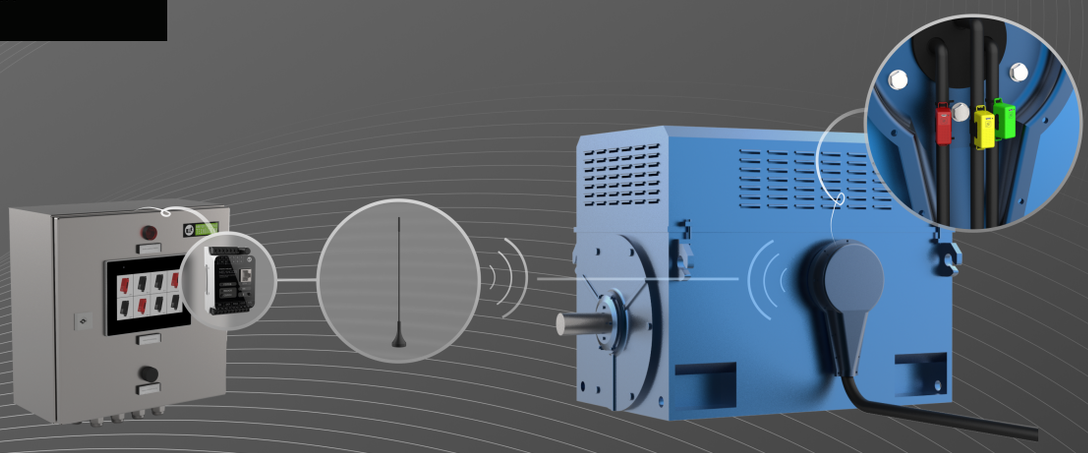
ООО НПП
«Микропроцессорные
технологии»

Автор
Генеральный директор Пирогов М. Г.



www.i-mt.net
8 800 555-25-11
01@i-mt.net

Температура внутри БРНО: как Мелисса помогает выявлять опасный нагрев электродвигателей 6 кВ

Опыт Усть-Каменогорской ТЭЦ и инженерные условия применения решения

Контроль за работой электродвигателя не исчерпывается наблюдением за обмотками и подшипниками. Отдельного внимания требуют силовые контактные соединения в БРНО — блоке распределения начал обмоток.

Именно эти соединения стали объектом опытно-промышленных испытаний системы Мелисса на двух электродвигателях 6 кВ Усть-Каменогорской ТЭЦ.

По отчёту предприятия, система обнаружила два случая опасного нагрева, после чего персонал принял меры по устранению дефектов.

1. КАКУЮ ЗАДАЧУ РЕШАЕТ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРИ БРНО

Силовой контакт представляет собой локальный участок электрической цепи. Его нагрев зависит не только от тока двигателя, но и от состояния самого соединения. Ослабление и окисление контактов — характерные причины развивающегося перегрева. Температурный датчик добавляет к контролю режима двигателя другой диагностический признак — нагрев контактов силовых цепей.

Небольшой относительно всей цепи рост сопротивления соединения способен увеличить местное тепловыделение, не создавая столь же заметного изменения тока.



Рис. 1. Датчики Мелисса, установленные внутри БРНО электродвигателя 6 кВ

2. ПОЧЕМУ ОПАСНЫЙ НАГРЕВ ВОЗМОЖЕН БЕЗ ВЫРАЖЕННОЙ ПЕРЕГРУЗКИ

Рассмотрим упрощённую инженерную модель контактного соединения. Мощность тепловыделения в нём определяется соотношением:

$$P_K = I^2 \cdot R_K$$

Здесь I — действующее значение тока, R_K — сопротивление контакта. Для иллюстрации примем I = 150 А и сравним сопротивления 100 и 1000 мкОм. Это условные исходные данные, а не измеренные параметры двигателей ТЭЦ.

Таблица 1. Иллюстративный расчёт местного тепловыделения

Условное состояние	Rк	Рк при 150 А	Падение напряжения I·Rк
Исходное соединение	100 мкОм	2,25 Вт	0,015 В
Соединение с повышенным сопротивлением	1000 мкОм	22,5 Вт	0,15 В

При неизменном токе тепловыделение возрастает в десять раз. Такой пример объясняет, почему локальный температурный контроль ценен и помогает заблаговременно выявить будущие повреждения.

3. КАК БЫЛИ ОРГАНИЗОВАНЫ ИСПЫТАНИЯ НА ТЭЦ

Объектами испытаний стали контактные соединения в БРНО электродвигателей шаробарабанной мельницы ШБМ-15 «А» и мельничного вентилятора МВ-15 «А». Оба электродвигателя — напряжением 6 кВ.

Место установки — мельничное отделение котельного цеха VII очереди ТОО «Усть-Каменогорская ТЭЦ».

Базовую станцию разместили в РУСН-0,4 кВ, щит 12СА. Для организации беспроводного канала связи с датчиками к ней подключили выносную антенну, вынесенную за пределы распределительного устройства, в мельничное отделение, ближе к контролируемым двигателям и в зону прямой видимости с БРНО. Данные с базовой станции Мелиссы интегрировали в локальную ИТ-инфраструктуру.

Реализованная схема: датчики внутри БРНО → радиоканал → выносная антенна в мельничном отделении → базовая станция в РУСН → программный мониторинг и оперативный персонал

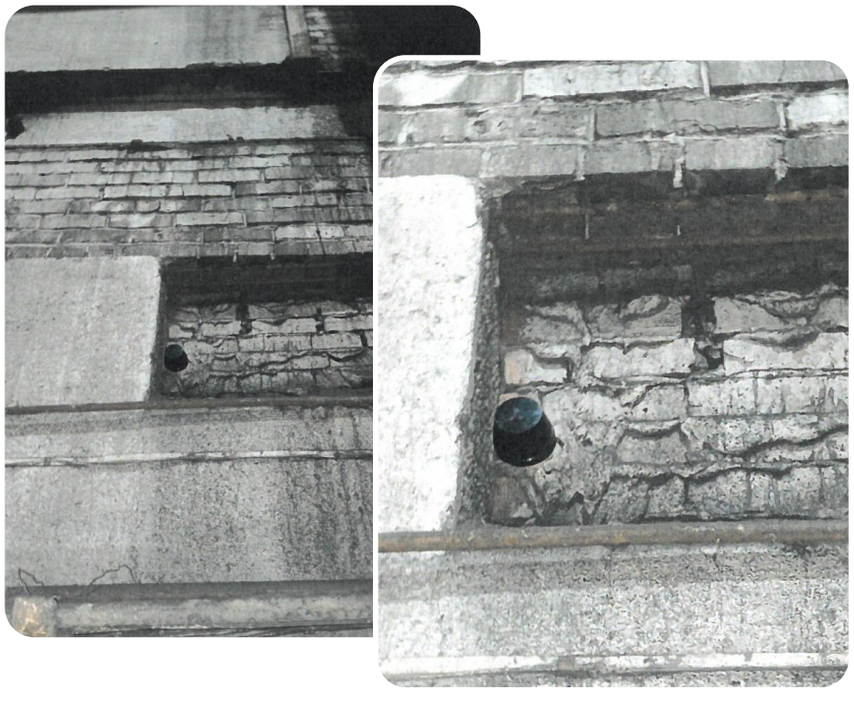


Рис. 2. Выносная антенна в мельничном отделении котельного цеха. Перенос приёма за пределы РУСН

В выводах отчёта качество передачи данных с выносной антенной названо удовлетворительным, а испытания — успешными. Это подтверждение работоспособности конкретной компоновки.

4. ЧТО ПОКАЗАЛИ ИЗМЕРЕНИЯ

Нормальный режим

При температуре окружающей среды 34 °C в отчете зафиксированы следующие значения.

Таблица 2. Температуры контролируемых точек в нормальном режиме; воздух — 34 °C

Электродвигатель	Фаза A	Фаза B	Фаза C	$T_{max} - T_{min}$
ШБМ-15 «А»	46 °C	51 °C	52 °C	6 °C
МВ-15 «А»	55 °C	54 °C	53 °C	2 °C

Для ШБМ-15 «А» превышения над температурой воздуха составили 12, 17 и 18 °C, для МВ-15 «А» — 21, 20 и 19 °C.

Два выявленных перегрева

26 мая 2026 года, на следующий день после начала ОПИ, на фазе B двигателя МВ-15 «А» **зарегистрирована температура 111–116 °C.** Превышение над нормальным значением составило 57–62 °C.

21 июня 2026 года на фазе B двигателя ШБМ-15 «А» **зарегистрировано 108 °C** при указанном нормальном значении не более 51 °C. Превышение над нормальным значением составило 57 °C.

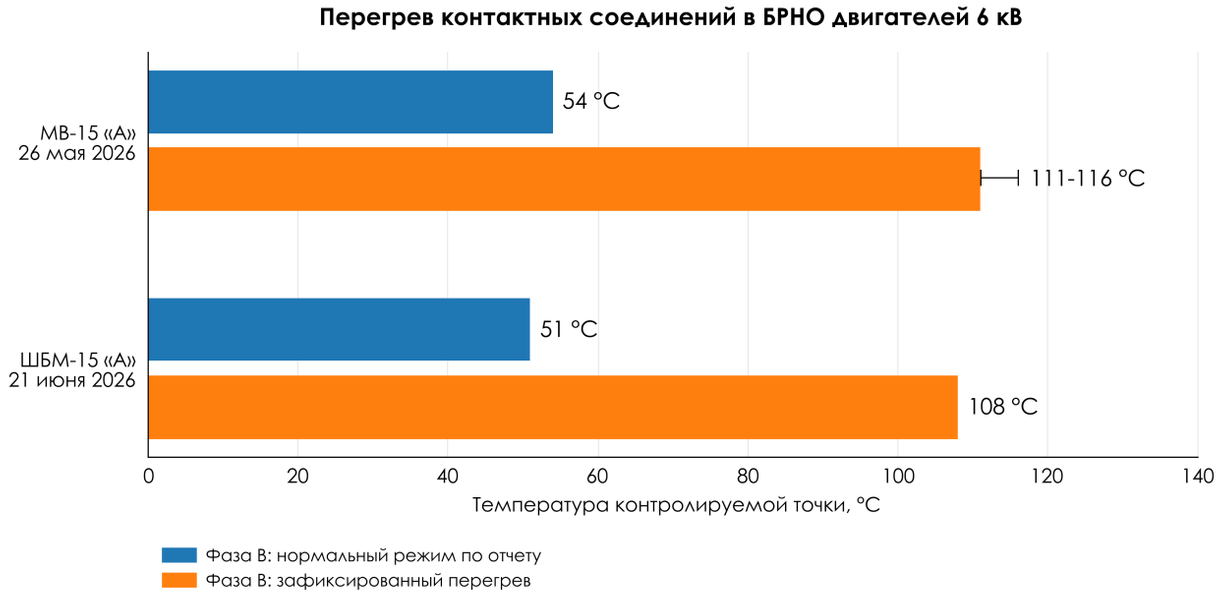


Рис. 3. Сопоставление температуры фазы B в нормальном режиме и при двух зарегистрированных перегревах

В отчете показано состояние перегретой изоляции фазы «B» МВ-15 «А» и дефект на соединении фазы «B» ШБМ-15 «А». Отдельная фотография тепловизора после останова МВ-15 показывает 74,4 °C. Это измерение в другом режиме и в другой момент: его нельзя использовать как проверку погрешности датчика относительно ранее зарегистрированных 111–116 °C.



Рис. 4. Фотографии дефектных узлов из отчёта: слева — перегретая изоляция фазы «В» МВ-15 «А»; справа — контактное соединение фазы «В» ШБМ-15 «А». Источник: отчёт ТЭЦ, с. 9 и 11

Авторы отчёта оценивают своевременное обнаружение как предотвращение дальнейшего повреждения двигателей и потерь, связанных с вынужденной разгрузкой котлоагрегата. Подтверждённый результат — выявление двух опасных перегревов и принятие персоналом своевременных мер по устранению дефектов. [1, с. 2–3]

5. ЧТО ДАЁТ ТЕРМОКОНТРОЛЬ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ

Стационарный датчик позволяет контролировать температуру в точке его установки при рабочей нагрузке.

Периодическое обследование даёт срез состояния в момент проверки; мониторинг с циклическим опросом добавляет наблюдение между такими проверками.

Для данного объекта практическую ценность непрерывного мониторинга демонстрируют два зафиксированных события опасного перегрева.

После отключения двигателя исходный режим тепловыделения меняется. Поэтому температурная картина, полученная после останова, не равнозначна измерению под рабочей нагрузкой.

6. ВОЗМОЖНОСТИ «МЕЛИССЫ» ДЛЯ ТИПОВОГО РЕШЕНИЯ

Датчики Мелисса выполняют контактное измерение температуры, питаются от переменного электромагнитного поля контролируемого проводника и передают информацию базовой станции по беспроводному каналу. Это позволяет не прокладывать информационную цепь от каждого датчика, установленного на узлы 6 кВ, к низковольтной аппаратуре.

Таблица 3. Основные характеристики системы

Параметр	По предоставленному РЭ
Период опроса датчиков	4 с
Количество датчиков на базовую станцию	От 1 до 64, **до 21 электродвигателя к одной базовой станции**
Минимальный ток для питания при 50 Гц	9 А; зависит от правильности монтажа ленты
Дальность радиосвязи	До 60 м при отсутствии препятствий
Связь с АСУ	**RS-485:** Modbus RTU, IEC 60870-5-101; **Ethernet:** Modbus TCP, IEC 60870-5-104

Полное время реакции включает тепловую инерцию узла и период опроса датчика, выдержку времени алгоритма и время реакции персонала.

Измеряемая температура относится к месту установки чувствительного элемента датчика. При монтаже на наружной поверхности кабеля или изоляции нельзя без отдельной проверки приравнивать её к температуре скрытой контактной поверхности. Поэтому повторяемая геометрия установки и тепловой контакт являются важной частью технического решения, а не второстепенной монтажной деталью.

7. ТРИ КРИТЕРИЯ, КОТОРЫЕ ДОПОЛНЯЮТ ДРУГ ДРУГА

Мелисса обеспечивает три температурных алгоритма.

Абсолютная температура: контроль опасного уровня

$$T_i > T_{уст}$$

Алгоритм «Перегрев» имеет две ступени с независимыми температурами и выдержками времени: предупредительную и аварийную. Уставки следует согласовывать с допустимыми температурами конкретного контакта, кабеля и изоляции, местом установки датчика и характером нагрузки.

Разность температур в группе: поиск выделяющейся фазы

$$\Delta T_{гр} = T_{max} - T_{min}$$

Дифференциальная тепловая защита сравнивает максимальную и минимальную температуры датчиков выбранной группы. Для трёх сопоставимых фазных соединений одного двигателя это даёт дополнительный признак локальной асимметрии.

Группировать следует сопоставимые точки одного узла, а не произвольные датчики разных двигателей. Уставка должна учитывать нормальный межфазный разброс, режимы и монтаж.

Превышение над температурой воздуха: учёт окружающей температуры

$$\Delta T_{возд,i} = T_i - T_{возд}$$

Алгоритм «Превышение температуры» сравнивает температуру каждого датчика с температурой воздуха, измеренной внешним NTC, и действует на предупреждение. Если базовая станция находится в РУСН, а двигатели — в котельном цехе, место установки NTC необходимо выбирать отдельно: температура воздуха у шкафа может не отражать условия охлаждения контактов двигателя.

При нескольких двигателях в разных тепловых условиях одного общего NTC может быть недостаточно для корректного применения этого критерия ко всем группам. Это следует учитывать при выборе числа базовых станций и схемы мониторинга; возможность принять до 64 датчиков сама по себе не решает задачу локального измерения воздуха.

8. РАДИОСВЯЗЬ — ПРОВЕРЯЕМАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

Результат ТЭЦ обосновывает применение выносной антенны. В РЭ дальность до 60 м прямо отнесена к отсутствию препятствий, а возможность разнесённой установки базовой станции и датчиков в металлических оболочках предлагается проверять натурными испытаниями. Для этого компания **ООО НПП «Микропроцессорные технологии» готова предоставлять комплект Мелисса для организации опытно-промышленной эксплуатации.**

Для повторного внедрения проверку целесообразно проводить при окончательно установленных крышках БРНО, закрытых дверях шкафов, штатном положении оборудования и характерных рабочих режимах. В программе проверки необходимо зафиксировать размещение антенны, кабельную сборку, удалённость датчиков, длительность наблюдения, перерывы обновления и восстановление обмена.

Проверка питания датчиков также обязательна. При частоте 50 Гц РЭ указывает минимальный ток 9 А; неплотная установка ленты-сердечника может увеличить ток начала работы. Для режимов с изменяемой частотой следует пользоваться отдельной таблицей минимальных токов в РЭ.

9. ОТ СИГНАЛИЗАЦИИ К УПРЕЖДЕНИЮ: КАК ОРГАНИЗОВАТЬ ДЕЙСТВИЕ

В испытаниях подтверждена цепочка «обнаружение перегрева — информация персоналу — устранение дефекта».

Алгоритмы и выходные реле находятся в базовой станции, поэтому для местной сигнализации полноценная АСУ не обязательна.

Задача местной оценки степени перегрева электродвигателя легко решается использованием бесплатного мобильного приложения для смартфонов, доступного на сайте ООО НПП «Микропроцессорные технологии».

Альтернативным вариантом может быть установка локальной панели оператора для отображения данных по группе электродвигателей и применение программы визуализации KIWI-MONITOR.

Базовая станция Мелисса предоставляет полный спектр интерфейсов связи и коммуникационных протоколов для интеграции термоконтроля технологических электродвигателей в существующие на предприятиях системы управления производствами.

Автоматическое действие на останов является отдельным проектным решением. Необходимо согласовать допустимые температуры, выдержки времени, условия достоверности, поведение при потере питания и связи и взаимодействие с технологическими блокировками. Срабатывание выходного реле Мелисса не подразумевает готовность технологического агрегата к безопасному автоматическому останову.

Достоверность измерений и потеря связи

Согласно РЭ, при потере связи датчик через 2 минуты исключается из работы алгоритмов; через 7 минут формируется сигнал «Датчик n — нет связи», который можно назначить на предупреждение.

Отсутствие обмена с самопитаемым датчиком при остановленном двигателе и потеря связи с датчиком работающего двигателя — разные эксплуатационные ситуации. Для их различения на верхнем уровне полезно использовать доступные сигналы состояния двигателя и тока. РЭ предусматривает настройку игнорирования потери всех датчиков группы, но её применение не должно скрывать необъяснимую потерю контроля при работающем двигателе.

Архивирование

Встроенный архив сохраняет максимальное значение каждого датчика раз в 10 минут и рассчитан на 10 суток с циклической перезаписью. Для расследования событий и оценки результата после ремонта следует предусмотреть долговременное хранение температур, признаков достоверности, токов и состояния двигателя на верхнем уровне либо организовать регулярное сохранение доступных архивов.

10. ЧТО СТАНДАРТИЗИРОВАТЬ ДЛЯ ТИРАЖИРОВАНИЯ РЕШЕНИЯ

Предлагаемый типовой комплект для одного двигателя с тремя контролируемыми фазными соединениями — три датчика, базовая станция либо доля её групповой ёмкости, обоснованная схема приёма с антенной, цепи питания и сигнализации.

Таблица 4. Предлагаемая структура паспорта типового решения и приёмки

Этап	Результат, который следует зафиксировать
Обследование	Конструкция БРНО, точки контроля, минимальные токи, температурные режимы, условия среды и допустимость выбранного исполнения
Монтаж	Эскиз размещения датчиков и лент, повторяемый тепловой контакт, сохранение изоляционных расстояний и защитных свойств оболочки
Радиопроверка	Работоспособность при штатно закрытых оболочках; зарегистрированные перерывы и восстановление данных
Настройка	Группы по двигателям, уставки и выдержки, фактические версии устройств и ПО
Интеграция	Корректное отображение «нет данных», идентификация аварийной точки, журналирование, поведение при отказах
Эксплуатация	Ответственный за реакцию, порядок действий, проверка узла после ремонта и сохранение результатов

Монтаж внутри БРНО 6 кВ должен входить в согласованную программу работ на обесточенном оборудовании с необходимыми мерами безопасности. Следует соблюдать изоляционные расстояния и требования к размещению ленты-сердечника, указанные в РЭ, а также требования к конкретному двигателю и объекту.

11. В ЧЁМ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛЕЗНОСТЬ РЕШЕНИЯ

Для данного внедрения экономический смысл сформулирован самой эксплуатирующей организацией: избежать дальнейшего повреждения двигателя, дорогостоящего ремонта и вынужденной разгрузки котлоагрегата.

Для расчёта программы внедрения можно использовать прозрачную условную модель годового эффекта:

$$B_{год} = N \cdot \lambda \cdot q \cdot (C_{ав} - C_{план}) - C_{экспл}$$

N — число двигателей; λ — средняя частота опасных контактных дефектов на один двигатель в год; q — доля дефектов, обнаруженных достаточно рано и устранённых с предотвращением развития; $C_{ав}$ и $C_{план}$ — полные затраты при аварийном и своевременном устранении одного сопоставимого дефекта; $C_{экспл}$ — годовые расходы на мониторинг.

Параметры следует брать из статистики конкретного предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт Усть-Каменогорской ТЭЦ показывает практическую ценность наблюдения за температурой контактных соединений внутри БРНО электродвигателей 6 кВ.

В конкретной компоновке с выносной антенной система обеспечила получение данных, выявила два опасных перегрева и дала персоналу информацию для принятия мер.

Авторы отчёта рекомендовали внедрение и масштабирование на аналогичное высоковольтное оборудование.

Мелисса в БРНО — это способ обеспечить бесперебойную работу ответственного технологического оборудования

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Отчёт о проведении опытно-промышленных испытаний системы непрерывного тепловизионного контроля контактных соединений Мелисса в ТОО «Усть-Каменогорская ТЭЦ», с приложением фотографий. Предоставленный файл «УК-ТЭЦ Отзыв (отчёт) _ Мелисса.pdf», 11 страниц. Факты: с. 1–3; фотографии: с. 4–11.
2. Комплект защиты токоведущих частей от перегрева Мелисса. Руководство по эксплуатации МТ.МЕЛИССА-220.РЭ.01.29 от 10.08.2026.



Михаил Пирогов
Генеральный директор
ООО НПП «Микропроцессорные технологии»

VK: vk.com/pirogovmg
Почта: pirogovmg@i-mt.net

СОЗДАЕМ
НАДЕЖНОЕ
БУДУЩЕЕ