаружил, что нагрев стал расти при перемещении термометра за красную границу оптического диапазона спектра. Гершель пришел к выводу, что кроме оптически видимого излучения есть еще невидимое глазом, тепловое или инфракрасное излучение.

В XX в. использование инфракрасного (ИК) излучения как метод исследования обрело строгую научную базу благодаря фундаментальным работам Планка, Эйнштейна, Кирхгофа, Ламберта, Голицына, Вина в области теплового излучения.

Практическому применению тепловидения дало мощный толчок развитие полупроводниковой электроники в 1960–1970 годах.

Сейчас тепловизор — доступное устройство. Это произошло из-за того, что появились электронные матричные системы, неохлаждаемые болометрические матрицы, улучшены метрологические характеристики тепловизоров.

Используя закон Кирхгофа, получено основное уравнение ИК термографирования [3]. Посколь-

ку объект контроля всегда находится в окружении других физических тел, также испускающих и отражающих ИК (тепловое) излучение, то суммарное излучение тела, регистрируемое, например, тепловизором, складывается из собственного, прошедшего и отраженного излучения. С учетом того, что обычно мы имеем дело с непрозрачными объектами, и того, что при дальности контроля до 50 м можно пренебречь поглощением в атмосфере, уравнение термографирования показывает связь между истинной и радиационной температурами:

$$T_{ap}^n = \varepsilon T^n + (1 - \varepsilon) T_{amb}^n,$$

где T_{ap} — кажущаяся (apparent) или радиационная температура;

T — истинная температура;

T_{amb} — температура среды (ambient), в нашем случае температура воздуха;

ε — коэффициент излучения (или степень черноты), характеризует свойства поверхности объекта, температуру которого измеряет направленный на него пирометр. Этот коэффициент определяется как отношение энергии, излучаемой данной поверхностью при определенной температуре, к энергии излучения абсолютно черного тела при той же температуре. Коэффициент излучения может принимать значения от 0,1 до близких к 1;

n — параметр, зависящий от длины волны, для длины волны 7...14 мкм $n = 5$.

ИК тепловизор измеряет радиационную температуру. Значит, получив T_{ap} , зная T_{amb} и ε , можно рассчитать истинную температуру T поверхности, излучающую в инфракрасном диапазоне.

Зная истинную температуру, можно выделить критическое состояние объекта.

Критическое состояние — это предельное состояние объекта, выход из которого приводит к повреждению или возгоранию объекта.

Критическое состояние характеризуется абсолютной температурой объекта, относительной температурой по сравнению с температурой воздуха или скоростью приращения абсолютной температуры объекта.

Конструкции тепловизоров

Типовая конструкция тепловизора хорошо описана в Википедии²: тепловизор (тепло + лат. visio — видение) — устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. Распределение температуры отображается на дисплее как цветная картинка, где разным температурам соответствуют разные цвета.

¹Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ: (РД 153-34.0-20.363-99) : утвержден и введен в действие РАО ЕЭС России 14 декабря 1999 г.

²Тепловизор : Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловизор> (дата обращения: 03.09.2020).

Такое устройство может быть применимо для эпизодических осмотров с участием оператора, но не подойдет для непрерывного контроля с целью сверххранного обнаружения пожара или перегрева оборудования.

Нужен другой способ контроля — устройство, которое использует тепловизионную матрицу и принимает решение о тревожной ситуации автоматически, без участия оператора, работает в режиме 24/7. Такие устройства существуют и делятся на два типа.

1. Тепловизор, который интегрируется в систему видеомониторинга и передает термограммы без анализа тепловизором. На основе анализа видеокadra тревожную ситуацию выделяет программное обеспечение, размещенное на сервере системы видеонаблюдения.

Примером может служить система Opgal Optronic Industries Ltd., США [4], предназначенная для предприятий по переработке отходов. На этих предприятиях перерабатываемый материал складывается в большие кучи, представляющие собой смесь тканей, пластика, металла и резины, часто промасленные. Эта смесь материалов очень чувствительна к воспламенению и горению.

2. Автоматический аналитический тепловизор — измерительное бесконтактное тепловизионное устройство, которое автоматически анализирует термограмму, определяет тревожную ситуацию по критериям, устанавливаемым пользователем при инсталляции устройства, и передает на верхний уровень факт обнаружения тревожной ситуации.

Для таких устройств сервер, специальное программное обеспечение для обработки телевизионных изображений или внешние видеоинтерфейсы больше не нужны. Аналитические тепловизионные камеры предлагают полное, законченное решение. Это значительно снижает сложность системы, затраты на установку, эксплуатацию и передачу на верхний уровень системы, в то время как стабильность системы значительно улучшается.

Такие устройства выпускает, например, FLIR Systems, США, — тепловизионные камеры FLIR FC-серии S с функцией измерения температуры и программируемым предупреждением об опасности [5]. При превышении или уменьшении температуры объекта контроля срабатывает сигнализация, которая информирует оператора по электронной почте, подает цифровой сигнал по TCP/IP или VMS сигнализацию.

Также Automation Technology GmbH, Германия, в серии IRSX предлагает интеллектуальные автономные тепловизионные системы, предназначенные для промышленного использования [6]. Камеры IRSX реализуют подход «все-в-одном»: объединяют калиброванный тепловизионный датчик с мощным процессором обработки данных и различные про-

мышленные интерфейсы в компактном прочном корпусе класса защиты IP67, который можно разместить даже в ограниченном пространстве.

Тепловизионный индикатор критических состояний «Снегирь» (ООО «ЭТРА-спецавтоматика», Новосибирск, Россия)

Тепловизионный индикатор критических состояний «Снегирь» относится к автоматическим аналитическим тепловизорам.

Для упрощения применения прибор отнесен к категории индикаторов. Индикаторные устройства не подвергаются поверке, поэтому нет необходимости для периодического демонтажа, поверки и повторного монтажа. Достаточно (и необходимо) осуществлять контроль над исправностью устройства, чтобы использовать средства измерения для контроля технологических параметров, для которых не нормируется точность измерений.

Назначение устройства — автоматический контроль критического состояния объекта, которое характеризуется установленным порогом абсолютной температуры.

Исходя из назначения и конструктивных особенностей, устройство именуется «тепловизионный индикатор критических состояний (ТИКС) «Снегирь»».

ТИКС «Снегирь» — это **стационарный прибор**, который обеспечивает **непрерывное автоматическое тепловизионное наблюдение** за объектом на протяжении нескольких лет.

Естественно, что при таком режиме наблюдения никакой оператор не может длительно контролировать тепловизионную картинку (термограмму).

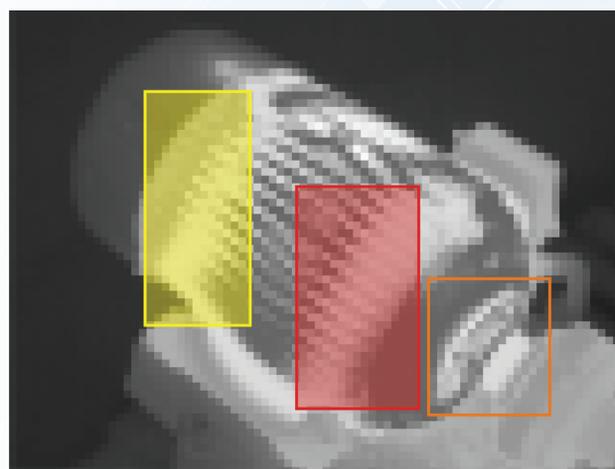


Рис. 1. Термограмма ТИКС «Снегирь». В контуре 1 (красный) найдено превышение пороговой температуры 80 °C, в контуре 2 (желтый) — превышение пороговой температуры 80 °C. Превышение в контурах 1 и 2 соответствует перегреву статора. В контуре 3 (оранжевый) отсутствует превышение пороговой температуры 110 °C подшипником ротора

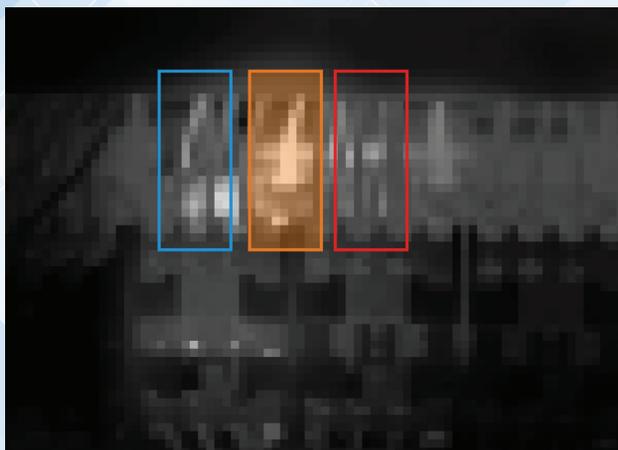


Рис. 2. Термограмма ТИКС «Снегирь» кабелей, подключенных к силовым электрическим автоматам. В контуре 2 (оранжевый) зафиксировано превышение пороговой температуры 60 °С. В контурах 1 и 3 (синий и красный) превышение пороговой температуры отсутствует

ТИКС «Снегирь» с интервалом 1,3 с автоматически получает и анализирует термограмму: алгоритм оценки высокого риска возгорания (часто называемый алгоритмом поиска горячих точек) исследует термограмму и определяет пиксели, в которых превышен температурный порог, заданный пользователем. Если будут найдены признаки критического состояния, то прибор передает сигнал о тревоге.

Признаком критического состояния является абсолютный порог температуры, превышение которого означает тревогу. Порог температуры устанавливается при установке ТИКС.

При настройке ТИКС можно указать до восьми зон, очертив их контур на термограмме сервисной программы, для каждой из которой можно указать свой порог критической температуры. Зоной может быть площадь как внутри контура (контур включения), так и за пределами контура (контур исключения) (рис. 1, 2).

Для предыдущего примера можно исключить чайник из анализа, не реагировать при любой его температуре, а для розетки установить порог критического состояния 40 °С.

Поскольку ТИКС ищет критическое состояние, то анализируемая температура критического состояния цели составляет от 20 до 230 °С.

Так как тревожный сигнал формируется автоматически, то ТИКС должен иметь очень малую частоту ложных тревог. Для этого используется алгоритм, который в термограмме выделяет пиксели с температурой не ниже установленного порога критического состояния, в последующих кадрах анализирует их поведение (сохранились, расширились, исчезли) и, на основании этого, ТИКС принимает решение о выдаче тревожного сигнала.

Индикатор ТИКС может быть установлен в различных местах, в том числе труднодоступных. Поэтому необходимость проверки может вызывать серьезные проблемы доступа и замены на время проверки. Поэтому ТИКС не имеет метрологических параметров точности измерения температуры и не подлежит проверке за все время службы.

По этим же причинам компьютер со служебной программой может подключаться к ТИКС по беспроводному каналу. Собственно канал обмена нужен весьма редко: при наладке или при считывании кадра тревожной термограммы из памяти устройства. Беспроводной канал связи позволяет не прокладывать кабель для столь редких нужд.

Для повышения точности измерения тепловизионными приборами нужно учитывать меняющиеся параметры, такие как солнечная радиация, резкие перепады температуры окружающего воздуха, порывы ветра. ТИКС предназначен для работы внутри строительных конструкций, в которых относительно медленно меняются температура воздуха, сила воздушных потоков, отсутствует прямое солнечное излучение.

На рис. 3 представлен ТИКС «Снегирь», полностью готовый к установке.

Системная интеграция ТИКС «Снегирь»

Средством передачи сигналов тревоги являются сухие контакты восьми реле (по количеству контуров), которые коммутируются при обнаружении или исчезновении критического состояния, а также отдельные сухие контакты реле, которые коммутируются при обнаружении неисправности устройства.

Предусмотрено подключение по интерфейсу RS422.

Для получения термограммы используется компьютер с установленной сервисной программой



Рис. 3. Общепромышленный вариант ТИКС «Снегирь»

Технические характеристики ТИКС «Снегирь»

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	12 ±1,2
Максимальный потребляемый ток, А	0,16
Спектральная чувствительность	Длинноволновое инфракрасное излучение с длиной волны 8...14 мкм
Количество чувствительных элементов (пикселей), горизонталь × вертикаль	80 × 60
Угол обзора горизонтальный, град. FOV – horizontal	51
Угол обзора диагональный, град. FOV – diagonal	63,5
Мгновенный угол поля зрения iFOV, мрад	11,127
Коэффициент излучения контролируемых объектов ε	От 0,7 до 1,0
Дальность до контролируемых объектов L , м, не более	50
Максимальная скорость приближающегося объекта, м/с	15,6
Выходные интерфейсы	Реле «сухой контакт»/RS422
Интерфейсы установок ТИКС	Проводной RS422/беспроводной WiFi
Устойчивость к электромагнитной обстановке	3-я степень
Степень защиты оболочкой	IP65
Эксплуатационная температура, °С	От 5 до 50

мой, который подключается к ТИКС по интерфейсу RS422 или по беспроводному интерфейсу WiFi.

Для определения тревожной ситуации ТИКС непрерывно не передает визуальную термограмму оператору, поскольку выделение критического состояния происходит автоматически.

Визуальная термограмма является вспомогательным средством. Она нужна при настройке индикатора на объекте, когда можно увидеть, что находится в поле зрения ТИКС, указать контурами зоны контроля и пороги температуры.

Кроме этого, если есть необходимость увидеть, что и в каком месте поля зрения послужило причиной тревоги, можно получить фиксированный кадр, который сохраняется в памяти ТИКС при тревоге. В фиксированном кадре отмечается контур зоны, в которой было выделено критическое состояние.

Технические характеристики ТИКС «Снегирь»

В индикаторе ТИКС используется модуль инфракрасной матричной камеры разрешением 80 × 60 пикселей. Это гораздо более эффективно, чем использование одноточечного болометра, поскольку в этом случае можно контролировать большую пло-

щадь и несколько объектов, а также использовать алгоритмы защиты от ложных тревог.

Вместе с тем, по сравнению с ИК камерами большого разрешения такой модуль при меньших затратах решает задачу обнаружения критического состояния оборудования и помещений.

ТИКС «Снегирь» (Exd) — взрывозащищенный вариант индикатора (рис. 4), относится к взрывозащищенному электрооборудованию групп I, II и III по ГОСТ 31610.0–2014 (IEC 60079-0:2011)³ и предназначен для применения во взрывоопасных зонах в соответствии с установленной маркировкой взрывозащиты,

Маркировка взрывозащиты:

- оболочка из алюминиевого сплава IEx d [ia Ga] II C T6 Gb X / Ex tb [ia Da] III C T85°C Db X;
- оболочка из нержавеющей стали IEx d [ia Ga] II C T6 Gb X / PB Ex d [ia Ma] I Mb X/Ex tb [ia Da] III C T85°C Db X.

Технические характеристики ТИКС «Снегирь» приведены в таблице.

³ ГОСТ 31610.0–2014. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2014 г. № 72-П).

Особенности ТИКС «Снегирь»:

- устройство ТИКС обеспечивает непрерывное измерение, анализ температуры поверхностей физических тел и определение критического состояния автономно, в том числе без участия оператора;
- устройство ТИКС обеспечивает безопасность оператора. Оператору нет необходимости находиться рядом с прибором при измерениях. Особенно это важно, если измерения проводятся при высокой температуре и влажности или в атмосфере опасных газов;
- устройство ТИКС обеспечивает контроль в труднодоступных местах. Есть поверхности и устройства, расположенные в труднодоступных и даже недоступных местах, температуру которых необходимо контролировать. Устройство, заранее размещенное в таких местах, будет осуществлять автоматический контроль;
- устройство ТИКС показательно. Термограмма позволяет увидеть причину тревоги. При срабатывании в тревожной ситуации термограмма, сделанная в этот момент, сохраняется в памяти прибора, что позволяет впоследствии увидеть причину и опасное место, которое было обнаружено устройством;
- устройство ТИКС определяет с высокой точностью месторасположение аномального повышения температуры, что позволяет не тратить время на поиски места перегрева;
- устройство ТИКС малоинерционно;
- устройство ТИКС позволяет контролировать движущиеся объекты;

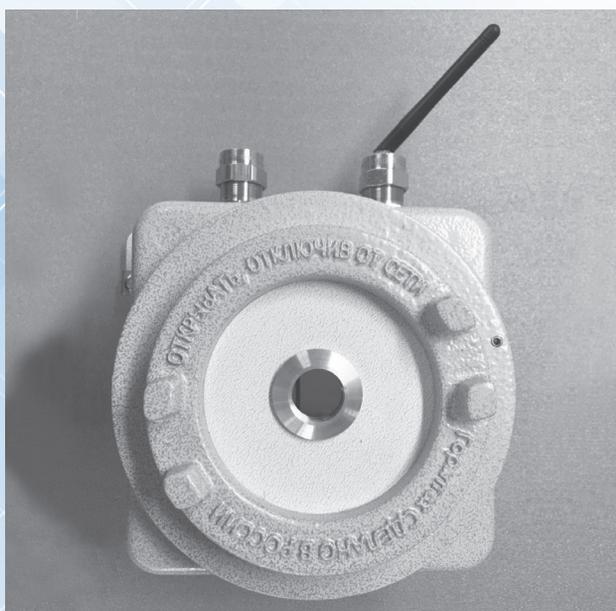


Рис. 4. Взрывозащищенный вариант ТИКС «Снегирь» (Exd) в оболочке из алюминиевого сплава



Рис. 5. ТИКС «Снегирь» в автомобильном тоннеле. Зафиксировано превышение пороговой температуры 80 °С в контуре (красный) в верхней части кузова грузового автомобиля

- устройство ТИКС не требует периодической метрологической поверки.

Возможное использование ТИКС «Снегирь»:

- мониторинг технологического оборудования: контроль над узлами и устройствами производственных линий или другого технологического оборудования, у которых существует риск разрушения или возгорания в результате перегрева или неправильной работы [7];
- мониторинг мест хранения материалов: контроль пожарной опасности, предотвращение самовозгорания или загрузки горячего материала в угольных складах, отвалах, объектах нефтяной и химической промышленности, складах древесины;
- противопожарный контроль, обеспечивающий сверхраннее обнаружение пожара: обнаружение истинной температуры объекта на расстоянии с малым временем реакции на превышение порога температуры;
- использование в энергетике и электротехнике: обнаружение перегрева токоведущих частей, вызванное увеличением сопротивления контакта, обнаружение предаварийного и аварийного режима высоковольтных устройств, трансформаторов, электродвигателей и др. [2];
- мониторинг в транспортных тоннелях (рис. 5): контроль возгорания в тоннеле. Система из ТИКС может быть организована так, чтобы определять место возгорания;
- мониторинг теплового режима технологического процесса: в этом случае критическим состоянием является нарушение технологического процесса в результате выхода температуры за пределы допустимого диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артамонов В.С., Поляков А.С., Иванов А.Н.* Сверхраннее и раннее обнаружение загораний: понятия, границы применения и единство // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2016. Т. 25. № 4. С. 78–83. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.78-83
2. *Нестерук Д.А., Вавилов В.П.* Тепловой контроль и диагностика : учебное пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 111 с.
3. *Назаров А.А., Пехотиков В.А., Грузинова О.И., Рябиков А.И.* Проверка пожарной опасности электрооборудования жилых и общественных зданий с помощью тепловизора : методические рекомендации. М. : 2004.
4. Thermal cameras spare recyclers from fire damage. URL: <https://www.opgal.com/wp-content/uploads/2016/04/Recycling-Facility.pdf> (дата обращения: 04.10.2020).
5. FLIR. Fixed Network Thermal Cameras FLIR FC-Series R (Automation) Model: FLIR FC-324R. URL: <https://www.flir.eu/products/fc-series-r-automation/> (дата обращения: 04.10.2020).
6. Automation Technology. IRSX Series. Smart Infrared Cameras for Industry 4.0. URL: <https://www.automationtechnology.de/cms/en/irsx-i-self-contained-thermal-imaging-systems/> (дата обращения: 04.10.2020).
7. *Лунегов М.В., Кузин Е.Г.* Возможности инфракрасной термографии при оценке технического состояния элементов ленточных конвейеров // IX Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая». Кемерово, 18–21 апреля 2017 г. Кемерово, 2017. Ст. 14006. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2017/RM17/pages/Articles/0104006-.pdf> (дата обращения: 04.10.2020).

© **Е.Г. САЙДУЛИН,**

директор ООО «ЭТРА-спецавтоматика», г. Новосибирск

© **В.А. ШАТОХИН,**

ведущий инженер ООО «ЭТРА-спецавтоматика», г. Новосибирск

© **М.В. РУКИН,**

член Комитета по безопасности Торгово-промышленной палаты РФ,
генеральный директор ООО «Компания ЭРВИСТ», г. Москва